

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ISABELLA LUÍSA DOS SANTOS

**PATOLOGIAS, RECUPERAÇÃO E REFORÇO EM FUNDAÇÕES: ESTUDO DE
CASOS VOLTADOS AO RECALQUE DIFERENCIAL E REAÇÕES ÁLCALI-
AGREGADO**

FORMIGA – MG

2022

ISABELLA LUÍSA DOS SANTOS

PATOLOGIAS, RECUPERAÇÃO E REFORÇO EM FUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASOS
VOLTADOS AO RECALQUE DIFERENCIAL E REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR – MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais

Coorientadora: Prof.^a Dra. Kátia Daniela Ribeiro

FORMIGA – MG

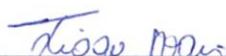
2022

ISABELLA LUÍSA DOS SANTOS

PATOLOGIAS, RECUPERAÇÃO E REFORÇO EM FUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASOS
VOLTADOS AO RECALQUE DIFERENCIAL E REAÇÕES ÁLCALI-AGREGADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR – MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



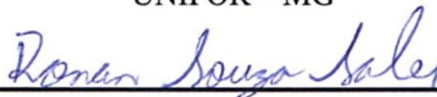
Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais

Orientador



Prof. Dra. Kátia Daniela Ribeiro

UNIFOR – MG



Prof. Dr. Ronan Souza Sales

UNIFOR – MG

Formiga, 22 de junho de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me conceder saúde e sabedoria para vencer mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, José Luiz e Zélia, sou grata por todo esforço investido na minha educação e por todo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações.

Agradeço, também, ao meu irmão Lucas por estar presente em todos os momentos, me motivando e torcendo por mim.

Gratidão aos meus orientadores, Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais e Prof.^a Dra. Kátia Daniela Ribeiro, pela confiança, paciência e por todo conhecimento compartilhado ao longo desses anos.

“Quando tudo parecer ir contra você,
lembre-se de que o avião decola contra o
vento, não a favor dele.”

Henry Ford

RESUMO

Desde a antiguidade, o engenheiro civil lida com problemas abaixo da superfície do terreno devido ao grau de incerteza e imprevistos durante a execução da obra, pois o solo apresenta variabilidade das suas propriedades ao longo dos horizontes e em profundidade. Diante de diversos estudos sobre o assunto, muitas dúvidas e incertezas foram cessadas, porém, devido à ausência de investigações geotécnicas e erros durante o projeto e execução da obra, tem-se observado diversos tipos de manifestações patológicas em fundações. Na engenharia, a patologia é definida como a ciência que estuda os sintomas, as causas e as origens das anomalias das construções civis. Neste trabalho, são apresentados estudos de casos reais de edificações que sofreram com recalque diferencial e reações álcali-agregado em suas fundações. Além disso, para esses casos, são apresentados os métodos de recuperação e reforço estrutural para solução dos problemas, soluções estas que variam de acordo com o tipo de solo, custos, urgência e influências externas.

Palavras-chave: patologia; recalque diferencial; reação álcali-agregado.

ABSTRACT

Since ancient times, civil engineer has dealt with problems below soil surface due to the degree of uncertainty and unforeseen events during works execution. Soil presents variability of its properties along the horizons and in depth, which generates many doubts and uncertainties on the subject. The absence of geotechnical investigations and errors during the design or execution of works cause several types of pathological manifestations in foundations. In engineering, pathology is the science that studies the symptoms, causes and origins of anomalies in civil constructions. This study presents the evaluation of real cases of buildings that suffered differential settlement and alkali-aggregate reactions in their foundations. It was present, for studied cases, recovery and structural reinforcement methods to solve the problems and these solutions vary according to the type of soil, costs, urgency and external influences.

Keywords: pathology; differential settlement; alkali-aggregate reaction.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	Objetivo geral	9
2.2	Objetivos específicos	9
3	FUNDAÇÕES	10
3.1	Classificação	10
3.1.1	Fundações diretas	11
3.1.2	Fundações profundas	12
3.2	Parâmetros para a escolha do tipo de fundação	14
3.2.1	Capacidade de carga das fundações.....	14
3.2.2	Características do subsolo	15
3.2.3	Características do local da obra	20
3.2.4	Limitações de cada tipo de fundação.....	20
3.2.5	Características das fundações vizinhas.....	22
3.3	Controle de qualidade	23
3.4	Interação entre solo e estrutura	23
4	PATOLOGIA E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	26
4.1	Principais manifestações patológicas em fundações.....	27
4.1.1	Recalque	27
4.1.2	Reação álcali-agregado (RAA).....	33
4.2	Métodos de recuperação e reforço estrutural	35
5	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FUNDAÇÕES - ESTUDOS DE CASOS	40
5.1	Os edifícios tortos de Santos.....	40
5.1.1	Edifício Núncio Malzoni	42
5.1.2	Descrição do método de reforço estrutural proposto para o caso do Edifício Núncio Malzoni.....	47
5.2	Edifícios de Recife.....	51
5.2.1	Descrição do método de recuperação de um bloco de coroamento afetado pela reação álcali-sílica.....	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Todas as obras de engenharia necessitam de uma fundação, sistema formado pelo terreno e pelo elemento estrutural que transmite ao solo as cargas advindas da edificação, através de uma base sólida e estável. Estas devem ser bem projetadas e executadas seguindo todas as exigências das normas com o intuito de alcançar o êxito após a construção.

No entanto, em diversos casos, essas exigências são negligenciadas gerando patologias nas estruturas que serão manifestadas através de danos verificados a partir da deterioração dos materiais que compõem a fundação, com a consequente perda de resistência e também na obra como um todo. Segundo Hachich et al. (1998), esses danos podem ser definidos como arquitetônicos, funcionais e estruturais e, dependendo da intensidade, é necessária a adoção de técnicas de reforço estrutural para prevenir possíveis riscos.

Neste trabalho são apresentados dois casos de manifestações patológicas em fundações de diferentes regiões. O primeiro refere-se aos edifícios tortos de Santos-SP e o segundo é sobre a reação álcali-agregado, que já causou grandes danos nas fundações dos edifícios de Recife-PE.

Para essas patologias, são apresentados os métodos de recuperação e reforço estrutural adotados com o intuito de devolver a integridade e restabelecer a vida útil da construção. Porém, é importante frisar que a escolha do tipo de recuperação e/ou reforço a ser utilizado não se trata de um trabalho fácil, é preciso estudar e conhecer os principais materiais que foram utilizados durante a construção, de forma a obter um perfeito entendimento da situação (CAMPOS, 2006), uma vez que, de acordo com Silva, Silva e Beterquini (2018), essas soluções variam de acordo com o tipo de solo, custo, urgência e influências externas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Apresentar os principais tipos de manifestações patológicas em fundações e seus respectivos métodos de recuperação e reforço estrutural com base na apresentação de estudos de casos reais de edificações que sofreram com recalque diferencial e reações álcali-agregado em suas fundações.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar os tipos de fundações e suas manifestações patológicas;
- Analisar a relação solo-fundação, os problemas e as causas patológicas;
- Identificar as fases do surgimento de problemas patológicos em fundações;
- Apresentar soluções para as manifestações patológicas através de métodos de recuperação e reforço estrutural;
- Argumentar, discutir e confrontar as informações sobre recuperação e reforço estrutural em fundações através de estudos de casos reais.

3 FUNDAÇÕES

Desde a antiguidade, o engenheiro civil lida com problemas abaixo da superfície do terreno devido ao grau de incerteza e imprevistos durante a execução da obra, pois o solo apresenta variabilidade das suas propriedades ao longo dos horizontes e em profundidade (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020).

Entende-se como fundação o sistema formado pelo terreno e pelo elemento estrutural que transmite ao solo as cargas advindas da edificação através de uma base sólida e estável, ou seja, um apoio que proporcione condições de segurança quanto a deformações e rupturas (LUÉVANOS-ROJAS, 2014). Como toda obra de engenharia necessita de uma fundação, Karl Terzaghi, a partir de estudos e pesquisas, criou a Mecânica dos Solos, que apresenta diversas teorias sobre os processos de deformação por adensamento dos solos (ROCHA et al., 2018). Albuquerque e Garcia (2020) afirmam que, com base nas explicações racionais existentes, muitas dúvidas e incertezas foram cessadas, mesmo que não tenham sido resolvidos todos os problemas.

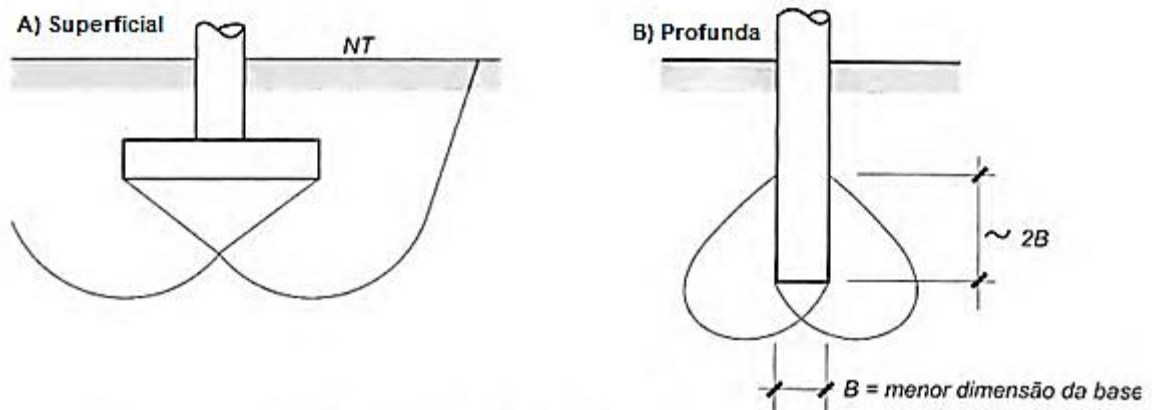
De fato, a busca pela solução e escolha de uma fundação demanda tempo e conhecimento, podendo-se ressaltar aquele acerca das cargas que serão descarregadas sobre o elemento, recalques admissíveis da edificação, tipo de solo, resistência de suas camadas, e localização do nível d'água do lençol freático (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020).

3.1 Classificação

As fundações são divididas em fundações superficiais, também conhecidas como “diretas” ou rasas, e fundações profundas. Segundo Velloso e Lopes (2010), o critério para essa divisão é feito de modo que uma fundação profunda é aquela cujo mecanismo de ruptura de base não surgisse na superfície do terreno.

A Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 6122 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2019) ainda determina que, para a classificação de fundações profundas, a sua base deve estar implantada a uma profundidade maior que duas vezes a sua menor dimensão em planta e a pelo menos 3 m de profundidade, como ilustra a FIG. 1.

Figura 1: Fundação superficial e profunda



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

3.1.1 Fundações diretas

Esse tipo de fundação é utilizado onde as camadas do solo são capazes de suportar as cargas transmitidas diretamente pela sua base (DELALIBERA; SOUSA, 2021). De acordo com Guimarães e Peter (2018), elas são construídas em valas rasas, com profundidade máxima de 3 metros e são divididas em viga de fundação, bloco, sapata, radier e grelhas, ilustradas na FIG. 2.

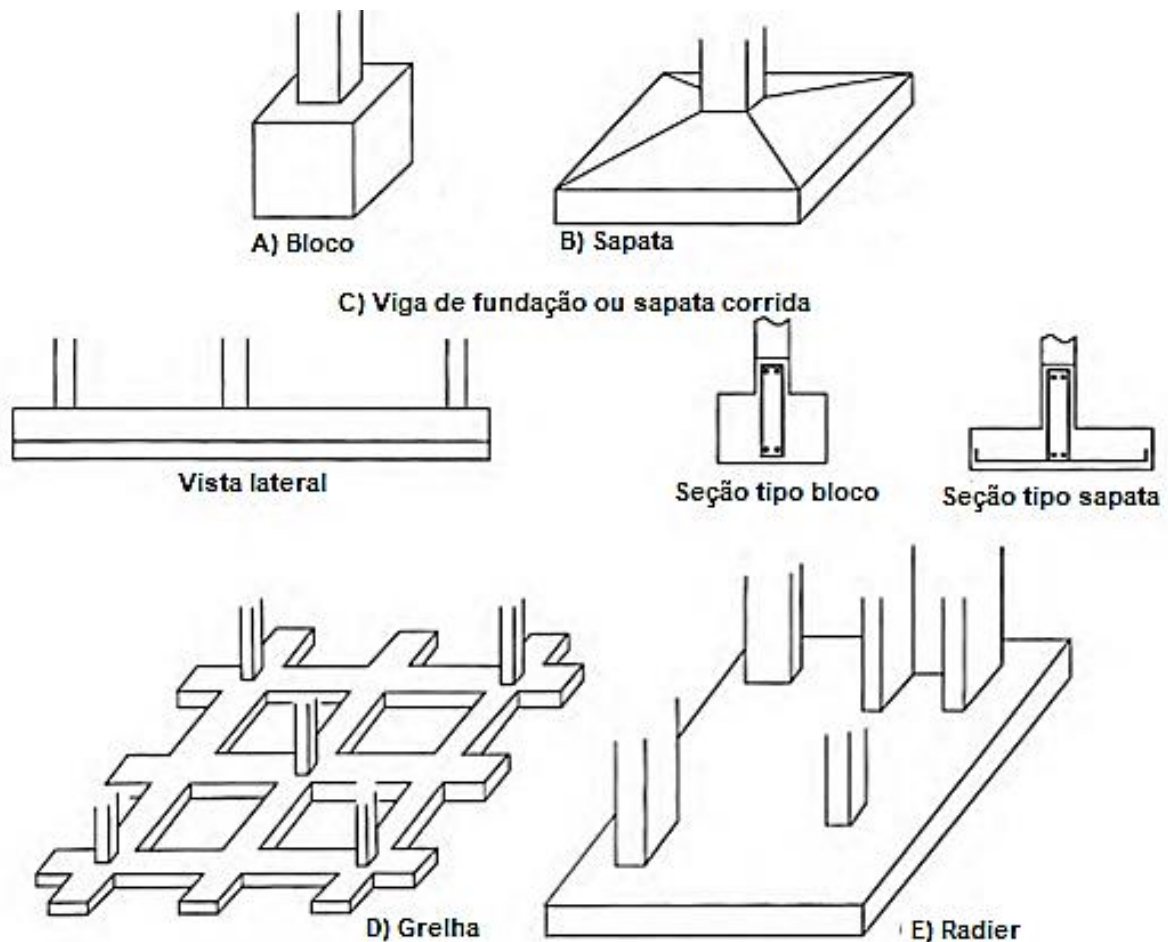
O bloco, de acordo com Velloso e Lopes (2010), é um elemento estrutural feito em concreto não armado, dimensionado para que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas apenas pelo concreto. Albuquerque e Garcia (2020) também afirmam que, além do concreto, o bloco também pode ser feito de outros materiais, tais como, alvenaria e pedra.

Diferentemente do bloco, as sapatas são realizadas com concreto armado e dimensionadas para que as tensões de tração nelas sejam resistidas pela armadura e, conseqüentemente, necessitam de uma altura menor que os blocos não armados (VELLOSO; LOPES, 2010; CUNHA; ALBUQUERQUE, 2014). Sena et al. (2020) afirmam que esse elemento estrutural é um dos tipos de fundação mais utilizados, pois o seu custo de execução é relativamente menor e não necessita de equipamentos especializados para a sua execução, podendo ser sapatas quadradas, retangulares, corrida, associada e de divisa, sendo que, nesse caso, é utilizada uma viga de alavanca que pode estar conectada a uma sapata de divisa ou sapata excêntrica.

Velloso e Lopes (2010) ainda comentam que a grelha, também caracterizada como fundação direta, refere-se a um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares. Em contrapartida,

o radier é uma fundação direta que recebe o carregamento advindo de todos os pilares da obra e é recomendado quando a área total das sapatas supera metade da área a ser edificada.

Figura 2: Fundações superficiais



Fonte: Velloso e Lopes (2010).

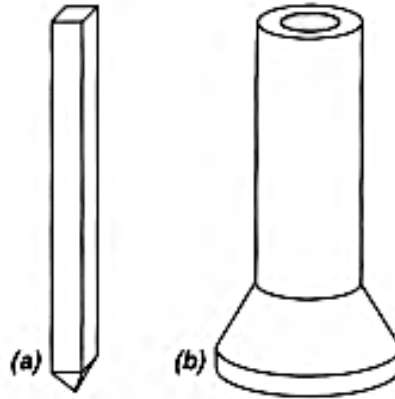
3.1.2 Fundações profundas

As fundações profundas, conforme a NBR 6122 (ABNT, 2019), transmitem as cargas ao solo pela superfície lateral (fuste) através de tensões resistentes por adesão ou atrito lateral entre o solo e a fundação (resistência lateral), pela base através de tensões resistentes normais à base ou ponta da fundação (resistência de ponta), ou ainda pela combinação de ambas as resistências.

Essas fundações podem ser pré-moldadas ou moldadas *in loco* no momento da perfuração do solo. De acordo com Velloso e Lopes (2010), são divididas em estacas e tubulões,

como ilustra a FIG. 3, e são utilizadas quando as fundações superficiais não atendem as necessidades de projeto.

Figura 3: Fundações profundas



a) Estaca; b) Tubulão

Fonte: Adaptado de Velloso e Lopes (2010).

As estacas são elementos de fundação executadas exclusivamente por ferramentas e equipamentos e podem ser construídas: a) por cravação, em que não há retirada de solo para execução; b) por escavação, em que parte do solo é retirado; e c) por injeção, em que as estacas são concretadas durante a perfuração por rotação (SILVA; OLIVEIRA, 2018).

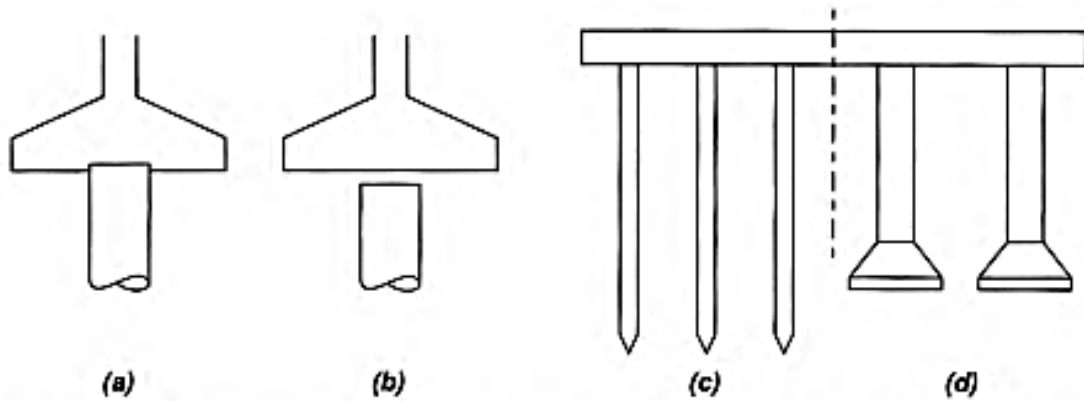
Entre esses diferentes métodos de execução, Cintra, Aoki e Albiero (2011) afirmam que as estacas cravadas são aquelas constituídas por elementos pré-fabricados de concreto, aço ou madeira, e podem ser cravadas no terreno por percussão, prensagem ou vibração. As estacas escavadas e injetadas são moldadas *in loco* e podem ser do tipo broca, Franki, Strauss, hélice contínua, estacão (escavadas com lama betonítica), microestacas, estacas-raiz, etc.

Já o tubulão difere da estaca devido ao seu método de execução, pois esse elemento de fundação necessita de um alargamento de sua base, logo, é preciso que ocorra a descida de um operário para realizar o serviço, de modo que as cargas são predominantemente resistidas pela base. Sua execução pode ser feita a céu aberto ou sob ar comprimido, com ou sem revestimento de aço ou de concreto (SILVA; OLIVEIRA, 2018).

O tubulão a ar comprimido, de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2019), é utilizado quando a escavação é realizada abaixo do nível d'água e não é possível executar o rebaixamento do lençol freático. Assim, ele permite escavações com profundidades de até 30 m abaixo do nível d'água, desde que sejam tomados os devidos cuidados quanto à pressão máxima de ar comprimido.

Além dessas classificações de fundações, é possível que ocorra a combinação de fundações rasas com fundações profundas, como ilustra a FIG. 4.

Figura 4: Combinações entre fundações diretas e profundas.



a) Sapata associada à estaca; b) Sapata associada à estaca com material compressível entre elas; c) Radier sobre estacas; d) Radier sobre tubulões.

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

3.2 Parâmetros para a escolha do tipo de fundação

Para escolher a fundação ideal para cada obra, é necessário conhecer os esforços atuantes sobre a edificação, a composição do solo e dos elementos estruturais que formam as fundações (POULOS, 2016). Dessa forma, a análise da possibilidade de utilização de diversos tipos de fundações ocorre em ordem crescente de complexidade e custo. Ribeiro (2019) afirma que fundações projetadas corretamente podem corresponder a cerca de 3% a 10% do custo total da obra, porém, quando mal concebidas e mal projetadas, podem atingir de 5 a 10 vezes o custo da fundação apropriada para o caso. Logo, a análise dos itens a seguir são fundamentais para a adoção do tipo de fundação mais adequado.

3.2.1 Capacidade de carga das fundações

O primeiro critério que deve ser analisado, ao escolher o tipo de fundação, possui relação direta com a capacidade de carga que a estrutura irá suportar, o sistema estrutural adotado e o tipo e uso da edificação. Logo, busca-se distinguir qual o nível de carga que os pilares irão transferir para a fundação e se existirá outros fatores provenientes do solo, além dos esforços de compressão, por exemplo, tração e flexão (PEREIRA, 2021).

3.2.2 Características do subsolo

Antes de se realizar qualquer cálculo, é ideal conhecer o tipo de solo em que a estrutura em análise estará apoiada, no intuito de estimar a capacidade de carga e deformações verticais que o mesmo poderá vir a sofrer (KIM et al., 2011). Diante disso, a NBR 6122 (ABNT, 2019) recomenda diversas técnicas para elaboração de uma investigação geotécnica, sendo a sondagem do tipo *Standard Penetration Test* (SPT) a principal e indispensável (PINTO, 2018).

Silva e Oliveira (2018) afirmam que o processo de sondagem visa conhecer a variação, profundidade e resistência do solo por camadas. Esse método ainda é capaz de verificar a existência de matacões, o nível de água do local e a presença de materiais que podem prejudicar a adoção de alguns tipos de fundação identificados no QUADRO 1.

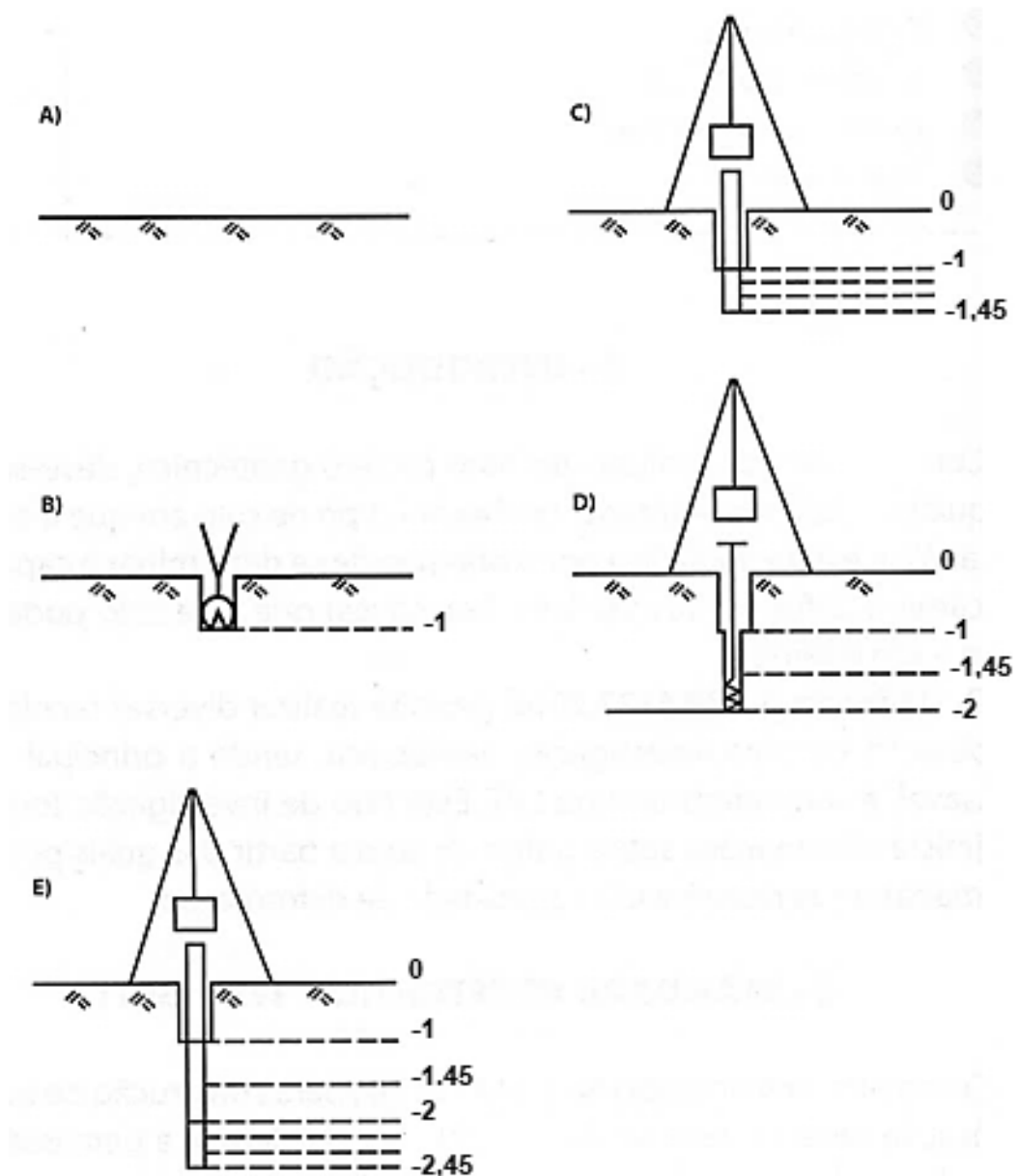
Quadro 1: Relação entre subsolo e elemento estrutural.

Subsolo	Informações sobre tipos de fundações
Argilas moles	Dificultam a execução de estacas de concreto moldadas <i>in loco</i> .
Solos muito resistentes (compactos ou com pedregulhos)	Dificultam ou mesmo impedem a cravação de estacas de concreto pré-moldadas.
Solos com presença do lençol de água elevado	Dificultam a execução de estacas de concreto moldadas <i>in loco</i> sem revestimento ou com o uso de lama. Impedem o uso de tubulões e sapatas uma vez que para a escavação manual é necessário que o solo esteja estável e seco possibilitando o trabalho do operário.
Regiões aterradas recentemente sobre camadas moles	Possuem um período de adensamento que indicam a possibilidade de atrito negativo sendo mais viável a utilização de estacas mais lisas ou com tratamento betuminoso.
Regiões com rocha são afloradas em pequenas profundidades	Favorecem a adoção de fundações com suporte por resistência de base, como sapatas e tubulões. Inviabilizam as fundações com suporte predominantemente por atrito lateral, uma vez que a área de contato, dependendo da edificação a ser construída, se torna insuficiente para a distribuição de cargas. Além disso, muitos métodos de escavação, tais como, estacas hélice contínua, <i>Strauss</i> e <i>Franki</i> , não perfuram a rocha são.

Fonte: Pereira (2021).

Regulamentado pela NBR 6484 (ABNT, 2020), o ensaio SPT determina os valores de N_{SPT} (índice de resistência à penetração) para cada metro analisado com o auxílio de um amostrador padrão. A FIG. 5 ilustra a sequência do processo executivo do ensaio (PINTO, 2018).

Figura 5: Processo executivo do ensaio SPT.



Fonte: Pinto (2018).

Para a execução do ensaio, deve-se escavar o solo até um metro de profundidade utilizando o trado concha (FIG. 5B); posteriormente, o amostrador padrão é posicionado no furo e recebe sucessivos golpes por um peso de 65 kg lançado de uma altura constante até conseguir penetrar três camadas de quinze centímetros, totalizando 45 cm (FIG. 5C). Em

seguida, realiza-se a escavação do solo da cota de 1,45 m até 2,0 m utilizando o trado helicoidal (FIG. 5D). Repete-se esse processo até atingir a cota desejada, sempre lembrando de anotar o número de golpes necessários para penetrar cada camada de 15 cm (PINTO, 2018).

A NBR 6484 (ABNT, 2020) determina que o critério de paralisação das sondagens é de responsabilidade técnica da contratante ou de seu preposto e deve ser definida conforme as necessidades específicas do projeto. Caso o contratante não forneça os critérios de paralisação, as sondagens devem avançar até que seja atingido um dos critérios a seguir: a) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 10 m de resultados consecutivos indicando um número de golpes (N) iguais ou superiores a 25; b) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 8 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 30 golpes; c) avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 6 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 35 golpes.

Em relação às quantidades de furos e localização, a NBR 8036 (ABNT, 1983) estabelece critérios em função da área projetada da edificação estudada, os quais estão indicados na TAB.

1.

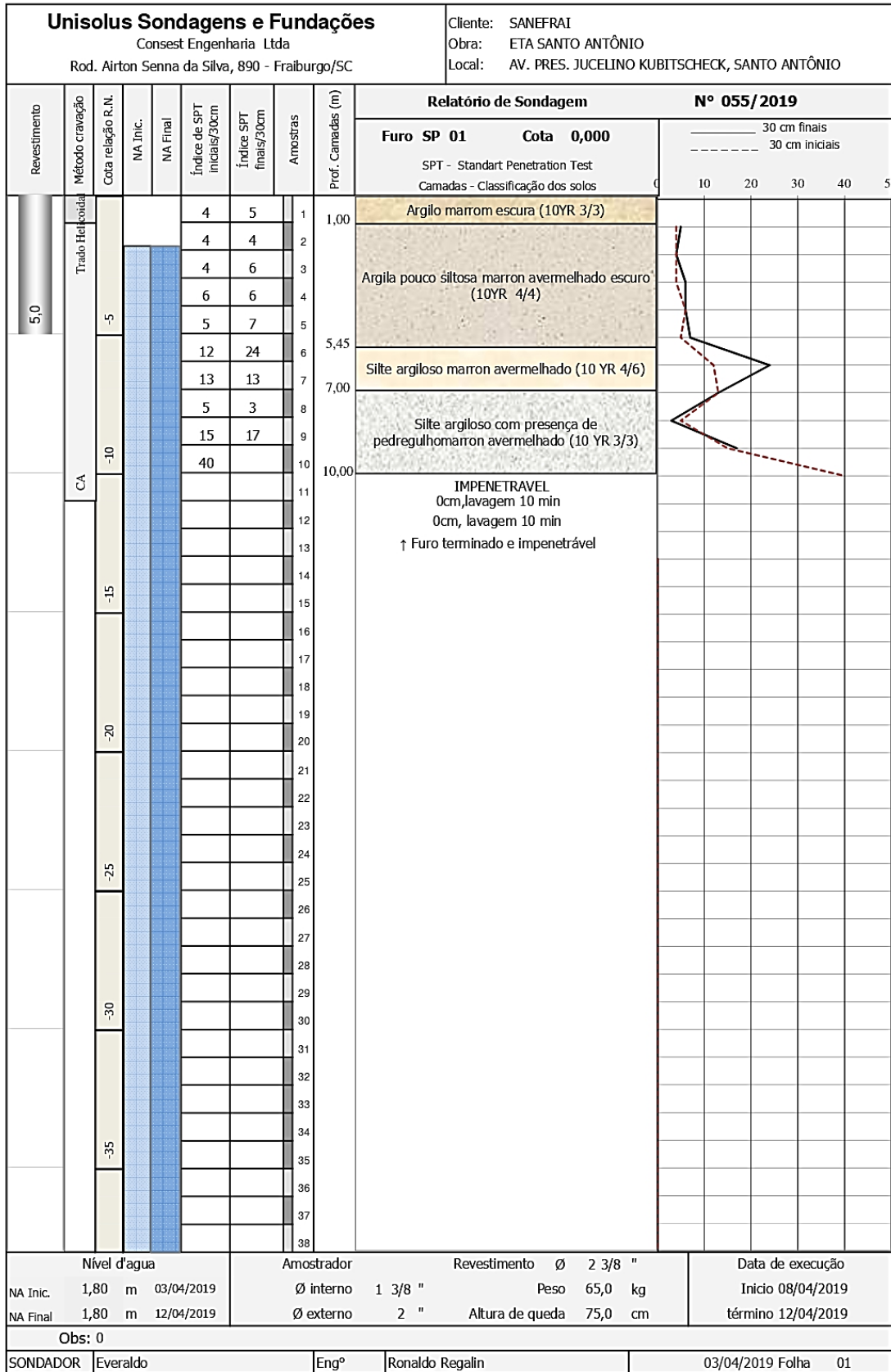
Tabela 1: Quantidade mínima de furos necessária para sondagem.

Área (m ²)	Número de furos
≤ 200	2
> 200 ≤ 400	3
> 400 ≤ 600	4
> 600 ≤ 800	5
> 800 ≤ 1000	6
> 1000 ≤ 1200	7
> 1200 ≤ 1600	8
> 1600 ≤ 2000	9
> 2000 ≤ 2400	10
> 2400	Deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção

Fonte: NBR 8036: 1983.

A FIG. 6 apresenta um exemplo de relatório de dados obtidos através do ensaio de SPT.

Figura 6: Relatório de sondagem do tipo SPT.



Fonte: Regalin (2019).

A FIG. 6 refere-se a um ensaio que foi realizado na cidade de Fraiburgo/SC, no mês de março de 2019, e foi paralisado na profundidade de 10 m onde se encontrou uma camada de silte argiloso duro com N igual a 40 golpes. Essa designação de compactidade está representada na TAB. 2 e é determinada em relação à quantidade de golpes e o tipo de solo encontrado.

Tabela 2: Tabela dos estados de compactidade e de consistência.

Solo	Índice de resistência à penetração	Designação ¹
	N	
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	>40	Muito compacta (o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	>19	Dura (o)

¹ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Fonte: NBR 6484:2020

Assim, analisando a FIG. 6, foi possível afirmar que a execução de uma fundação rasa seria inviável, pois esse tipo de fundação possui uma profundidade máxima de 3 m e transmite a carga da estrutura pela sua base, logo, a essa profundidade, encontrou-se uma camada de argila de compactidade média com um valor N igual a 6 golpes, que não suportaria a carga e poderia apresentar problemas futuros de recalques. Diante disso, deve-se projetar uma fundação profunda com cota de assentamento a 10 m de profundidade, garantindo segurança e durabilidade para a edificação.

Logo, a partir do ensaio de SPT e do cálculo estrutural de toda a edificação finalizado, parte-se para o cálculo da capacidade de carga da fundação, pelo método de Aoki-Velloso ou de Décourt-Quaresma, onde serão determinadas as resistências laterais e de ponta com base no valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011).

Além disso, para a realização do cálculo ainda é necessária a escolha do método de fundação, que pode ser determinado com base no N descrito pela TAB. 3.

Tabela 3: Valores limites de N_{SPT} para os tipos de fundações profundas.

TIPO DE ESTACA		N_{SPT} (Limite)
Pré-moldada de concreto	$\varnothing < 30$ cm	$15 < N < 25$
	$\varnothing > 30$ cm	$25 < N < 35$ $\Sigma N=80$
Perfil metálico		$25 < N < 55$
Strauss		$10 < N < 25$
Franki	Solos arenosos	$8 < N < 15$
	Solos argilosos	$20 < N < 40$
Hélice Contínua		$20 < N < 45$
Ômega		$20 < N < 40$
Raiz		$N \geq 60$ (penetra rocha sã)

Fonte: Pinto (2018).

3.2.3 Características do local da obra

Essa etapa é fundamental e deve ser muito bem analisada pois, segundo Silva e Oliveira (2018), esse é o momento em que se faz um levantamento de dados sobre a necessidade de cortes e aterros, análises de taludes, encostas próximas e a possibilidade de erosões.

3.2.4 Limitações de cada tipo de fundação

Todas as fundações apresentam algum tipo de limitação executiva, relacionada às características do subsolo, econômicas e até mesmo regional. O QUADRO 2 apresenta os tipos de fundações e suas respectivas limitações de uso.

Quadro 2: Limitações de uso dos tipos de fundações

Tipo de fundação	Limitações de uso
Sapatas, sapatas corridas, blocos de fundação, radiers ¹	<ul style="list-style-type: none"> - Em solos potencialmente colapsíveis e com possibilidade do aumento do teor de umidade, o que pode ser um fator impeditivo para adoção desta solução; - Abaixo do N.A. necessitam de esgotamento e/ou rebaixamento do lençol; - Aterros não controlados e/ou de materiais não convencionais (resíduos).
Tubulões a céu aberto	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilidade das paredes da escavação, necessitando de revestimentos; - Abaixo do N.A.; - Operários não habilitados para a atividade (NR 18)

(continua...)

Quadro 2: Continuação

Tipo de fundação	Limitações de uso
Tubulões a ar comprimido	<ul style="list-style-type: none"> - Custo elevado; - Limitados em profundidades elevadas abaixo do N.A. por causa da pressão de ar interna da câmara (campânula); - Operários não habilitados para a atividade (NR 18); - Doenças de compressivas.
Estacas brocas (trado manual)	<ul style="list-style-type: none"> - Abaixo do N.A.; - Para estabilidade das paredes da escavação é recomendável sua execução em solos coesivos; - Alívio da escavação (redução da resistência) pela demora na concretagem; - Limitação da profundidade da escavação e no diâmetro do fuste em razão da resistência do solo; - Limitação no emprego em vista da reduzida capacidade de carga geotécnica.
Estaca escavada a seco (trado mecânico)	<ul style="list-style-type: none"> - Abaixo do N.A.; - Para estabilidade das paredes da escavação é recomendável sua execução em solos coesivos;
Estaca escavada com fluido estabilizante	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada geração de resíduos da escavação; - Destinação adequada dos resíduos; - Disponibilidade de área no canteiro de obras para instalação dos equipamentos; - Custo elevado; - Demandam cuidados com a concretagem
Estaca <i>Strauss</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Limitação no comprimento; - Revestimento obrigatório; - Demanda cuidados na concretagem; - Presença de solos moles.
Estaca <i>Franki</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada vibração; - Presença de matacões; - Presença de solos moles; - Construções vizinhas em estado precário; - Limitação no comprimento; - Baixa velocidade de execução.
Estaca raiz	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado consumo de água; - Elevada geração de resíduos da escavação; - Destinação adequada dos resíduos; - Custo elevado.

(continua...)

Quadro 2: Continuação

Tipo de fundação	Limitações de uso
Estaca hélice contínua	<ul style="list-style-type: none"> - Mobilização; - Proximidade de usina de concreto; - Demanda terreno plano e de fácil acesso; - Colocação de armadura; - Comprimento limitado para armadura.
Estaca hélice de deslocamento	<ul style="list-style-type: none"> - Mobilização; - Proximidade de usina de concreto; - Limitação de diâmetro; - Terreno plano e de fácil acesso; - Comprimento limitado para armadura; - Torque da máquina; - Solos resistentes.
Estaca mega	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de reação para cravação; - Custo elevado
Estaca pré-moldada de concreto	<ul style="list-style-type: none"> Mobilização; - Transporte dos elementos estruturais (estacas); - Presença de camadas resistentes; - Vibração.
Estaca metálica	<ul style="list-style-type: none"> - Mobilização; - Vibração reduzida; - Desvio durante a cravação em terreno com presença de matacões (interferências); - Custo
Estaca de madeira	<ul style="list-style-type: none"> - Não indicada para obras permanentes, exceto se forem realizados estudos para essa destinação.

(conclusão)

Nota: ¹ Como fundação de edificações de múltiplos andares, por envolver elevado custo de concreto e aço.

Fonte: Albuquerque e Garcia (2020)

3.2.5 Características das fundações vizinhas

Segundo Hachich et al. (1998), essa etapa consiste em identificar a estrutura das edificações vizinhas, o tipo de fundações empregadas e seus desempenhos, o número de pavimentos, a existência de subsolo e os danos já existentes na edificação, para assim, prever as possíveis consequências de escavações e vibrações que serão provocadas pela nova obra.

3.3 Controle de qualidade

A estrutura de uma edificação, em especial das fundações, deve ser projetada e executada garantindo, sob a ação das cargas e serviços, as condições mínimas de segurança, funcionalidade e durabilidade. A maneira como tais fatores são atendidos é que determinarão o desempenho da estrutura (PEREIRA; PORTO; GOMES, 2021).

Especificamente em fundações, é importante frisar que, mesmo com um bom controle da qualidade de execução, não existe uma garantia de um bom desempenho, pois, diferentemente das demais estruturas, em que os materiais de construção são definidos pelo projetista, trabalha-se com o solo, material natural com propriedades pouco conhecidas pelo homem, no qual todas as nuances são impostas pela natureza (ALONSO, 2019).

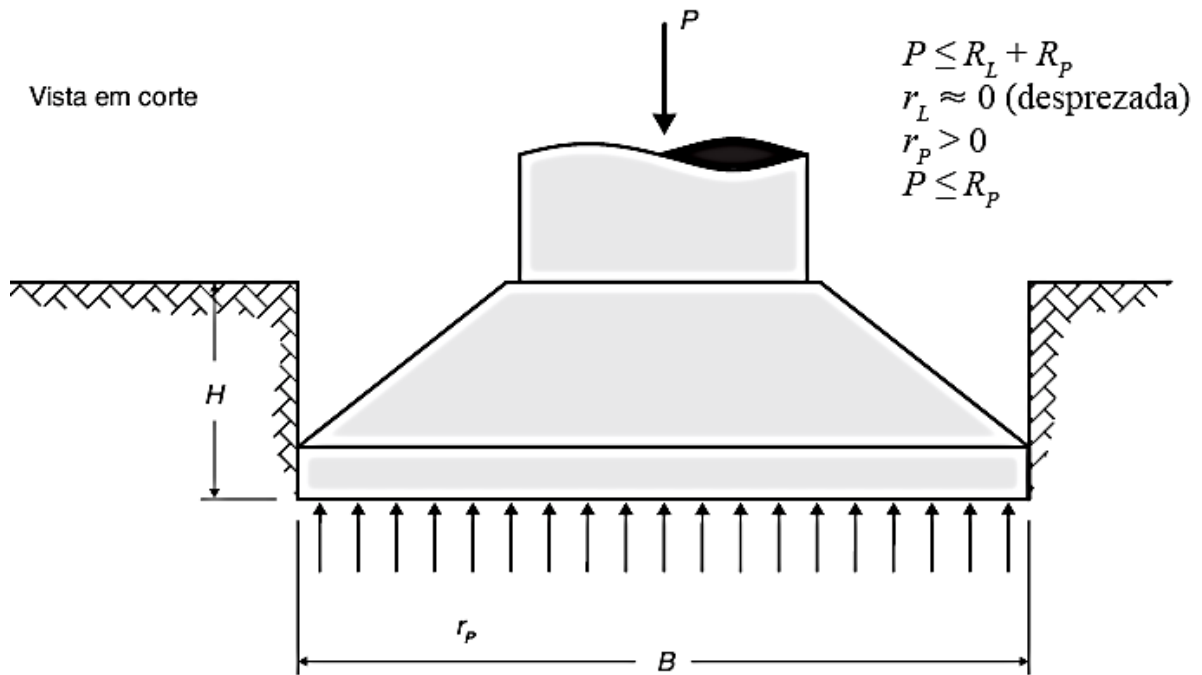
Outra característica, conforme o autor supracitado, é que as fundações são elementos que ficam enterrados, o que dificulta a inspeção após conclusão. É por mais esse motivo que a eficiência e competência dos profissionais envolvidos no projeto, controle e execução, são fundamentais para um bom desempenho.

3.4 Interação entre solo e estrutura

O estudo da interação do solo com os elementos estruturais deve ser bem analisado, pois trata-se de um corpo rígido imerso em um meio aproximadamente elástico (solo) (MARQUES et al., 2021). Sendo assim, o comportamento da fundação será resultante das características presentes naquele subsolo, que engloba geologia, a formação, o relevo, etc., e também do seu método executivo. À vista disso, uma fundação pode trabalhar de diversas formas, mas de maneira geral, elas trabalham por resistência lateral e de ponta ou de base, como explica Albuquerque e Garcia (2020).

As fundações diretas possuem uma grande área de contato pela base, sendo assim, quando o carregamento (P) é aplicado, sua capacidade de carga é definida apenas pela resistência de base (R_p) (KIMMERLING, 2002), como ilustra a FIG. 7. Para esses casos a resistência lateral (R_L) é desprezada em razão da incerteza de sua mobilização, bem como das possíveis infiltrações de água que podem interferir na área de aderência entre solo e elemento estrutural.

Figura 7: Reação do solo sobre fundações diretas



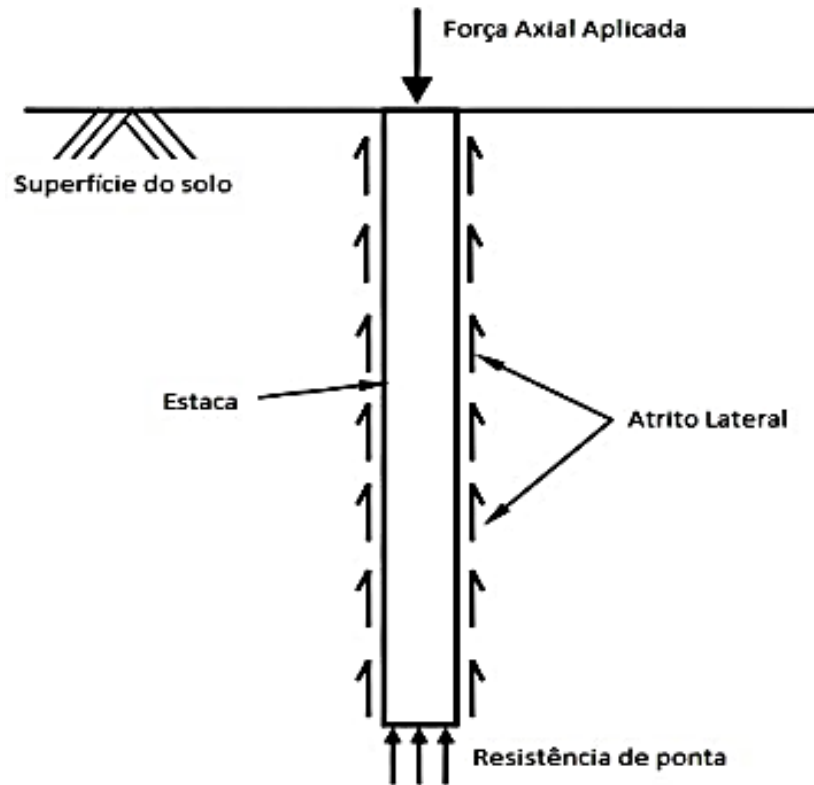
Fonte: Albuquerque e Garcia (2020).

Já nas fundações profundas, o seu comportamento, de acordo com Albuquerque e Garcia (2020), pode ser dividido em três casos: de ponta, de atrito e misto. Os elementos estruturais que trabalham predominantemente por ponta são aqueles que atravessam o solo não resistente e se apoiam na camada de solo resistente; logo, a possibilidade de gerar atrito lateral positivo é nula, tendo como exemplo as estacas e os tubulões, que são casos típicos em que apenas a resistência de ponta é considerada nos projetos.

O segundo caso, conforme o autor supracitado, é classificado como de atrito ou flutuante, sendo aquele em que a resistência lateral no comportamento da fundação é superior à resistência de ponta que, por consequência, é desprezada nos projetos, casos característicos de estacas longas.

Por fim, tem-se o comportamento misto, identificado pela FIG. 8, que retrata o caso mais pertinente em situações em que será adotada a fundação por estacas. Tal motivo pode ser justificado pelo fato de que existem diversos métodos construtivos para esse tipo de estrutura, o que leva os responsáveis pelo projeto e execução a definirem o mais adequado e analisarem quais características irão incidir sobre o elemento, se haverá destaque de resistência de ponta, lateral ou ambas (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020).

Figura 8: Comportamento misto



Fonte: Estivallett (2016).

4 PATOLOGIA E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

O dicionário *on-line* PRIBERAM (2008) define patologia, no conceito médico, como a ciência que estuda a origem das doenças.

pa·to·lo·gi·a

substantivo feminino

1. [Medicina] Parte da medicina que estuda as doenças.

2. [Medicina] Tratado das doenças.

3. [Medicina] Desvio em relação ao que é considerado normal do ponto de vista fisiológico e anatômico e que constitui ou caracteriza uma doença.

4. [Figurado] Desvio em relação ao que é considerado normal. PRIBERAM (2008)

Na engenharia, a patologia é considerada a ciência ligada às “doenças” das construções. Batiston (2018) afirma que essa ciência estuda os sintomas, as causas e as origens das anomalias das construções civis, enquanto a manifestação patológica é a própria expressão desses problemas encontrados nas edificações.

Em obras de fundações, as patologias podem estar associadas a diversos fatores que vão desde os estudos geotécnicos até os pós obra. Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) relacionam algumas prováveis causas de patologias em fundações:

- Ausência, insuficiência ou ineficiência das investigações geotécnicas;
- Erros de interpretação dos resultados das investigações geotécnicas;
- Erros na determinação da tensão admissível do solo ou da cota de apoio da fundação;
- Erros de avaliação dos esforços advindos da estrutura;
- Erros de cálculo e dimensionamento das fundações;
- Execução por imperícia ou má fé do construtor ou mão de obra, sequência construtiva inadequada, má qualidade dos materiais empregados;
- Influências externas como construções vizinhas, escavações e deslizamentos imprevisíveis, agressividade ambiental, enchentes;
- Modificações do carregamento devido a mudanças do tipo de utilização da estrutura.

As manifestações patológicas estruturais podem surgir desde a fase de projeto, passando pela etapa da construção e chegando à fase de utilização da edificação, após o término da construção. Esses problemas normalmente resultam em aumento de custo para a obra, por isso,

quanto mais rápido for o diagnóstico, menor será o valor gasto para a recuperação do dano (BATISTON, 2018).

A investigação do subsolo é a causa mais frequente de problemas de fundações, portanto, a identificação e a caracterização de seu comportamento são essenciais à solução de qualquer problema (KOGA; MIRANDA; BETERQUINI, 2017).

Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) afirmam que um programa adequado de investigação do subsolo tem seu custo e abrangência proporcional ao custo da obra e complexidade do problema, devendo iniciar pela etapa de “estudo de escritório”, em que são coletados e comparados os dados hidrogeológicos, pedológicos, geotécnicos, conhecimentos regionais, etc. As características específicas de cada problema devem definir a abrangência do programa preliminar, do complementar, e a eventual necessidade de um programa especial de ensaios geotécnicos. Normalmente, no Brasil, o programa preliminar é desenvolvido com base em ensaios SPT (ABNT, 2020). Já o programa complementar depende das condições geotécnicas e estruturais do projeto, podendo envolver tanto ensaios de campo (cone, piezocone, pressiômetro, palheta, sísmica superficial, etc.) quanto de laboratório (adensamento, triaxiais, cisalhamento direto, entre outros).

4.1 Principais manifestações patológicas em fundações

4.1.1 Recalque

A NBR 6122 (ABNT, 2019) define o recalque como uma deformação que ocorre no solo quando o mesmo está submetido às cargas da estrutura, resultando em um deslocamento das fundações. Esses deslocamentos podem causar desde danos estéticos, sem risco de qualquer natureza, até danos irreversíveis.

Sena et al. (2020) explicam que o recalque pode ocorrer tanto sob a ótica do solo quanto pela ótica da estrutura.

Quanto à deformação sofrida pelo solo, o recalque é classificado em três tipos: recalque elástico ou imediato, recalque por escoamento lateral e recalque por adensamento. O recalque imediato, segundo Rebello (2008), ocorre após o maciço de solo receber carregamento. Ele é predominante em solos não coesivos, ou seja, em solos não argilosos, aqueles que possuem como mecanismo apenas o rearranjo das partículas sólidas após a aplicação de cargas.

Em contrapartida, Rebello (2008) ainda explica que o recalque por escoamento lateral trata de um problema recorrente em solos não coesivos sob fundações superficiais e ocorre

devido à migração das partículas de solo das áreas mais carregadas em direção às áreas menos solicitadas, ou seja, do centro para as laterais.

Já o recalque por adensamento é comum em solos argilosos (coesivos) e ocorre devido à redução do índice de vazios que foram deixados após a expulsão da água intersticial devido à pressão exercida pelo carregamento da estrutura (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011).

Do ponto de vista do elemento fundação, o recalque é classificado em dois tipos: recalque absoluto ou total e recalque diferencial. O recalque diferencial, segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019), é definido como o movimento vertical descendente ocasionado pelas cargas da estrutura em pontos distintos da edificação com diferentes magnitudes. Dentre todas as causas das manifestações patológicas, ele é o que ocasiona os problemas mais complexos de serem solucionados. Em contrapartida, quando esse movimento ocorre em todos os elementos da fundação e na mesma intensidade, o recalque é classificado como absoluto. Ambos podem acontecer imediatamente após o carregamento e/ou ao longo do tempo.

Existem vários relatos de edificações que apresentaram tal manifestação patológica; um dos exemplos mais famosos que sofreu grandes recalques diferenciais e se tornou um ponto turístico é a Torre de Pisa, localizada na Itália. Trata-se de uma edificação com 58 m de altura que recalcou cerca de 4,5 m e precisou ser interditada entre os anos de 1990 e 2001 para reparos. No Brasil, têm-se como exemplos as diversas edificações na orla marítima da cidade de Santos-SP; a maioria dessas edificações apresentam algum desaprumo com tendência a se estabilizar com o tempo, porém, alguns casos exigem providências para não tombar completamente (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011).

Fato é que todas as edificações estão sujeitas a sofrer recalques, logo, de acordo com Al-Taie, Al-Ansari e Knutsson (2015), é fundamental que durante os projetos de fundações ocorra uma estimativa dos recalques e uma adequação do projeto, a fim de controlá-los para que sejam inferiores aos valores admissíveis. Ainda é importante ressaltar que o recalque ocorre não apenas pela fundação de modo isolado, mas por uma série de fatores como, por exemplo, superposição de pressões e rebaixamento do lençol freático. A FIG. 9 ilustra alguns casos de recalque diferencial já registrados.

Figura 9: Edificações que sofreram recalque diferencial.



(a) Torre de Pisa, Itália; (b e c) Cidade de Santos, SP; (d) Litoral de São Paulo

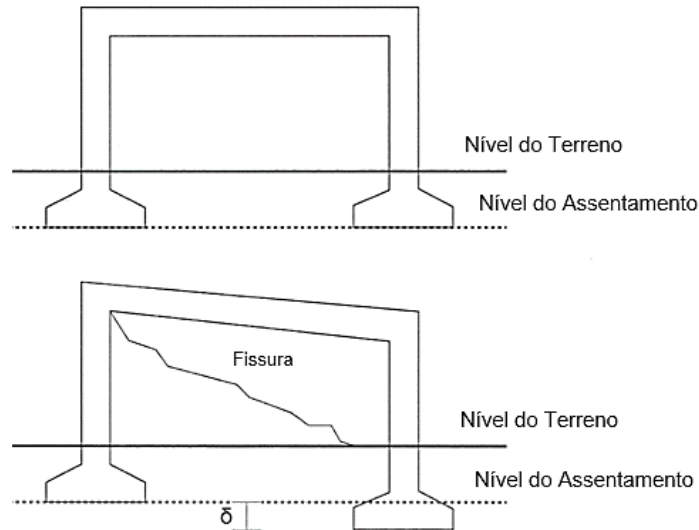
Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid (2015).

4.1.1.1 Identificação de recalques diferenciais

A forma como cada edifício se comporta diante de um caso de recalque diferencial procede da interação entre a superestrutura, a fundação e o solo. Em consequência do desnivelamento causado pela redução do índice de vazios do solo, o mesmo visa expor os

sintomas patológicos característicos dessa movimentação (PINTO, 2018). A FIG. 10 elucida o surgimento de fissuras após a manifestação do recalque diferencial nas fundações.

Figura 10: Sintoma patológico de recalque diferencial.

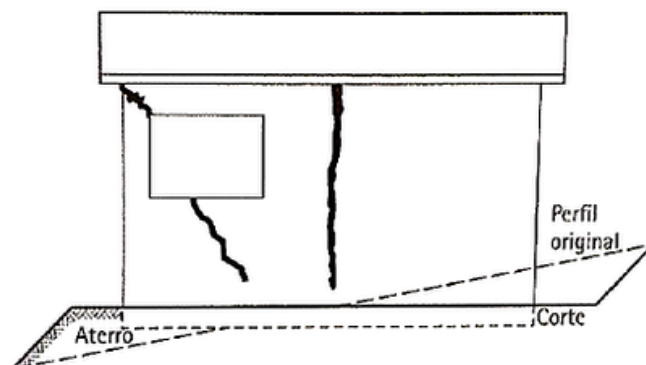


Fonte: Pinto (2018).

Os recalques, em sua grande maioria, são caracterizados por fissuras, trincas, rachaduras e fendas. Esses sintomas, de acordo com Sena et al. (2020), possuem uma inclinação de 45° e se direcionam para o ponto onde ocorreu o maior recalque. Através da medição das aberturas ainda é possível estimar a intensidade dos danos e riscos causados naquela edificação.

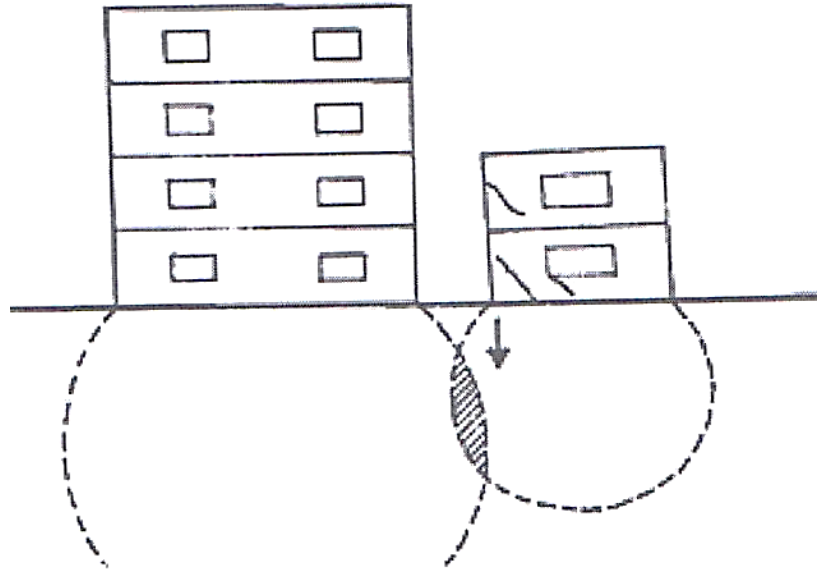
As causas mais comuns para o recalque diferencial são expostas nas FIG. 11 a 14.

Figura 11: Fundações assentadas sobre seções de corte e aterro; trincas de cisalhamento nas alvenarias.



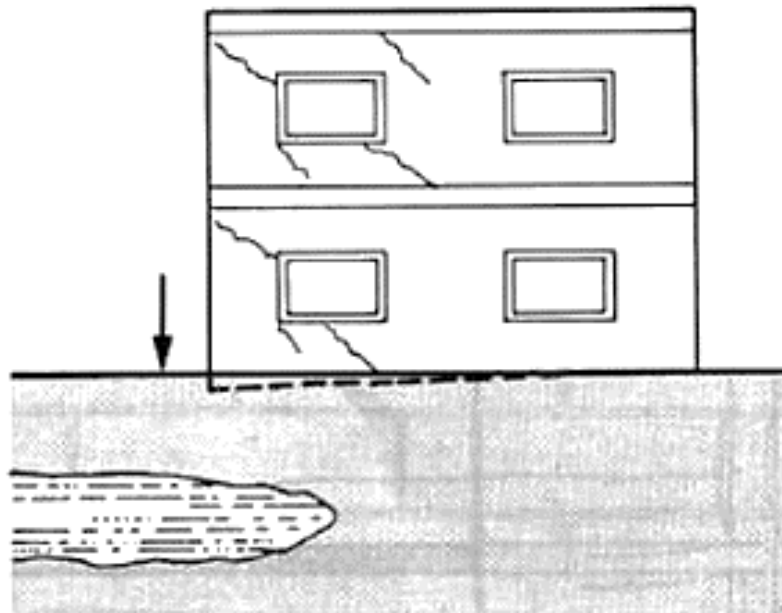
Fonte: Martins (2021).

Figura 12: Recalque diferencial no edifício menor pela interferência no seu bulbo de tensões, em função da construção do edifício maior.



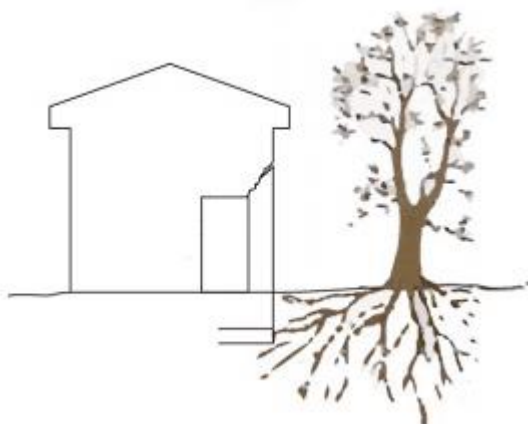
Fonte: Sena et al. (2020).

Figura 13: Recalque diferencial por falta de homogeneidade do solo.



Fonte: Kerkoff (2017).

Figura 14: Trinca provocada por recalque advindo da contração do solo, devido à retirada de água por vegetação próxima.



Fonte: Franco e Niedermeyer (2017).

4.1.1.2 Danos causados

O mau desempenho de uma fundação pode causar manifestações através de danos que podem ser verificados a partir da deterioração dos materiais que compõem a fundação, com a consequente perda de resistência e também na obra como um todo, pelos recalques e desaprumos. Segundo Hachich et al. (1998), esses danos podem ser definidos como arquitetônicos, funcionais e estruturais e, dependendo da intensidade, é necessária a adoção de técnicas de reforço estrutural para prevenir possíveis riscos.

Os danos arquitetônicos, de acordo com Franco e Niedermeyer (2017), são aqueles que comprometem apenas a parte estética da edificação e são visíveis pelo observador, como trincas em paredes e acabamentos, rompimento de painéis de vidro ou mármore, etc. Nesses casos o reforço é optativo, visto que não existe riscos quanto à estabilidade da estrutura.

Já os danos funcionais são aqueles causados à utilização da edificação e geralmente causam o refluxo ou a ruptura de redes de esgoto e/ou águas pluviais, desgaste excessivo dos trilhos-guia de elevadores, mau funcionamento de portas e janelas, etc. Logo, para esse caso, é importante verificar a intensidade dos danos, pois, a partir de certo limite, o reforço é necessário, uma vez que podem advir transtornos no uso da edificação (HACHICH et al., 1998).

Por fim, os danos estruturais são aqueles causados à estrutura propriamente dita, ou seja, vigas, pilares e lajes. Nesse caso, o reforço se torna necessário, pois a sua ausência implica na instabilidade da construção, podendo levá-la ao colapso (VELOSO; LOPES, 2010).

A TAB. 4 indica a relação entre a abertura de fissuras nas edificações e a intensidade dos danos de acordo com o uso do imóvel.

Tabela 4: Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios.

Abertura (mm)	Intensidade dos danos			Efeito na estrutura e no uso do edifício
	Residencial	Comercial ou público	Industrial	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito leve	Muito leve	Insignificante	Nenhum
0,3 a 1	Leve	Leve	Muito leve	Apenas estética; deterioração acelerada do aspecto externo
1 a 2	Leve a moderada	Leve a moderada	Muito leve	
2 a 5	Moderada	Moderada	Leve	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade pode estar em risco
5 a 15	Moderada a severa	Moderada a severa	Moderada	
15 a 25	Severa a muito severa	Severa a muito severa	Moderada a severa	
>25	Muito severa a perigosa	Severa a perigosa	Severa a perigosa	Cresce o risco de a estrutura tornar-se perigosa

Fonte: Troyack e Freitas (2021).

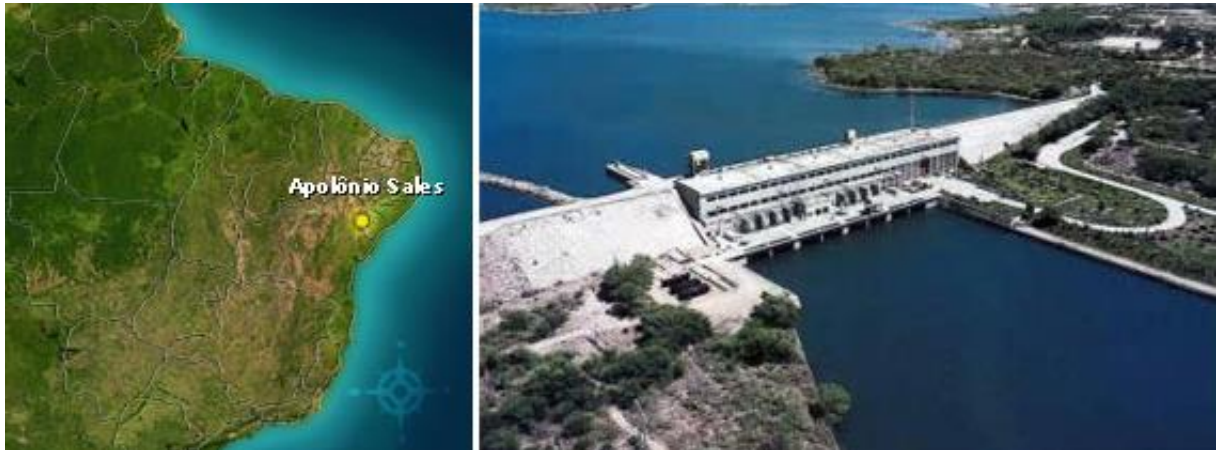
4.1.2 Reação álcali-agregado (RAA)

A reação álcali-agregado (RAA) é mais uma das manifestações patológicas incidentes em fundações. Segundo Sena et al. (2020), ela ocorre a partir da interação entre os compostos hidratados do cimento com minerais reativos dos agregados, resultando em compostos que podem ocasionar degradações e fissuras no concreto, se houver presença de umidade.

O primeiro caso desse fenômeno foi descrito por Stanton, em 1940, na Califórnia (FONSECA et al., 2018). A partir desse ano e com o reconhecimento da RAA como um problema na América do Norte, várias regiões do mundo passaram a detectá-la. No Brasil, as primeiras pesquisas acerca do assunto surgiram na década de 80, há mais de 20 casos, em barragens afetadas pela RAA, como a barragem Apolônio Sales localizada em Delmiro Gouveia – AL (FIG. 15). Também foram diagnosticados diversos casos na região metropolitana do Recife – PE, chamando a atenção da população e da comunidade técnica. Somente entre janeiro de 2005

e março de 2007, estimaram-se 15 casos de fissuração em blocos de fundação causados pela reação (ALMEIDA, 2015).

Figura 15: Barragem Apolônio Sales.



Fonte: Chesf (2016).

O tipo de RAA escolhido para ser discutido nesse trabalho é a Reação Álcali-Sílica (RAS). Ela é o tipo mais conhecido e recorrente nas estruturas brasileiras e caracteriza-se pelo seu tempo de reação ser mais rápido e por formar um gel higroscópico e instável (SILVA, 2019). A FIG. 16 ilustra os fatores necessários para o processo da RAS.

Figura 16: Fatores necessários para a reação álcali-sílica.



Fonte: Gomes (2008).

Essa reação ocorre entre a alta alcalinidade do cimento em contato com a sílica do agregado, resultando em um gel expansivo. Tal gel tem grande capacidade de absorver umidade, aumentando consideravelmente de tamanho no interior dos poros do concreto,

gerando tensões internas de tração que ocasionam fissuras no elemento estrutural, como ilustra a FIG. 17 (INVERNIZZI, 2019).

Figura 17: Fissuração do bloco provocado por RAS.



Fonte: Silva (2019).

Normalmente, o concreto apresenta resistência à tração da ordem de 2 a 3 MPa (BUTTIGNOL; ALMEIDA, 2013), no entanto, essas expansões dos géis, de acordo com Almeida (2015), podem gerar pressões internas da ordem de 6 a 7 MPa, causando, conseqüentemente, a fissuração do elemento estrutural e desencadeando outras manifestações patológicas, tais como infiltração e processos de corrosão das armaduras, refletindo negativamente em algumas propriedades mecânicas e elásticas.

Essa reação pode ser muito danosa em barragens e fundações por se tratarem de locais em que o concreto tem contato com a água. Dessa forma, a prevenção para essa manifestação patológica é importantíssima durante a fase de projeto. Para isso, deve-se optar pelo Cimento *Portland* com baixo teor de álcalis e com ações pozolânicas ou de alto – forno, por agregados não reativos, e também por limitar o teor de umidade (SENA et al., 2020), além de seguir todas as orientações presentes na NBR 15577 (ABNT, 2018).

4.2 Métodos de recuperação e reforço estrutural

Uma vez detectadas as manifestações patológicas nas fundações, se for verificado que o dano à estrutura é grave, faz-se necessário implementar soluções. Neste momento, a recuperação e reforço das estruturas surgem como um forte segmento de mercado da indústria

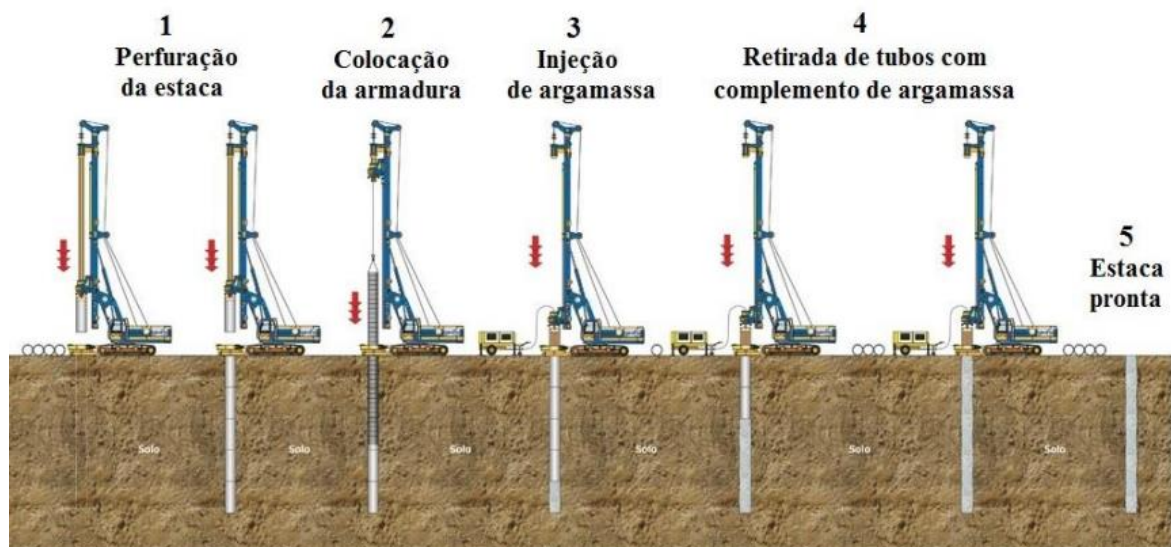
da construção civil e vem atender à necessidade de reestabelecer as condições originais das estruturas danificadas (recuperação) ou promover adequações da capacidade resistente das estruturas em função do uso (reforço) (REIS, 2001).

Os reforços de fundações representam uma intervenção no sistema solo-fundação-estrutura existente, com função de modificar seu desempenho. São utilizados quando as fundações existentes são inadequadas para suportar as cargas atuantes ou quando ocorre um aumento no carregamento e este novo valor não pode ser absorvido sem riscos e reduções consideráveis nos coeficientes de segurança (HACHIH et al., 1998).

Dessa forma, a escolha do tipo de reforço a ser utilizado varia de acordo com o tipo de solo, nível de carregamento, custo, urgência, influências externas, etc. Silva, Silva e Beterquini (2018) afirmam que os tipos mais comuns de reforço de fundações são estacas raiz, injeções de cimento e estacas mega.

A estaca raiz, de acordo com Mello, Bremer e Soares Júnior (2020), é apropriada para locais com acesso limitado e é executada por perfuração rotativa ou rotopercussiva, revestida integralmente no trecho em solo por um conjunto de tubos metálicos recuperáveis, injetada com argamassa para moldar o fuste. Esse tipo de fundação, em comparação às demais, possui vantagens técnicas por conseguir atravessar camadas rochosas e por não provocar intensas vibrações às estruturas. A FIG. 18 ilustra o seu processo executivo.

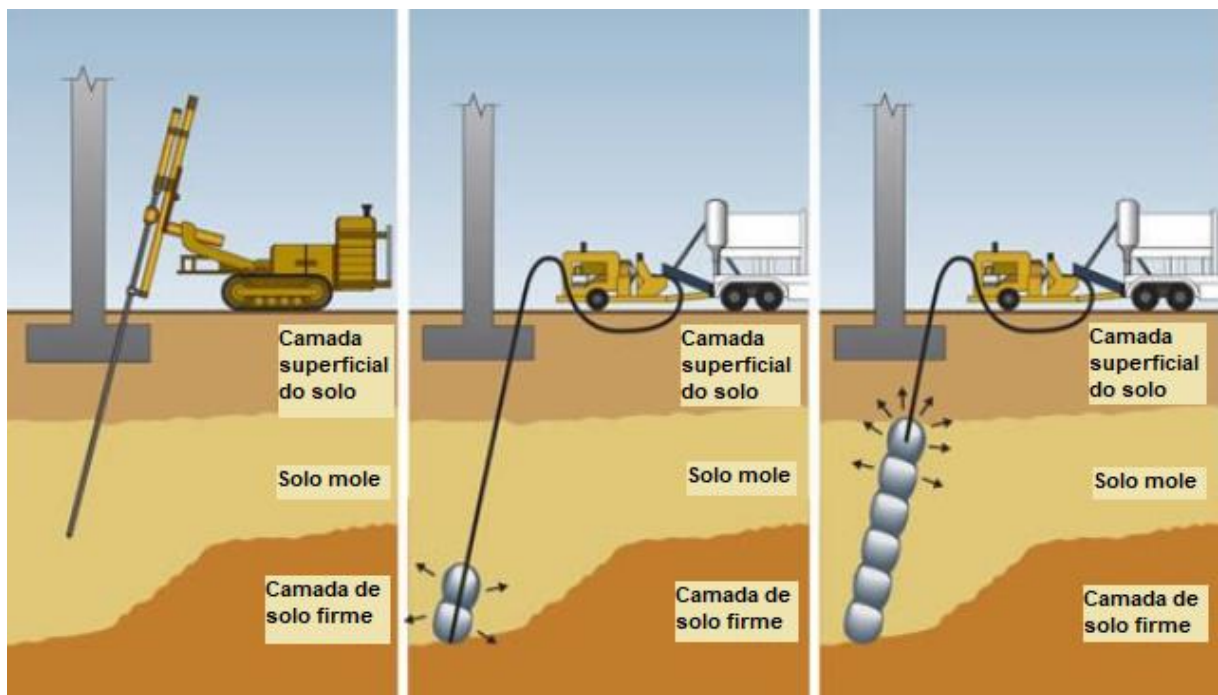
Figura 18: Estaca raiz.



Fonte: Silva, Silva e Beterquini (2018).

Já a injeção de cimento é indicada para proporcionar resistência e estabilidade ao solo para que o mesmo consiga suportar as cargas transmitidas pela fundação. Essa técnica é muito utilizada para estabilizar solos em recalque, uma vez que preenche os vazios do solo, melhorando suas propriedades. A execução do método, ilustrada pela FIG. 19, consiste em injetar uma camada de cimento através de tubos galvanizados de 2” a 3” de diâmetro no terreno abaixo da fundação até a cota desejada (MOREIRA, 2018).

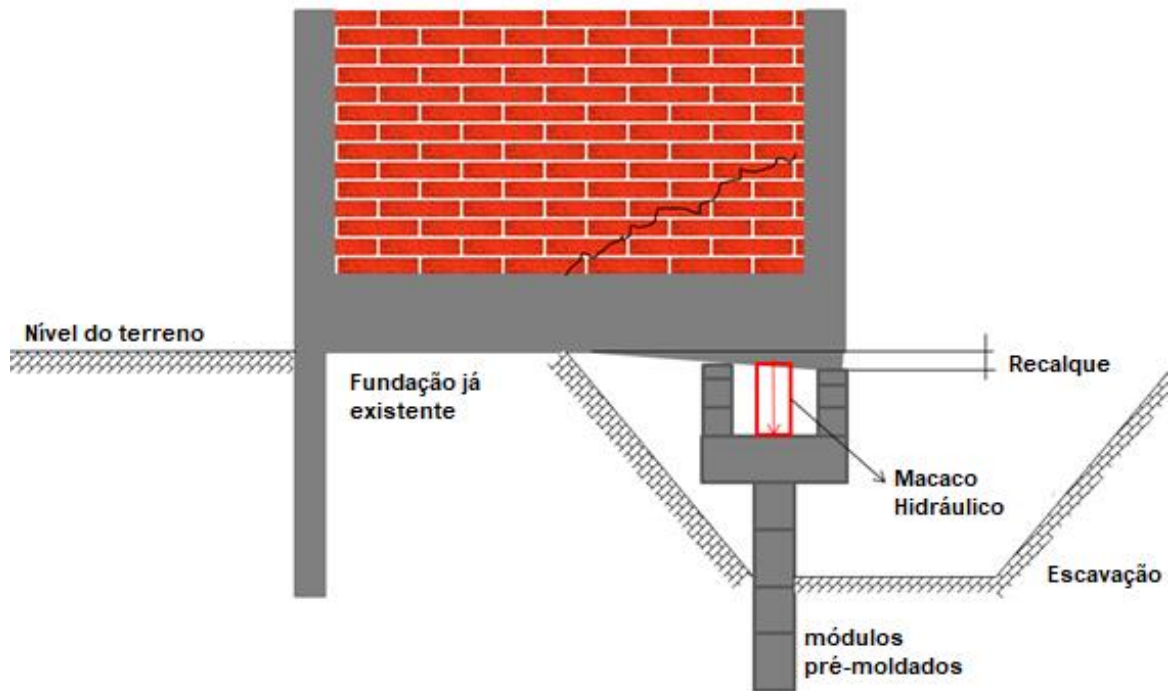
Figura 19: Injeções de cimento.



Fonte: Grupo RB e AJ (2019).

Por fim, tem-se também a utilização de estacas megas, também conhecidas como estacas de reação, para o reforço estrutural em fundações. Elas são constituídas por elementos segmentados de concreto armado, protendido ou de aço, que são superpostos uns aos outros e cravados no solo através de macacos hidráulicos (FIG. 20). Como são elementos pré-fabricados, uma das grandes vantagens do seu uso refere-se ao controle de qualidade durante a fabricação (CARVALHO, 2018).

Figura 20: Estacas megas



Fonte: Schneider (2020).

A recuperação de uma estrutura, diferentemente do reforço, consiste apenas em corrigir os problemas patológicos existentes no local sem que se necessite modificar seu desempenho estrutural. Não se trata de um trabalho fácil, é preciso estudar e conhecer os principais materiais que foram utilizados durante a construção, de forma a obter um perfeito entendimento da solução inicial, facilitando a escolha dos materiais e dos métodos que serão adotados no processo de reabilitação. Normalmente, são realizados tratamentos superficiais com materiais elásticos para impermeabilização da fundação como ilustra a FIG. 21. (CAMPOS, 2006).

Figura 21: Bloco impermeabilizado.



Fonte: Silva et al. (2021).

Portanto, o principal objetivo de um projeto de restauração estrutural é devolver a integridade e restabelecer a vida útil da construção. O QUADRO 3 identifica algumas ações adotadas.

Quadro 3: Ações adotadas na recuperação estrutural

AÇÕES ADOTADAS	MATERIAL UTILIZADO	OBJETIVO
Tratamentos superficiais	Materiais elásticos a ponto de não fissurarem, como pinturas à base de silano e compostos à base de lítio.	Impedir ou reduzir o ingresso de umidade no concreto
Utilização de membranas	Mantas asfálticas ou mantas de PVC	Impedir a entrada de umidade no concreto

Fonte: Gomes (2008).

5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FUNDAÇÕES - ESTUDOS DE CASOS

5.1 Os edifícios tortos de Santos

A cidade de Santos, no estado de São Paulo, é a cidade mais importante, economicamente, da Região Metropolitana da Baixada Santista e uma das mais ricas do Brasil, com uma população estimada de mais de 433 mil habitantes. Ela está localizada no litoral paulista, a 72 km da capital, e ocupa o 5º lugar no *ranking* de qualidade de vida dos municípios brasileiros. Além disso, conta com o maior Porto da América Latina, sendo 13 km de extensão por onde passam mais de 25% de todas as cargas que entram e saem do Brasil (PREFEITURA DE SANTOS, 2022).

Santos foi uma das primeiras vilas a serem desenvolvidas no século XVI após a colonização portuguesa, no entanto, as condições geográficas da área não ofereciam condições para grandes evoluções. Foi somente no século XIX que a vila evoluiu para cidade de forma rápida e concentrada. Em 1940, após algumas intervenções da engenharia e do poder público em busca de desenvolvimento e interesse comercial, houve uma expansão urbana da cidade e os habitantes começaram a ocupar as orlas das praias com mansões, as quais foram substituídas por grandes edifícios pouco tempo depois (MARTINO, 2021).

Através de ensaios de SPT, descobriu-se que o solo santista é composto por uma espessa camada de argila marinha mole, com N_{SPT} entre 0 e 4 golpes, como ilustra a FIG. 22.

Figura 22: Composição do Solo Santista.



Fonte: Adaptado de Menezes (2021).

Porém, o fato de a camada superficial ser de areia compacta, com N_{SPT} chegando a 30 golpes, levou os construtores da época a executarem edifícios com mais de 12 pavimentos apoiados sobre fundações rasas de 1,5 a 2,0 m de profundidade (SENA et al., 2020)

Sena et al. (2020) relatam ainda que, com o passar dos anos, com o aumento das construções e do seu número de pavimentos, foi gerado um acréscimo de tensões na camada de argila através do incremento de cargas e do bulbo de pressões. Conseqüentemente, diversos edifícios sofreram com recalques diferenciais, ilustrados pela FIG. 23, que chegam a 120 cm, ora um em direção ao outro, ora em direções opostas, ou ainda para um lado sem interferência da edificação vizinha.

Figura 23: Edifícios tortos de Santos.



Fonte: Martino (2021).

Esses recalques diferenciais, de acordo com Dias (2010), não ocorrem em toda a orla, existe uma chamada “Faixa Crítica”, compreendida pelos canais 4, 5 e 6, identificada pela FIG. 24, onde se encontra o maior número de prédios inclinados perceptíveis a olho nu; no restante da orla, os recalques são bem menores.

Figura 24: “Faixa Crítica” da orla de Santos.



Fonte: Dias (2010).

5.1.1 Edifício Núncio Malzoni

Conforme já mencionado anteriormente, o recalque diferencial é uma das manifestações patológicas mais recorrentes em fundações. Diante disso, expõe-se aqui o caso do Edifício Núncio Malzoni (FIG. 25), o caso de recalque diferencial mais famoso da Orla de Santos. Apresenta-se também, em seguida, o método de reforço estrutural escolhido para solução do problema.

O Condomínio do Edifício Núncio Malzoni é constituído pelos blocos A e B (FIG. 26), ambos com altura de 55 m e compostos por 17 andares, que deveriam estar apoiados sobre fundações profundas com base na geotecnia da Orla de Santos que apresenta uma espessa camada de argila de capacidade mole.

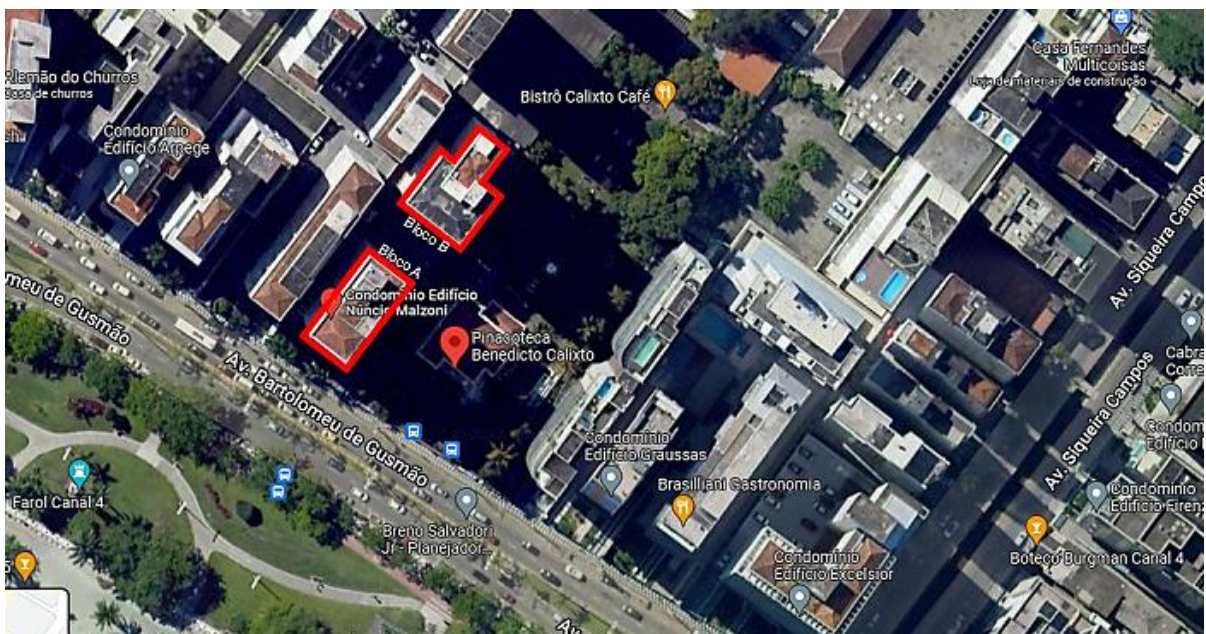
No entanto, de acordo com Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006), o edifício foi construído em 1967 na Orla de Santos, sob fundações diretas entre 1,5 m e 2,0 m de profundidade, interligadas por vigas de rigidez de 1,5 m de altura e 0,5 m de largura, formando praticamente um radier, para que o mesmo se comportasse como um corpo rígido. Mesmo com o estudo geotécnico da região e sabendo da necessidade de fundações profundas, os construtores da época ainda optaram por fundações diretas para reduzirem o prazo de construção e também para economizarem, já que o custo ficaria em torno de 5 a 7% do valor total da obra, enquanto o custo de uma fundação profunda ficaria em torno de 14%.

Figura 25: Edifício Núncio Malzoni.



Fonte: Dias (2010).

Figura 26: Localização do Condomínio do Edifício Núncio Malzoni.



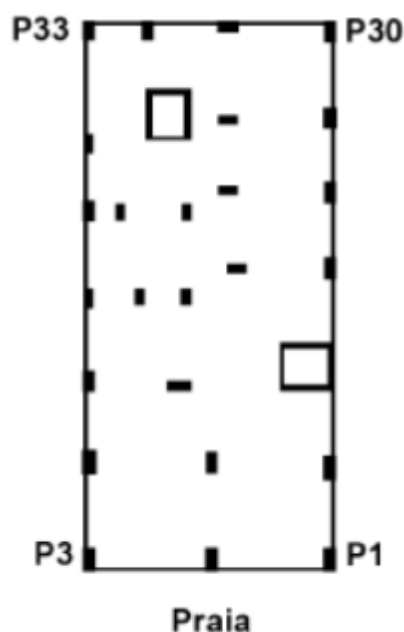
Fonte: Google Maps (2022).

Quatro anos após a conclusão da obra, observou-se que o edifício estava sofrendo com recalques diferenciais. Em 1995, o Bloco A chegou a apresentar 2,2° de inclinação em direção ao Condomínio Jardim Europa e 0,6° em direção ao Bloco B, necessitando de intervenções estruturais. Esses recalques diferenciais eram da ordem de 25 cm na longitudinal, 45 cm na transversal, totalizando 70 cm na diagonal da edificação. Apesar de serem valores altos, os engenheiros responsáveis concluíram que não haviam riscos de tombamento, no entanto, a construção apresentava danos funcionais que causavam transtornos aos moradores além de grande desvalorização do imóvel (MAFFEI; GONÇALVES; PIMENTA, 2006).

A FIG. 27 ilustra a posição dos pilares do bloco A do edifício apresentado, na qual os pilares P1, P3, P30 e P33 identificados referem-se aos pilares de canto da edificação que tiveram suas fundações observadas entre os anos de 1971 e 1999. Após esse período de análise, foi traçado um gráfico de linhas, ilustrado pela FIG. 28, apresentando a evolução do recalque ao longo dos anos.

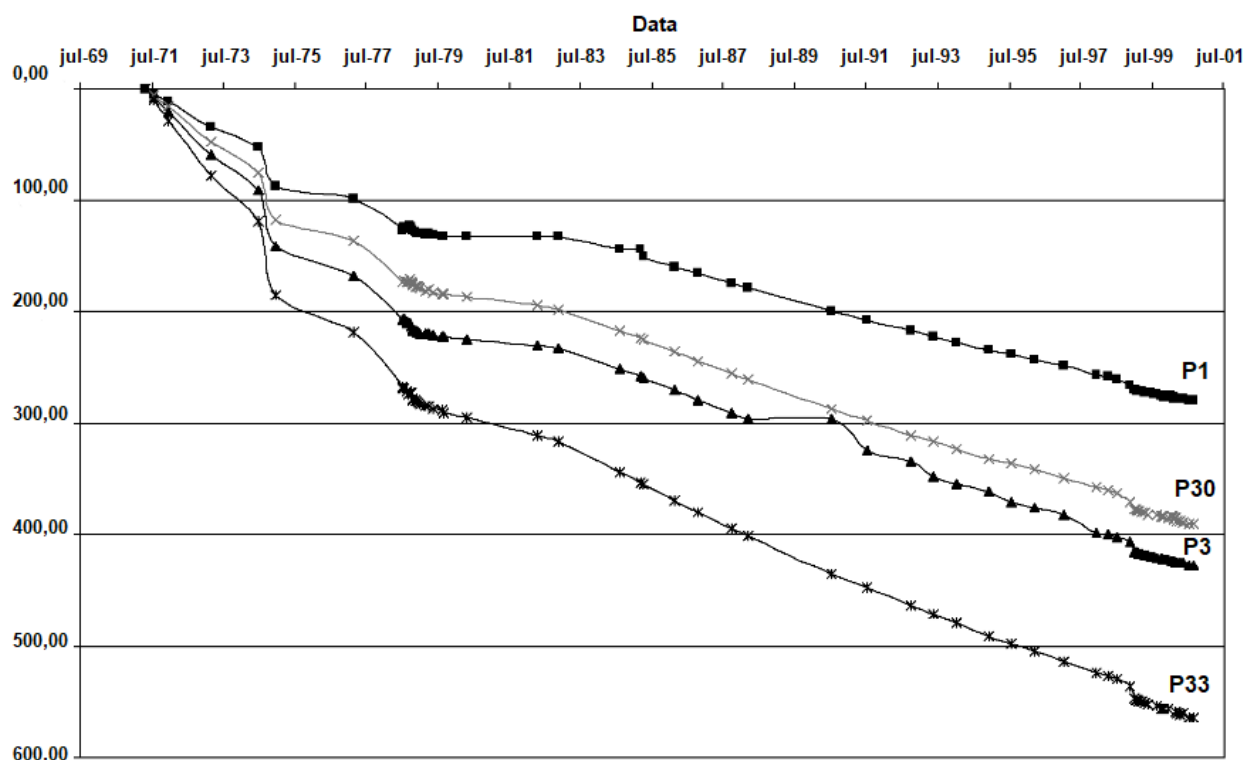
Pode-se observar que o P33 foi o mais afetado, com um recalque de aproximadamente 57 cm, e o P1 o menos afetado, com recalque em torno de 27 cm. A partir do exposto, concluiu-se que o problema se tratava de um recalque diferencial pois o movimento vertical descendente aconteceu com diferentes magnitudes.

Figura 27: Posição dos pilares do Bloco A do Edifício Núncio Malzoni.



Fonte: Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006).

Figura 28: Evolução de recalques dos pilares externos do Bloco A.



Fonte: Adaptado de Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006).

Os recalques de fundações, sob a ótica do solo, são divididos em: recalques imediatos que acontecem logo após a aplicação do carregamento, recalques primários que ocorrem pela redução de vazios do solo podendo durar horas ou até anos, recalques secundários que são as deformações apresentadas ao final do recalque primário e ocorrem em todos os solos, mas acontecem de forma mais acentuada em solos com alto teor de matéria orgânica. Esse recalque, de acordo com Schneider (2020), tende a zero em um tempo infinito, ou seja, se comporta de maneira decrescente em relação ao tempo.

Curiosamente, esse fato não se aplica ao gráfico apresentado na FIG. 28, sendo possível verificar que, em meados do ano de 1974, a intensidade de evolução dos recalques aumentaram consideravelmente e, ao longo dos anos, os elementos estruturais analisados não apresentaram tendências de estabilização. Diante disso, pode-se afirmar que, além dos recalques diferenciais, a estrutura também pode ter sido alvo de reações álcali-agregado, em virtude de a mesma estar localizada em região litorânea com classe de agressividade ambiental III, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014), com grande risco de deterioração da estrutura. Ressalta-se ainda que os resultados apresentados na FIG. 28 são similares à relação velocidade de deterioração x tempo

característica dessa patologia (reação álcali-agregado), que não possui tendência de estabilização a longo prazo.

Para a solução de problemas como esse, atualmente, os métodos mais utilizados em Santos são estacas escavadas de grandes diâmetros, utilizando lama betonítica ou polímero, cravação de perfis metálicos através de martelo hidráulico, e estacas raiz (RIBEIRO, 2019).

No caso do Edifício Núncio Malzoni, o engenheiro responsável pelo projeto de reaprumo do edifício, determinou, para solução do problema, que novas fundações fossem implantadas, com diâmetros entre 1 m e 1,8 m e que seriam escavadas com o uso de lama betonítica.

Para a execução dessa fundação, coloca-se um tubo guia no local demarcado e inicia-se a escavação através de uma perfuradora, preenchendo o fuste simultaneamente com lama betonítica, mistura de argila especial (betonita) com água, garantindo a estabilidade das paredes e fundo da escavação até atingir a cota necessária (DRILLING, 2018).

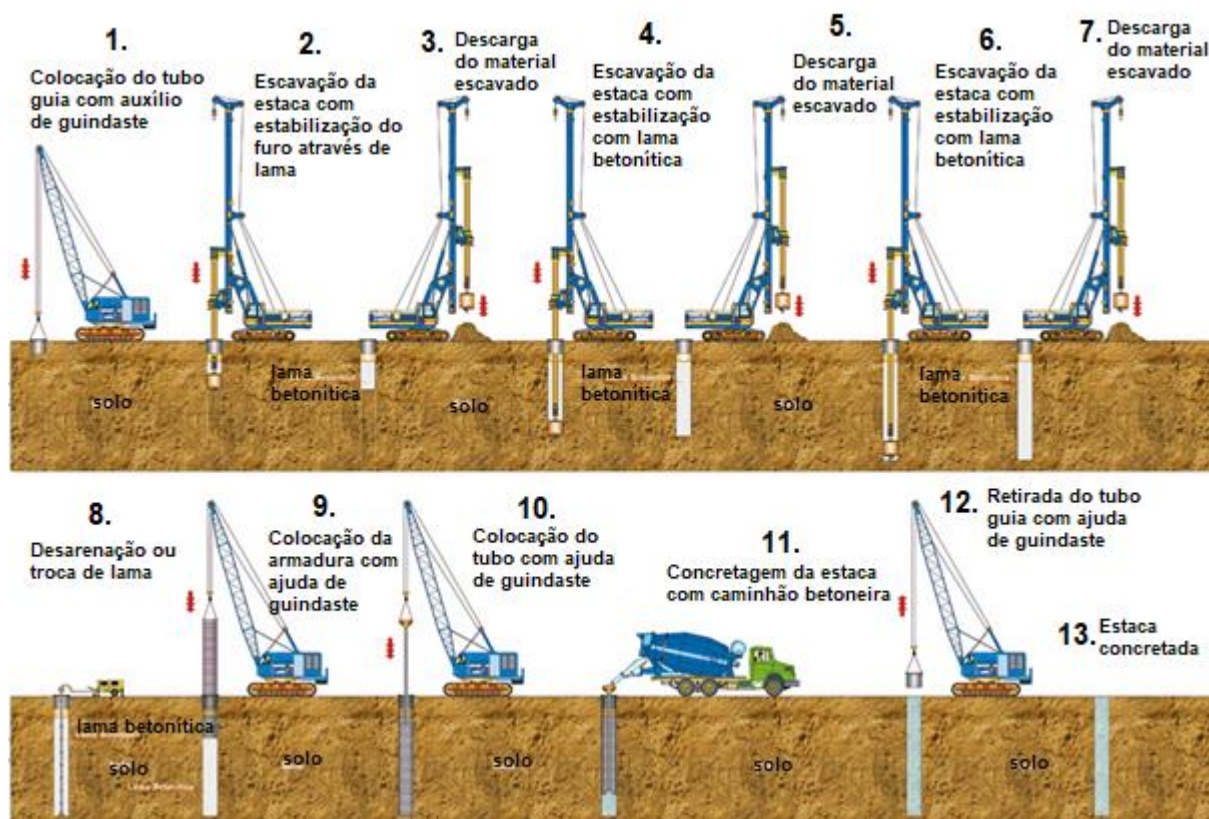
De acordo com a NBR 9061 (ABNT, 1985), essa lama também permite que as partículas sólidas do solo escavado se mantenham em suspensão, evitando que elas depositem no fundo da escavação, por isso, ao final dessa fase, deve-se realizar um ensaio dessa lama para verificar a quantidade de sólidos (grãos de areia) em suspensão. Caso o teor seja maior que 3% em volume, a mesma deve ser trocada antes da operação de concretagem.

Ainda conforme ABNT (1985), esse processo pode ser realizado de duas maneiras: a) substituição: a lama contaminada é bombeada e simultaneamente é inserida uma nova lama; ou b) desarenação: a lama contaminada é bombeada e as partículas sólidas são separadas através de uma centrífuga, em seguida, é retornada para o fuste.

Logo depois, a armadura é colocada e a concretagem é efetuada de maneira submersa de baixo para cima garantindo a expulsão de toda a lama. Por fim, o tubo guia é retirado (DRILLING, 2018). A FIG. 29 ilustra o passo a passo do processo de execução.

Apesar do resultado satisfatório, outro método que também seria viável para o caso em questão, e que não necessitaria do alto consumo de betonita, seria a utilização de estaca raiz, para a qual, no lugar de lama seria utilizada apenas água. Além disso, caso encontrasse algum fragmento de rocha durante a perfuração, seria possível atravessá-la e atingir a cota desejada.

Figura 29: Execução da estaca escavada com lama betonítica.



Fonte: Geofix (2021).

5.1.2 Descrição do método de reforço estrutural proposto para o caso do Edifício Núncio Malzoni

O caso do Edifício Núncio Malzoni foi noticiado em todo o mundo, uma vez que seria a primeira vez que um edifício recalcado seria realinhado no Brasil. Entre 1995 e 1998, todos os estudos e projetos de reforço e reaprumo do Bloco A foram elaborados e, em novembro de 1998, as obras iniciaram-se. De acordo com Dias (2010), a execução da obra exigiu muito cuidado, devido ao fato de os moradores não terem desocupado o imóvel. As etapas a seguir descrevem como o processo foi executado.

Primeiramente, foram executadas 14 estacas, sete em cada lateral do prédio, escavadas com o uso de lama betonítica de diâmetros que variam entre 1,0 m e 1,8 m, com profundidade média de 55 m, que atravessaram a camada de argila marinha mole e atingiram um solo resistente e seguro. Durante a escavação, foram utilizadas camisas metálicas para evitar deslizamento do solo, ilustrado pela FIG. 30.

Figura 30: Escavação de estacas com encamisamento metálico.



Fonte: Sayegh (2001).

Para que o carregamento dos pilares antigos pudesse ser transferido para as novas fundações, foram construídas sete vigas de transição, tipo *Vierendeel*, de modo a manter a circulação no andar térreo, como ilustra a FIG. 31. Essas vigas, segundo Siqueira e Fiorite (2012), funcionam como um pórtico, onde as barras estarão sujeitas às tensões de tração e compressão (como nas treliças) e flexão e cisalhamento (como nas vigas). Assim, as cargas podem ser aplicadas em qualquer parte da viga *Vierendeel* que continuarão a surgir os mesmos esforços. Nas extremidades de cada viga, foram executadas abas que formam um bloco transversal às vigas no intuito de instalar os macacos hidráulicos e calços para realinhamento do edifício (MAFFEI; GONÇALVES; PIMENTA, 2006).

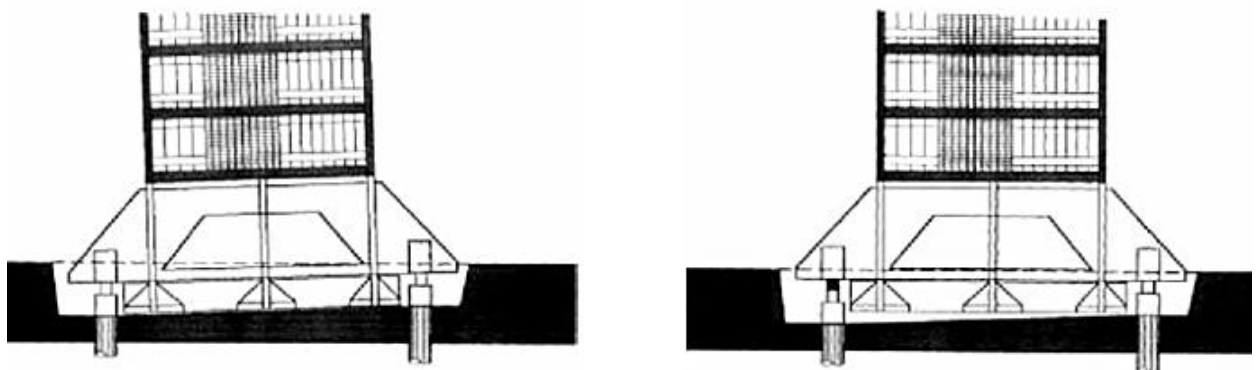
Figura 31: Construção de vigas de transição.



Fonte: Sayegh (2001).

Segundo Dias (2010), entre as vigas de transição e os novos blocos de fundação, foram instalados 14 macacos hidráulicos acionados por 6 bombas. Ao lado dos macacos hidráulicos, necessitou-se construir 2 pilaretes para a colocação dos calços metálicos a fim de servirem de apoio para as vigas enquanto o curso dos macacos era abaixado, além de garantir segurança para a construção. O macaqueamento foi feito de milímetro a milímetro, garantindo a integridade estrutural do edifício como ilustra as FIG. 32 e 33.

Figura 32: Esquema de colocação dos macacos



Fonte: Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006).

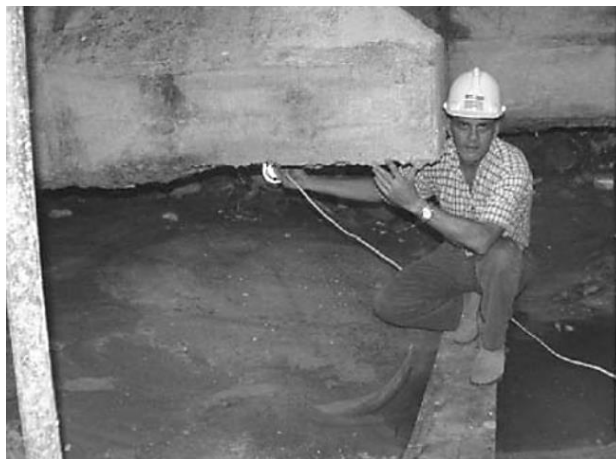
Figura 33: Edifício suspenso por macacos hidráulicos.



Fonte: Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006).

De acordo com Carranca (2006), o bloco A, com uma área de 240 m² por pavimento, com um peso total de 6300 toneladas, foi suspenso por esses macacos hidráulicos chegando ao seu alinhamento ideal. Após este fato, o terreno foi escavado para que todas as sapatas, da fundação antiga ficassem livres, sem contato com o solo, como é mostrado na FIG. 34. Em seguida, todos os macacos foram retirados e os vãos foram substituídos por uma estrutura de concreto armado responsável por garantir a ligação das vigas às novas estacas.

Figura 34: Sapatas escavadas.



Fonte: Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006).

Em 6 de fevereiro de 2001, as obras foram finalizadas, obtendo-se resultados satisfatórios e que hoje servem de referência para todo o mundo. Embora o valor gasto tenha sido em torno de 1,5 milhão de reais, foi a solução mais viável encontrada na época, pois a demolição com um possível pagamento de indenização para os moradores do edifício não seria

vantajosa, além disso, causaria maiores transtornos à população e a demolição poderia afetar as construções adjacentes. A FIG. 35 mostra o antes e o depois do edifício reaprumado.

Figura 35: Edifício Núncio Malzoni antes e depois do reaprumo.



Fonte: Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006).

5.2 Edifícios de Recife

Recife, a capital do estado de Pernambuco, foi fundada em 1537 e conta com mais de 1,5 milhão de habitantes. Conhecida pela beleza de suas paisagens, com pontes e rios cortando toda a sua cidade, possui também um aglomerado econômico de alta densidade e liderança regional, abrigando as principais indústrias do Estado e consolidando-se como um moderno polo de serviços (PREFEITURA DE RECIFE, 2022).

Nos últimos anos, a cidade tem sido polo para diversos estudos e análises acerca da Reação Álcali-Sílica (RAS), manifestação patológica que vem afetando diversas fundações.

Em 1999, a Ponte Paulo Guerra foi o primeiro caso diagnosticado sob ação da RAS na Região Metropolitana de Recife (RMR). Em 2004, um edifício residencial localizado na praia de Piedade, município de Jaboatão dos Guararapes, próximo a Recife, também apresentou fissurações em suas sapatas decorrentes dessa patologia. Em outubro do mesmo ano, e na mesma região, aconteceu o colapso do edifício Areia Branca, ilustrado pela FIG. 36, após 28 anos da sua construção, com 15 andares. No entanto, após o processo de perícias, o Conselho

Regional de Engenharia e Agronomia do estado de Pernambuco - CREA/PE emitiu um laudo no qual diagnosticaram-se falhas durante o processo construtivo, principalmente na região de apoio dos pilares nas fundações, ficando descartado o motivo da ruína estar relacionada à RAS.

Figura 36: Edifício Areia Branca antes e depois do colapso.



Fonte: Adaptado de Gusmão et al. (2005).

Assim, a partir desses acontecimentos, por medidas de segurança, vários condomínios da RMR solicitaram a realização de inspeções prediais, com ênfase nas fundações. Para surpresa, foram descobertos diversos casos de fissuras em sapatas e blocos de coroamento, como ilustra a FIG. 37, que, após a realização de ensaios laboratoriais, foram diagnosticados como ocorrência de RAS (SILVA et al., 2021).

Figura 37: Fissuras devido à ocorrência da Reação Álcali-Sílica.



Fonte: Obra 24 horas (2006).

Silva et al. (2021) ainda relatam que esse problema, até anos atrás, era de principal ocorrência em construções de grande porte, mas passou a ser um problema recorrente em edifícios com idades entre 3 a 20 anos de construção. No fim do ano de 2014 e durante todo o ano de 2015, foram descobertos vários casos envolvendo essa manifestação patológica em Recife/PE e, pouco tempo depois, começaram a surgir os primeiros casos em Fortaleza - CE.

Para inibir ou reduzir os efeitos da RAS, as medidas adotadas mais comuns são a aplicação de impregnantes, penetrantes, selantes e membranas para funcionarem como barreiras externas evitando a entrada de umidade nas estruturas de concreto, reforços estruturais quando é necessário aumentar as seções de concreto e de armadura, liberação de deformações através da abertura de juntas para aliviar os esforços de expansão ou, em casos extremos, demolição e reconstrução (SILVA, 2007).

5.2.1 Descrição do método de recuperação de um bloco de coroamento afetado pela reação álcali-sílica

Esse caso trata de um edifício público de 13 pavimentos que, após 12 anos da sua construção, foram diagnosticadas fissuras nas faces laterais dos blocos de coroamento de sua fundação, causadas pela reação do tipo álcali-sílica (RAS). Ele está localizado em uma área litorânea, onde, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), possui classe de agressividade ambiental III (TAB. 5).

Tabela 5: Classes de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a,b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a,b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a,c} Respingos de maré	Elevado

a - Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

b - Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c - Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

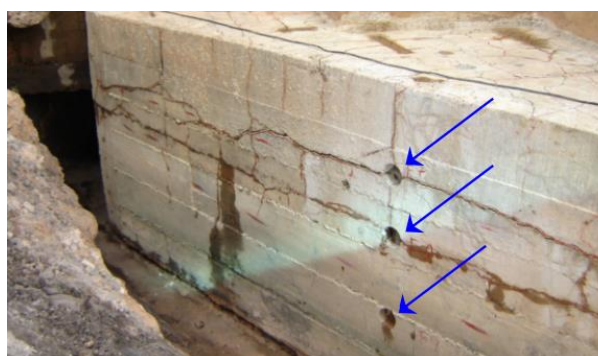
Fonte: NBR 6118:2014

De acordo com Gomes (2008), o edifício não apresentava sintomas aparentes em sua superestrutura e a identificação do problema só se deu através de uma escavação realizada próximo a um pilar para uma obra de reforma para adequação do projeto arquitetônico. A partir dessa descoberta, foi necessária uma inspeção nos demais blocos para verificar o estado da estrutura, constatando-se que o problema era comum a todos eles.

Diante disso, para identificação do real problema, foi necessário extrair corpos-de-prova, utilizando uma furadeira com serra copo de 100 mm de diâmetro, sobre as fissuras em diferentes locais, ilustrado pela FIG. 38, para que fossem realizados os ensaios de resistência à compressão e análise petrográfica (SENA et al., 2020).

Gomes (2008) afirma que essa análise petrográfica é realizada com intuito de constatar a presença de rochas e minerais potencialmente reativos com os álcalis do cimento.

Figura 38: Extração de amostras para análise laboratorial e verificação do comportamento das fissuras.



Fonte: Silva (2007).

Através da análise laboratorial foi diagnosticado que o agregado graúdo utilizado na obra foi o responsável pelo desencadeamento da RAS. Apesar de apresentar uma boa qualidade no que diz respeito à sua característica físico-mecânica, do ponto de vista mineralógico ele era responsável por estimular a reação expansiva do tipo álcali-silicato, pois apresenta quartzo e feldspato em sua composição mineralógica (SILVA, 2007).

Com a confirmação da patologia presente na estrutura, partiu-se para o projeto de recuperação com o intuito de devolver a sua integridade e restabelecer a sua vida útil através do fechamento das fissuras por meio da injeção de um material aderente e resistente (SILVA, 2019).

Logo, o processo de restauração, segundo Sena et al. (2020), constituiu das seguintes etapas descritas a seguir.

Primeiramente, foi realizada uma escavação completa das laterais dos blocos. Em seguida, utilizando uma lavadora de alta pressão, realizou-se a lavagem de suas faces, como ilustra a FIG. 39, para que as trincas externas ficassem mais evidentes e pudessem ser fechadas (colmatadas).

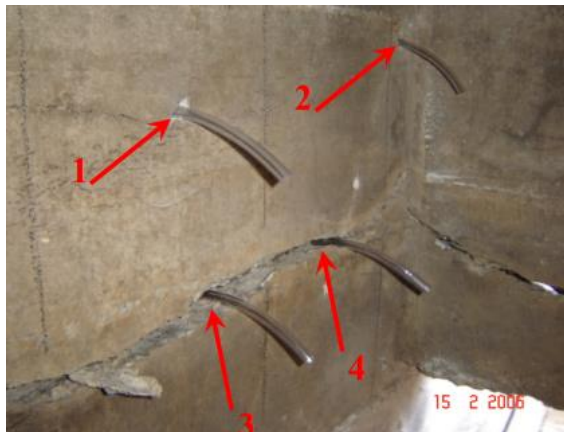
Figura 39: Lavagem da face dos blocos



Fonte: Silva (2007)

Após a limpeza superficial, foi realizada uma sopragem das fissuras e trincas utilizando um compressor, sem utilizar água, com o intuito de retirar todo o material pulverulento da área em que seria aplicada o microcimento, material cimentício ultrafino escolhido para fechamento das fissuras. Feito isso, fixaram-se purgadores (mangueiras transparentes), com diâmetro de 10 mm e comprimento de 200 mm, ao longo das trincas e fissuras. Vale ressaltar que, nas trincas menores que 10 mm, foi necessário perfurar um diâmetro de 250 mm com 100 mm de profundidade, aproximadamente, para que fosse possível fixar os purgadores, ilustrados pela FIG. 40.

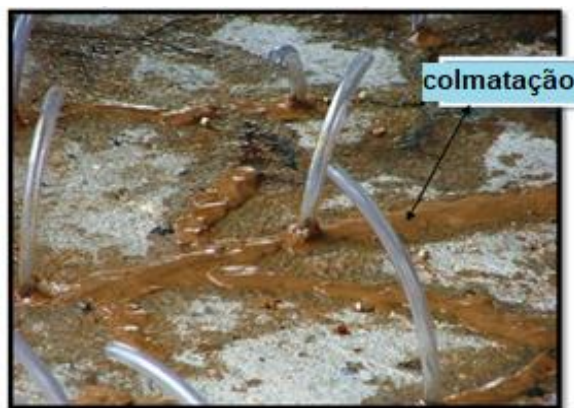
Figura 40: Fixação dos purgadores.



Fonte: Silva (2007)

Esses purgadores foram fixados em uma profundidade de 90 mm e o que ficou para o lado de fora foi utilizado para injeção do microcimento. No entanto, antes que essa injeção fosse realizada, foi preciso colmatar todas as trincas superficiais, como ilustra a FIG. 41, as quais apresentavam aberturas de diversas espessuras. Para isso, foi utilizado graute, microconcreto de alta resistência. Posteriormente, foi aplicada uma camada de argamassa de epóxi e caulim, para que, durante o serviço de injeção, não houvesse vazamentos e fosse permitido suportar a pressão de injeção.

Figura 41: Trincas superficiais colmatadas



Fonte: Silva (2019)

Finalizado o processo de colmatação, o interior das trincas e fissuras necessitaram de uma lavagem interna, realizada com a injeção de água sobre pressão através dos purgadores, para que todas as partículas de areia e argila fossem retiradas. Em seguida, com o auxílio de um compressor, novamente, foi injetado ar nas fissuras para retirar o excesso de água que poderia ter acumulado no interior do bloco durante a lavagem. A FIG. 42 ilustra uma amostra extraída do bloco antes e depois dessa lavagem, comprovando a eficácia da limpeza.

Figura 42: Antes e depois da lavagem interna das trincas.



Fonte: Adaptado de Silva (2007).

Após todo esse processo, finalmente as aberturas puderam ser preenchidas com o microcimento, partindo-se da parte inferior até chegar na parte superior pois, dessa forma, a partir do momento em que as trincas começassem a ser preenchidas, o ar presente no interior do bloco poderia ser expulso pelos purgadores superiores. Esse processo foi executado através de todas as mangueiras, como ilustra a FIG. 43.

Figura 43: Processo de injeção do microcimento.



Fonte: Silva (2007)

Por fim, após todas as aberturas terem sido preenchidas com o material, os purgadores foram fechados, dobrados e amarrados. A FIG. 44 representa um bloco após o processo de recuperação.

Figura 44: Bloco após recuperação



Fonte: Silva (2007)

No entanto, esses tratamentos são eficientes somente nos casos de fissuras passivas, aquelas que já tiveram seu avanço estacionado. Por esse motivo, é importante deixar uma janela de inspeção próximo ao local recuperado para que seja realizado um monitoramento do comportamento das fissuras tratadas.

Além disso, deveriam ser realizadas análises laboratoriais em outras jazidas próximas da região para avaliar a mineralogia a fim de descobrir um agregado não reagente para utilização nas futuras obras. Porém, nem sempre isso é possível, pelo fato de ser oneroso e inviabilizar o empreendimento. Assim, como segunda medida preventiva, Silva (2007) recomenda a utilização de cimentos com baixo teor de álcalis livres em sua composição, não superiores a 0,4%.

Por fim, também deve ser analisado o custo-benefício para a recuperação da estrutura pois, caso o problema volte a ocorrer, pode-se pensar na reconstrução de maneira correta, utilizando mão-de-obra qualificada e materiais de boa qualidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, foi possível identificar dois casos de manifestações patológicas que afetaram edifícios em diferentes regiões do Brasil. O primeiro tratou dos recalques diferenciais de fundações que afetam os edifícios de Santos - SP e o segundo referiu-se aos casos de reação álcali-sílica sobre as fundações dos edifícios de Recife - PE. Ambas são patologias incidentes sobre fundações, mas que necessitaram de diferentes métodos para solução dos problemas.

Problemas estes que foram causados por negligência durante os processos construtivos, gerando graves consequências que demandaram tempo, gastos e mão-de-obra qualificada para recuperação e reforço da estrutura.

Logo, através desse trabalho, foi possível admitir a importância de um bom projeto, correlacionado a uma boa mão-de-obra e materiais de boa qualidade, conjunto ideal para garantir a segurança e durabilidade da fundação e, conseqüentemente, da edificação.

Além disso, é relevante esclarecer a importância de se estudar o solo e conhecer as cargas que a ele serão transmitidas, pois, como discutido ao longo desse estudo, algumas obras ainda são construídas sem o conhecimento do tipo de solo e nível de água do lençol freático, devido ao falso relato de que essa análise trará custos desnecessários para a obra.

Portanto, a negligência dessa etapa trará consequências semelhantes às dos edifícios de Santos, no qual o projetista ignorou o tipo de fundação adequada, mesmo conhecendo um pouco do solo, por acreditar que a mesma demandaria tempo e dinheiro, no entanto, após alguns anos, os problemas começaram a surgir causando danos, gastos, transtornos e riscos para os moradores.

Dessa forma, sugere-se que sejam feitas inspeções prediais com foco em fundações de edifícios com mais de 10 anos de construção para que se possa avaliar o estado da estrutura. Para as novas construções, recomenda-se realizar a sondagem do solo, bem como seguir todas as normativas para execução do projeto. Além disso, recomenda-se também o acompanhamento e planejamento de toda a obra.

Considerando o problema da reação álcali-sílica que vem afetando as fundações dos edifícios de Recife, propõe-se que seja feito um investimento em pesquisas com a intenção de descobrir mais a fundo sobre o assunto e os possíveis métodos para recuperações eficientes, além de acompanhar como a estrutura irá se comportar após o processo de recuperação por injeção de microcimento.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha de; GARCIA, Jean Rodrigo. **Engenharia de fundações** - 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2020. Disponível em: <[https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636977/epubcfi/6/10\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright\]/4/18/12/1:20\[678%2C-6\]](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521636977/epubcfi/6/10[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright]/4/18/12/1:20[678%2C-6])>. Acesso: 10 set. 2021.
- ALMEIDA, Thiago da Silva. **Síntese e caracterização de géis da reação álcali – sílica em condições aceleradas**. Tese (Doutorado) – UFPB/CT. João Pessoa, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/14237/1/Arquivototal.pdf>>. Acesso: 25 abr. 2022.
- ALONSO, Urbano. R. **Previsão e controle das fundações**. Editora Blucher, 2019. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213895/>>. Acesso: 15 out. 2021.
- AL-TAIE, E.; AL-ANSARI, N.; KNUTSSON, S. Estimation of Settlement under Shallow Foundation for Different Regions in Iraq Using SAFE Software. **Engineering**, v. 7, n. 7, p. 379-386, 2015. Available from: <<http://dx.doi.org/10.4236/eng.2015.77034>>. Accessed on 4 June 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **NBR 6484**: Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.
- _____. **NBR 8036**. Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. **NBR 9061**. Segurança de escavação a céu aberto. Rio de Janeiro, 1985.
- _____. **NBR 15577**. Agregados - Reatividade álcali-agregado – partes 1 a 7. Rio de Janeiro, 2018.
- BATISTON, Kamilla Nayara. **Patologia nas fundações de estruturas de concreto**. Universidade de Araraquara (UNIARA) – Araraquara-SP, 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/kamilla_nayara_batiston_-_artigo.pdf>. Acesso: 10 set. 2021.
- BUTTIGNOL, T. E.T.; ALMEIDA, L. C. Concrete compressive characteristic strength analysis of pile caps with three piles. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]**. v. 6, n. 1, p. 158-177, 2013. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1983-41952013000100009>>. Accessed on 4 June 2022.

CAMPOS, Luiz Eduardo Teixeira. **Técnicas de recuperação e reforço estrutural com estruturas de aço**. Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. Rio de Janeiro: 2006. Disponível em: <<https://www.bdt.d.uerj.br:8443/bitstream/1/11520/1/Dissertacao%20Luiz%20Eduardo.pdf>>. Acesso: 23 abr. 2022.

CARRANCA, Adriana. **Santos desentortou**. Revista semanal de notícias Veja, 2006. Disponível em: <<https://www.novomilenio.inf.br/santos/h0236e.htm>>. Acesso: 07 mar. 2022.

CARVALHO, Rogéria Pereira. **Tipos de estacas especiais**. Monografia – Centro Universitário de João Pessoa. João Pessoa, 2018. 245f. Disponível em: <<https://bdcc.unipe.edu.br/wp-content/uploads/2019/02/Monografia-30-11-rogeria.pdf>>. Acesso: 06 jun. 2022.

CHESF. **Apolônio Sales**. Recife – PE, 2016. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/ApolonioSales.aspx>>. Acesso: 22 abr. 2022.

CINTRA, José Carlos A; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas: projeto geotécnico** – São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

CUNHA, R. P.; ALBUQUERQUE, P. J. R.. Advance of foundation techniques in brazil since colonial times. **Dyna rev.fac.nac.minas**, Medellín , v. 81, n. 183, p. 178-187, Feb. 2014. Available from <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000100020&lng=en&nrm=iso>. Access on 03 June 2022. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n183.31435>.

DELALIBERA, Rodrigo Gustavo; SOUSA, Gabriel Fernandes. Numerical analyses of two-pile caps considering lateral friction between the piles and soil. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]**. v. 14, n. 6, 2021. Available from: <<http://doi.org/10.1590/S1983-41952021000600004>>. Accessed on 4 June 2022

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. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-20082010-160223/publico/Dissertacao_Marianna_Silva_Dias.pdf>. Acesso: 8 mar. 2022.

DRILLING. **Estaca escavada com lama betonítica / polímero**. São José da Lapa, 2018. Disponível em: <<https://drilling.com.br/servicos/estaca-escavada/#1447252504989-8dd9fc01-671b>>. Acesso: 07 jun. 2022.

ESTIVALETT, Vinicius Martins de Oliveira. **Comparação de modelos de análise de estacas carregadas transversalmente**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS: 2016. Disponível em: <http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2016/TCC_VINICIUS%20MARTINS%20D%20OLIVEIRA%20ESTIVALETT.pdf>. Acesso: 30 jan. 2022.

FONSECA, J. M. M. da, et al. Alkali-Aggregate Reaction: definition, influence and control. **Engineering and Applied Sciences**, v. 3, n. 1, p. 12-20, 2018. Available from: <<http://dx.doi.org/10.11648/j.eas.20180301.13>>. Accessed on 4 June 2022.

FRANCO, Vanessa Naiara Censi; NIEDERMEYER, Francieli Maiara. **Manifestações patológicas geradas por recalque de fundações**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 07. Ano 02, Vol. 01. pp 194-214, Outubro de 2017. ISSN:2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/recalque-de-fundacoes>>. Acesso: 20 abr. 2022.

GEOFIX. **Paredes diafragma com Clamshell e/ou hidrofresa**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<http://www.geofix.com.br/servico-paredes-hidrofresa.php>>. Acesso: 7 jun. 2022.

GUIMARÃES, Diego; PETER, Eduardo Alcides. **Fundações [recurso eletrônico]** [revisão técnica: Rossana Piccoli]. – Porto Alegre: SAGAH, 2018. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595023536/pageid/1>>. Acesso: 10 set. 2021.

GUSMÃO, A. D; TEIXEIRA, D. C. A; FILHO, J. C. A; VITÓRIO, J. A. P; OLIVEIRA, R. A. **Laudo técnico sobre as causas do desabamento do Edifício Areia Branca**. Volume 1 – Texto e documentário fotográfico. CREA/PE, Recife: 2005. Disponível em: <<https://vdocuments.net/laudo-edificio-areia-branca.html>>. Acesso: 11 mar. 2022.

GOMES, Eduardo Alves de Oliveira. **Recuperação estrutural de blocos de fundação afetados pela reação álcali - -agregado: a experiência do Recife**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco, 2008. Disponível em: <http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/35/1/dissertacao_eduardo_alves.pdf>. Acesso: 20 abr. 2022.

GOOGLE MAPS. **Condomínio Edifício Núncio Malzoni**. 2022. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Pinacoteca+Benedicto+Calixto/@-23.9732144,-46.3215505,170m/data=!3m1!1e3!4m12!1m6!3m5!1s0x94ce0342e7a65b73:0x87ecce0341a78d3e!2sCondom%C3%ADnio+Edif%C3%ADcio+N%C3%BAncio+Malzoni!8m2!3d-23.9731591!4d-46.3224956!3m4!1s0x94ce0371d0984a9d:0x1d18e02a3a5f257f!8m2!3d-23.9732591!4d-46.3222033?hl=pt-BR>>. Acesso: 06 mai. 2022.

GRUPO RB E AJ. **Técnicas para melhoramento de solos moles**. Grupo RB e AJ Engenharia e Facilities. São Paulo: 2019. Disponível em: <<http://www.gruporbengenharia.com.br/ver-noticias/tecnicas-para-melhoramento-de-solos-moles/16>>. Acesso: 06 jun. 2022.

HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática**. 2 ed – São Paulo: Pini, 1998

INVERNIZZI, Higor Cesar Fais. **Reação Álcali – Agregado: uma investigação da reação álcali – sílica em barras de argamassa produzidas com agregados de quartzitos do município de São Thomé das Letras – MG**. Centro Universitário do Sul de Minas: Varginha, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/2006/1/RAA-%20higor%20invernizzi.pdf>>. Acesso: 21 abr. 2022.

KERKOFF, Matheus Abreu. **Trincas devido ao recalque de fundação**. Guide Engenharia, 2017. Disponível em: <<https://guideengenharia.com.br/trincas-devido-ao-recalque-de-fundacao/>>. Acesso: 20 abr. 2022.

KIM, Dookie et al. A probabilistic capacity spectrum strategy for the reliability analysis of bridge pile shafts considering soil structure interaction. **Latin American Journal of Solids and Structures [online]**, v. 8, n. 3, p. 291-303, 2011. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1679-78252011000300006>>. Accessed on 4 June 2022.

KIMMERLING, R.E. **Shallow Foundations**. In Geotechnical Engineering Circular No. 6, FHWSA-02-054, September 2002. Available from: <<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/010943.pdf>>. Accessed on 4 June 2022.

KOGA, Letícia Midori; MIRANDA, Maicon de Oliveira; BETERQUINI, Aline Botini Tavares. Patologia das Fundações. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, Araçatuba, SP, v. 02, n- 01, p. 16-31, jan./ago.2017. Disponível em: <<http://ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/2543/148#>>. Acesso 22 jun. 2022.

LUEVANOS-ROJAS, Arnulfo. Design of boundary combined footings of rectangular shape using a new model. **Dyna rev.fac.nac.minas**, Medellín , v. 81, n. 188, p. 199-208, Dec. 2014 . Available from <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000600025&lng=en&nrm=iso>. Access on 03 June 2022. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n188.41800>.

MAFFEI, C. E. M; GONÇALVES, H. H. S; PIMENTA, P. M. Renivelamento do Edifício Núncio Malzoni com 2,2° de desaprumo. **Revista Geotecnia nº 106** – março 06 – pp. 133-161. 2006. Disponível em: <<https://impactum-journals.uc.pt/geotecnia/article/view/10784/7982>>. Acesso: 3 mar. 2022.

MARQUES, Olivia Catelan et al. Analysis of constructive effect and soil-structure interaction in tall building projects with shallow foundations on sandy soils. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais [online]**. v. 14, n. 1, 2021. Available from: <<https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000100003>>. Accessed on 4 June 2022.

MARTINO, Giovana. **A história dos edifícios tortos de Santos**. ArchDaily: 2021. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/961668/a-historia-dos-edificios-tortos-de-santos>>. Acesso: 05 mai. 2022.

MARTINS, Marllon. **Recalques em fundações: causas e monitoramento**. 2021. Disponível em: <<https://www.algarqeng.com/post/recalques-em-funda%C3%A7%C3%B5es-causas-e-monitoramento>>. Acesso: 20 abr. 2022.

MELLO, Gláucia Nolasco de Almeida; BREMER, Cynara Fiedler; SOARES JÚNIOR, Hebert Gerson. **Utilização de Estaca Raiz para Reforço de Fundação de Edificação Histórica: Estudo de Caso**. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, n. 51, p. 135-147, set. 2020. ISSN 2447-9187. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/3839>>. Acesso: 09 Jun. 2022.

MENEZES, Guilherme. **Por que os prédios de Santos são tortos? | 360 explica**. Engenharia 360: 2021. Disponível em: <<https://engenharia360.com/por-que-os-predios-de-santos-sao-tortos/>>. Acesso: 4 mai. 2022.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo César; SCHNAID, Fernando. **Patologia das fundações**. 2. ed. rev. e ampl. -- São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOREIRA, Carla Mesquita. **Análise e proposta de reforço de fundações devido às patologias apresentadas no edifício**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia: 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21969/1/AnalisePropostaReforco.pdf>>. Acesso: 06 jun. 2022.

OBRA 24 HORAS. **Reações expansivas atingem edificações urbanas**. Redação publicada em 2006. Disponível em: <<https://www.obra24horas.com.br/materias/construcao/reacoes-expansivas-atingem-edificacoes-urbanas>>. Acesso: 09 mar. 2022.

PEREIRA, Bárbara Estéfany. **Análise dos critérios para escolha do tipo de fundação de uma obra localizada em Uberlândia/MG – Um estudo de caso**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia: 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32023/1/An%c3%a1liseCrit%c3%a9riosEscolha.pdf>>. Acesso: 25 jan. 2022.

PEREIRA, Armando Belato; PORTO, Thiago Bomjardim; GOMES, Romero César. Reliability and geotechnical safety applied to deep foundations in precast concrete piles - case study. **REM - International Engineering Journal [online]**, v. 74, n. 1, p. 9-18, 2021. Available from: <<https://doi.org/10.1590/0370-44672020740058>>. Accessed 4 June 2022.

PINTO, Silas de Andrade. **Manual de fundações**. Salvador: 2B, 2018. 100p.

POULOS, H.G. Tall building foundations: design methods and applications. **Innov. Infrastruct. Solut.**, v. 1, n. 10, 2016. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s41062-016-0010-2>>. Accessed on 4 June 2022.

PREFEITURA DE RECIFE. **A cidade**. 2022. Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/servico/cidade-1>>. Acesso: 06 mai. 2022.

PREFEITURA DE SANTOS. **Uma metrópole em crescimento com a simplicidade caiçara**. 2022. Disponível em: <https://www.santos.sp.gov.br/?q=hotsite/conheca-santos>. Acesso: 05 mai. 2022.

PRIBERAM. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. 2008. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/patologia>. Acesso: 21 nov. 2021.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 4. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008.

REGALIN, Ronaldo. **Relatório de Sondagem: tipo de sondagem SPT**. Unisolus Conset Engenharia Ltda. Fraiburgo, Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://www.fraiburgo.sc.gov.br/site/CMS/UploadedFiles/modulos/6/10_188.pdf>. Acesso: 18 abr. 2022.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/82M.PDF>>. Acesso: 4 jun. 2022.

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. Disponível em: <<http://45.71.6.36/bitstream/123456789/1011/1/tcc%20vin%20c3%adcius.pdf>>. Acesso: 16 jan. 2022.

ROCHA, L. Q. et al. A influência da compressibilidade e adensamento no recalque. In: III Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar e I Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. **Anais**. UNIFIMES, 2018. Disponível em: <<https://www.unifimes.edu.br/ojs/index.php/coloquio/articl>>. Acesso: 03 jun. 2022.

SAYEGH, S. **Efeito solo, Técnica**. Março/ abril 2001, p.40, publicada com o texto. Disponível em: <<https://www.novomilenio.inf.br/santos/h0236f.htm>>. Acesso: 01 mai. 2022.

SCHNEIDER, Nelso. **Estacas mega e reforço de fundações: considerações gerais**. 2020. Disponível em: <<https://nelsoschneider.com.br/estaca-mega-reforco-de-fundacoes/>>. Acesso: 06 jun. 2022.

SENA, Gildeon Oliveira de et al. **Patologia das construções**. Salvador: 2B, 2020. 256p.

SILVA, C. S. **Levantamento dos Procedimentos de Recuperações em Elementos de Fundações por Problemas de Reação Álcali Agregado – Estudos de Casos**. Recife, 2019. 117p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife. Disponível em: http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/1228/5/Ok_cristiane_santana_silva.pdf. Acesso: 15 abr. 2022.

SILVA, C. S.; MONTEIRO, E. C. B; SANTOS, M. S. C; ANDRADE, T. W. C. O; SOARES, W. A; NEVES, D. C. M. Procedimentos de recuperações em elementos de fundações por problemas de reação álcali agregado. Investigação documental. **Revista ALCONPAT**, 11 (2), pp. 124 – 145. 2021. Disponível em: <<https://www.revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/490/913>>. Acesso: 26 mar. 2021.

SILVA, D. P; OLIVEIRA, J. S. **Análise das manifestações patológicas devido ao recalque diferencial das fundações**. TCC, Curso de Engenharia Civil, FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia – GO, 45P. 2018. Disponível em: <http://45.4.96.19/bitstream/aee/518/1/2018_1_DIEMES_JESSICA.pdf>. Acesso: 10 set. 2021.

SILVA, Alex Sales; SILVA Wesley Henrique da; BETERQUINI, Aline Botini Tavares. **Patologias e reforço de fundações com estudo de caso utilizando o método de estacas mega**. **XVIII ENPEX, ensino de pesquisa e extensão**. UniToledo: 2018. Disponível em: <<https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/2173/3/PATOLOGIAS%20E%20REFOR%20C3%87O%20DE%20FUNDA%20C3%87%20C3%95ES%20COM%20ESTUDO%20DE%20CASO%20UTILIZANDO%20O%20M%20C3%89TODO%20DE%20ESTACAS%20MEGA.pdf>>. Acesso: 25 fev. 2022.

SILVA, Geovani Almeida da. **Recuperação de Blocos de Coroamento Afetados pela Reação Álcali-Agregado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil. Recife: 2007. Disponível em: <<http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/22>>. Acesso: 20 fev. 2022.

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. Disponível em: <<http://www.unoeste.br/site/enepe/2012/suplementos/area/Humanarum/Ci%20C3%A4ncias%20Sociais%20Aplicadas/Arquitetura%20e%20Urbanismo/MODELOS%20INTUITIVOS%20DE%20VIGAS%20VIERENDEEL%20PARA%20O%20ESTUDO%20DO%20%20%20%20%20%20DESEMPENHO%20ESTRUTURAL%20QUANDO%20SUJEITAS%20A%20%20%20%20%20APLICA%20C3%87%20C3%83O%20DE%20CARREGAMENTOS.pdf>>. Acesso: 7 jun. 2022.

TROYACK, C. A. L. Q; FREITAS, A. C. **Patologias comuns em fundações: estudo de caso de uma edificação residencial localizada em Petrópolis – RJ**. XII Congresso brasileiro de pontes e estruturas, 2021. Disponível em: http://www.abpe.org.br/trabalhos2021/ID_189.pdf. Acesso: 17 set. 2021.

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