

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
JANICE JULIANA NOGUEIRA MARIAN

ESTUDO DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES

LAGES

2021

JANICE JULIANA NOGUEIRA MARIAN

ESTUDO DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Unifacvest, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. ME Aldori Batista dos Anjos

LAGES

2021

JANICE JULIANA NOGUEIRA MARIAN

ESTUDO DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Unifacvest, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. ME Aldori Batista dos Anjos

Lages, SC _____ / _____ /2021. Nota _____
(data de aprovação) (assinatura do orientador do trabalho)

(coordenador do curso de graduação, nome e assinatura)

LAGES

2021

Dedico este trabalho ao meu Deus que me sustentou até aqui, dando-me forças para continuar a caminhada e superar as adversidades que surgiram no decorrer do caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar o meu Deus, que me deu forças e me capacitou para que eu superasse as adversidades e continuasse a caminhada em busca da realização de mais um sonho.

Ao meu amado e abençoado esposo que esteve comigo durante toda esta caminhada. Estendendo-me a sua cumplicidade nos momentos de minha ausência, acreditando em meu potencial, torcendo pelo meu crescimento de maneira singular e prestando todo apoio necessário para que eu pudesse concluir este trabalho.

A minha amada filha, presente de Deus em minha vida, por toda paciência nos momentos em que precisei me ausentar, pelas risadas e tristezas compartilhadas durante este período. Pelas noites que incluiu em suas orações esta causa, demonstrando a sua preocupação com a minha pessoa.

Aos meus pais, por toda a dedicação durante a minha criação, por todo o amor e cuidado que dispuseram a mim. Por terem me ensinado todos os princípios e valores que compõem o meu caráter.

Às minhas irmãs e aos meus sobrinhos, por sempre torcerem pelo meu sucesso e pelas minhas conquistas.

Ao meu orientador e professor Aldori, por todo o conhecimento transmitido. Pelos aprendizados proporcionados e pelos momentos de descontração que propiciavam aulas mais interativas.

A minha amiga e companheira de curso Eduarda, por todo o auxílio durante esses cinco anos que estudamos juntas, por todos os momentos que vivenciamos nesse período e pela amizade construída através da faculdade.

A todos os professores que tive ao longo da vida acadêmica, pela transmissão dos seus conhecimentos.

Aos demais familiares e amigos que de alguma forma contribuíram para que eu alcançasse este objetivo da melhor maneira possível.

Qualquer que vem a mim e ouve as minhas palavras, e as observa,
eu vos mostrarei a quem é semelhante:
É semelhante ao homem que edificou uma casa, e cavou,
e abriu bem fundo, e pôs os alicerces sobre a rocha;
e, vindo a enchente, bateu com ímpeto a corrente naquela casa,
e não a pôde abalar, porque estava fundada sobre a rocha.
(Lucas 6:47,48)

RESUMO

A partir dos eventos que envolveram os edifícios tortos, da cidade de Santos - SP, e de um prédio em Erechim - RS que veio a desabar, surgiu o interesse por entender porque esses eventos patológicos tiveram resultados tão diferentes. Com o objetivo de analisar as patologias a fim de verificar possíveis soluções em suas causas e efeitos, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, aplicada e exploratória sobre o tema. Dentre outros motivos, esse estudo se justifica, por buscar informação científica para a tomada de decisão do profissional habilitado. Nesta perspectiva, realizou-se um resgate histórico das construções de fundações no Brasil com a intenção de compreender a sua trajetória. Um aprofundamento nos conceitos e tipos de fundações possibilitou entender a necessidade de uma investigação geotécnica para prevenção patológica. Verificou-se ainda, tanto as peculiaridades dos projetos de fundação e sua relevância, bem como os aspectos fundamentais nos processos de execução dessas obras. Por fim, na análise e discussão dos resultados, houve o resgate dos erros mais comuns associados a patologias de fundação, assim como as soluções literárias preventivas, associadas às causas destas patologias, e as possíveis retificações, que são os ajustes associados aos efeitos patológicos.

Palavras-chave: Patologias. Fundações. Recalque.

ABSTRACT

From the events that involved the crooked buildings in the city of Santos - SP, and a building in Erechim - RS that came to collapse, there was an interest in understanding why these pathological events had such different results. In order to analyze the pathologies in order to verify possible solutions in their causes and effects, a bibliographical, applied and exploratory research on the subject was carried out. Among other reasons, this study is justified, as it seeks scientific information for decision-making by the qualified professional. In this perspective, a historical review of the construction of foundations in Brazil was carried out with the intention of understanding their trajectory. An in-depth look at the concepts and types of foundations made it possible to understand the need for a geotechnical investigation for pathological prevention. It was also verified, both the peculiarities of the foundation projects and their relevance, as well as the fundamental aspects in the execution processes of these works. Finally, in the analysis and discussion of the results, the most common errors associated with foundation pathologies were rescued, as well as preventive literary solutions, associated with the causes of these pathologies, and possible rectifications, which are the adjustments associated with pathological effects.

Keywords: Pathologies. Foundations. Repression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Orla da Praia de Santos - SP	13
Figura 2 - Comparação da verticalização do edifício após os ajustes realizados	14
Figura 3 - Desabamento parcial de prédio em Erechim - RS	15
Figura 4 - Transmissão de carga de fundação rasa do tipo sapata	26
Figura 5 - Transmissão de carga de fundação profunda do tipo estaca	26
Figura 6 - Torre de Pisa - Itália	30
Figura 7 - Tipos de recalques sob a ótica da estrutura	32
Figura 8 - Recalque na extremidade	33
Figura 9 - Recalque Central	33
Figura 10 - Silo de Transcona	35
Figura 11 - Equipamento utilizado no ensaio SPT	38
Figura 12 - Equipamento de Trado	39
Figura 13 - Desmoronamento resultante da desconsideração dos empuxos	43
Figura 14 - Fundações executadas em desacordo com a geometria do projeto	44
Figura 15 - Slump test	45
Figura 16 - Mau adensamento do concreto	46
Figura 17 - Esquema de reforço com o aumento de dimensões	48
Figura 18 - Esquema de reforço com o aumento de dimensões	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Primeiras obras realizadas no país com suas respectivas fundações	23
Quadro 2 - listagem de exames laborais ou de campo mais usados conforme a obra	40

LISTA DE SIGLAS

CBR	Índice de Suporte Califórnia
CPT	Ensaio de Penetração do Cone
ELS	Estados Limites de Serviço
ELU	Estados Limites Último
IGP	Instituto Geral de Perícias
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NSPT	Índice de Resistência à Penetração do Solo
SPT	Ensaio de Penetração Padrão
UTI	Unidade de Terapia Intensiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Justificativa	16
1.4 Metodologia	17
1.5 Organização do Trabalho	18
2 ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO: HISTÓRIA E CONCEITOS	20
2.1 Contexto histórico de fundações no Brasil	20
2.1.1 As primícias do ensino da engenharia no Brasil	21
2.1.2 Primeiras obras de fundações	22
2.2 Conceito e Tipos de Fundações	23
3 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES	29
3.1 Recalques	31
3.2 Ruptura do solo	34
4 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS	36
4.1 Métodos de investigações do solo	37
5 ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE FUNDAÇÕES	41
5.1 Escolha do tipo de fundação	44
6 CONSIDERAÇÕES A CERCA DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES	44
6.1 Possíveis soluções de patologias em fundações	47
7 METODOLOGIA	51
7.1 Instrumento de pesquisa	51
7.2 Caracterização da pesquisa	51
8 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	53
9 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O Brasil registra desabamentos e até desastres nos últimos anos. Na grande São Paulo, uma casa desaba e danifica outras duas residências vizinhas. Ninguém ficou ferido, apenas sabe-se que a casa passava por reformas. As famílias não ficaram desabrigadas, devido possuírem parentes e familiares próximos. A prefeitura informou que auxiliará os familiares e que a Defesa Civil Municipal irá apurar com rigor as reais causas do desabamento e a execução da obra que estava em andamento. (GARIBA, 2020)

Na cidade de Cardoso Moreira, Rio de Janeiro, após uma inundação causada no final de semana anterior, uma casa à beira do Rio Muriaé desabou. Os moradores perceberam que muitas rachaduras e estalos começaram a aparecer depois da inundação. Ao acionarem a Defesa Civil, de imediato, esta determinou a saída dos moradores. A casa desmoronou logo depois. Segundo o agente de defesa civil, o risco de desabamento era muito evidente e tudo aconteceu muito rápido. (MARINHO, 2020)

Já em Fortaleza, Ceará, um edifício desaba deixando quinze pessoas soterradas, sendo que sete foram retiradas vivas e outras oito foram encontradas mortas. Segundo o engenheiro responsável pela reforma, o edifício passava por uma obra de recuperação de pilares e vigas no qual as ferragens estavam com alto nível de corrosão. Porém um morador do primeiro andar afirma ter reclamado do serviço devido a equipe de obras ter descascado todos os pilares e quando foram mexer no pilar principal, com a batida, os ferros estouraram e o prédio desceu. Foi possível ouvir o prédio estralando. (G1, 2019)

Os três casos acima referem-se a edificações que vieram a colapsar. Na situação da casa no Rio de Janeiro, inundada, a Defesa Civil agiu de forma assertiva, preservando a vida dos moradores. Situação esta que não ocorreu no edifício em Fortaleza. Em ambos os casos, as edificações deram sinais de barulho antes de colapsar.

Tanto o edifício em Fortaleza, quanto a casa em São Paulo, estavam em fase de reformas, sendo que no edifício é mais evidente a patologia estrutural - alto nível de corrosão das ferragens do pilar.

Diante de todas estas observações, percebe-se que para uma edificação vir a colapsar, houveram patologias nas edificações. Reconhecer e atuar preventivamente nestas patologias faz-se necessário para evitar cenários semelhantes aos ocorridos.

A expressão patologia estrutural é comumente utilizada no campo da engenharia civil. No decorrer deste trabalho será abordado de forma mais técnica, entretanto, neste momento, será apresentado os significados das palavras patologia e estrutura.

Segundo o dicionário online Dicio dicionário (2021a?), a palavra patologia possui os seguintes significados: “Ramo da medicina que se dedica ao estudo das doenças, de suas causas, seus sintomas e suas alterações no organismo. [Medicina] Quaisquer alterações fisiológicas ou anatômicas que podem configurar alguma doença”.

Ainda, o mesmo dicionário online, também apresenta o significado de estrutura como “aquilo que serve de base para; armação, esqueleto ou arcabouço: a estrutura de um edifício; a estrutura de uma ciência”. (DICIO, 2021b?)

Portanto, a patologia possui sua origem na medicina e a estrutura está relacionada a uma armação que sustenta, que serve de base. Combinando o significado das duas palavras, podemos entender, inicialmente, patologia estrutural como sendo o estudo das causas, sintomas e alterações de uma estrutura.

No entanto, é interessante saber que existem edificações com visíveis sinais de patologias, mas que não colapsaram. Algumas, inclusive, tornaram-se pontos de referência histórico e turístico, como a Torre de Pisa, na Itália, e os prédios tortos, em Santos - São Paulo, estes serão melhor detalhados a seguir.

Figura 1 - Orla da Praia de Santos - SP



Fonte: engenharia 360.com, 2021.

Apesar de chamar a atenção de turistas durante décadas, os moradores dos prédios tortos, localizados na orla da praia de Santos – SP, precisaram levantar os prédios e alinhá-los novamente por conta da segurança dos moradores e até mesmo da cidade, por possíveis colapsos das estruturas dos edifícios. Por serem edifícios residenciais, acabaram gerando

diversos transtornos aos moradores, além da própria desvalorização desses imóveis. (MENEZES, 2021; MISUMOTO, 2012)

Os prédios tortos foram construídos por volta de 1950 e 1960 e começaram a afundar (inclinarem) pouco tempo depois. Os prédios ficaram tortos por dois motivos. O primeiro foi a concepção errônea da fundação dos edifícios que, para economizar, as construtoras faziam alicerces sem a profundidade necessária. O segundo é que o solo de Santos tem 12 metros de areia, 18 de argila e mais 25 de areia. Para não ter problemas, seria preciso fundações de 55 metros. Porém havia um edifício com alicerces de somente 1,5 metro de profundidade. Ocorreu assim, o evento chamado recalque diferencial e esse foi agravado pela construção dos prédios serem próximos um do outro. (MENEZES, 2021; G1, 2011)

Com mais de 60 macacos hidráulicos, foram erguidas as construções de quase 6 mil toneladas. E aos poucos, os pilares ou blocos de fundação dos edifícios foram apoiados e levantados. Com o prédio suspenso, foi executada uma nova fundação. Agora, com o estudo geotécnico correto, a fundação não apresentará problemas futuros. Os prédios ficam novamente alinhados, proporcionando o devido conforto e segurança aos seus moradores. (MENEZES, 2021; G1, 2011)

Figura 2 - Comparação da verticalização do edifício após os ajustes realizados



Fonte: engenharia360.com, 2021.

Logo, os edifícios tortos, da cidade de Santos em São Paulo, são casos de patologias em estruturas de fundação, onde os problemas decorrentes desse recalque motivaram os moradores a corrigi-lo. Em alguns casos, foi necessário haver até mesmo a intimação por parte do Poder Público (MENEZES, 2021). Destaca-se que para esse tipo de patologia, houve a possibilidade de se solucionar. Diante do exposto, este estudo vai em busca da identificação destes casos e da aplicação da solução mais adequada, mesmo que em excepcionais casos só reste a demolição do imóvel.

1.1 Problema

Embora os prédios tortos de Santos estejam encontrando uma solução, essa situação não é realidade para todos os casos. No município de Erechim, norte do estado do Rio Grande do Sul, um dos pilares centrais de um prédio afundou um metro e meio para dentro do solo, provocando o desabamento de parte do prédio. Isso resultou na internação hospitalar de três operários, que trabalhavam no local, no momento do acidente, sendo que um deles precisou passar por uma cirurgia e outro foi internado na UTI. (FERREIRA, 2011)

Segundo a perícia, problemas na fundação causaram o desabamento do prédio. Se o laudo do IGP apontar que houve negligência, erro de cálculo ou má execução do projeto, o responsável técnico pode ser indiciado por lesão corporal culposa. (FERREIRA, 2011)

Figura 3 - Desabamento parcial de prédio em Erechim - RS



Fonte: Diana Rocha / Agência RBS, 2011.

Analisando os casos de Erechim e Santos, percebe-se a necessidade de um estudo mais profundo das patologias encontradas em edifícios já construídos ou em construção. Resultando assim no seguinte questionamento, quais são as principais causas evidenciadas na manifestação de uma patologia em estruturas de fundação a fim de escolher a solução mais adequada para este problema?

1.2 Objetivos

O estudo buscará alcançar os seguintes objetivos: geral e específico.

1.2.1 Objetivo Geral

Almeja-se com este estudo, investigar os principais fatores que influenciam no surgimento de patologias em estruturas de fundações, analisando tecnicamente possíveis soluções em suas causas e efeitos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Revisar o histórico e a conceituação de estruturas de fundações;
- b) Analisar as principais patologias em estruturas de fundações recorrentes nas construções;
- c) Avaliar a necessidade da investigação geotécnica na prevenção de tais anomalias;
- d) Explanar sobre a relevância dos projetos de fundação e suas peculiaridades;
- e) Apresentar aspectos fundamentais nos processos de execução e reforço de fundações.

1.3 Justificativa

Compreende-se que as edificações possuem um papel fundamental na vida social do ser humano. É utilizada como moradia, como local de trabalho, como espaço para lazer entre inúmeras finalidades.

Neste contexto as fundações são elementos indispensáveis, pois compõem a base de qualquer obra, não importando a sua magnitude. Os exemplos variam de casas mais simples com apenas um pavimento até edifícios com inúmeros andares, pontes e viadutos de grande porte. Todas estas obras necessitam de um projeto de fundações.

Em se tratando de construção civil, considera-se o fator segurança como um dos requisitos essenciais. Logo, a ocorrência de patologias em estruturas de fundações pode pôr em risco esse princípio tão importante. As consequências disso poderão refletir em todos os outros processos construtivos, possibilitando a ocorrência de danos financeiros exorbitantes ou ainda o que pode ser pior, perda de vidas humanas, além de prejudicar a carreira do profissional responsável pela obra.

Pela relevância que possui essa temática, esse estudo faz-se oportuno haja vista que possibilitará disponibilizar conhecimento científico referente a identificação e aplicação da solução mais adequada aos casos de manifestações patológicas em estruturas de fundação. A finalidade é subsidiar a tomada de decisão do profissional habilitado.

1.4 Metodologia

O presente trabalho qualifica-se como uma monografia de conclusão de curso acadêmico, que tem por objeto aplicar um estudo profundo ou mais específico às patologias estruturais de fundações. O engenheiro civil, que irá atuar nesse campo, enquanto profissional responsável, está incumbido da responsabilidade de atuar preventivamente para que essas patologias não ocorram. Porém quando houver ocorrências dessa natureza fica responsável por encontrar a solução mais adequada a fim de resolver o problema.

Referente ao método aplicado, neste trabalho busca-se resultados que possam responder os objetivos específicos listados, Otani e Fialho (2011, p. 22), nos apresentam uma orientação.

Método é o caminho pelo qual se atinge um determinado objetivo, é um modo de proceder ou uma maneira de agir. No desenvolvimento de pesquisa científica, obrigatoriamente nos utilizamos de um método de pesquisa. São técnicas e instrumentos que determinam o modo sistematizado da forma de proceder num processo de pesquisa.

Desta maneira, para se atingir os objetivos traçados, será adotado uma pesquisa bibliográfica no qual Lima e Miotto (2007, p. 39, apud ARAÚJO, 2016, p. 14) nos apresentam o seguinte entendimento, “[...] a pesquisa bibliográfica implica em um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções, atento ao objeto de estudo, e que, por isso, não pode ser aleatório”.

Por se tratar de um estudo que busca agregar conhecimento ao profissional, engenheiro civil, para sustentar uma tomada de decisão futura, será adotada uma pesquisa aplicada e qualitativa onde ocorrerá a identificação e análise de dados bibliográficos na busca de soluções de problemas.

No capítulo 7 será apresentada a metodologia deste trabalho de forma mais aprofundada.

1.5 Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado em 9 capítulos. No primeiro capítulo é apresentada uma breve contextualização. Para isso, foram abordados registros de desabamentos ocorridos nos estados brasileiros com a finalidade de instigar no leitor o interesse por um conceito inicial de patologia estrutural. Uma vez apresentado este conceito, foram exibidos dois exemplos de patologias em estruturas de fundação com resultados diferentes. Em seguida, foi apresentada a questão problema que este trabalho propõe, o objetivo geral e os objetivos específicos deste estudo, bem como sua justificativa.

No segundo capítulo, será apresentado um estudo histórico e conceituação de estruturas de fundações. Nele se encontram alguns conceitos relacionados a engenharia de fundações, bem como um apanhado das primeiras obras realizadas no Brasil. Também será resgatada a evolução do método de educação específica de engenharia civil juntamente com as primeiras instituições de ensino fundadas em nosso país.

No terceiro capítulo, serão analisadas as principais patologias recorrentes nas construções. Serão descritos alguns conceitos de eventos que propiciam o surgimento dessas ocorrências: os recalques sob o ponto de vista do solo e da estrutura, bem como os casos de ruptura e suas características. Alguns destes acontecimentos serão relatados juntamente com a solução adotada.

No quarto capítulo, será apresentada a necessidade de uma boa investigação geotécnica na prevenção de tais anomalias. Serão também abordados alguns processos de sondagens mais comumente utilizados em nosso país.

No quinto capítulo, será apresentada a relevância de uma elaboração competente de projetos de fundação. Alguns requisitos fundamentais serão elencados para servir de orientação no início da concepção dos projetos, entre outros cuidados a serem tomados no decorrer dos mesmos.

No sexto capítulo, será apresentada a magnitude do momento da execução da obra. Etapa muito importante que precisa estar devidamente alinhada com os demais processos para que se alcance o melhor resultado final. Nesse momento também serão feitas referências de alguns casos de patologias decorrentes do momento da execução e algumas soluções de reforços adotadas.

No sétimo capítulo, será detalhada a metodologia empregada neste trabalho, nele se encontram os instrumentos de pesquisa e sua caracterização.

No oitavo capítulo, serão apresentadas a análise e discussão referente a pesquisa realizada. Aqui serão apresentadas as informações coletadas de maneira objetiva, juntamente com uma análise destes dados.

Por fim, no nono e último capítulo, serão apresentadas as conclusões sobre o desenvolvimento do trabalho.

2 ESTRUTURAS DE FUNDAÇÃO: HISTÓRIA E CONCEITOS

A seguir será apresentada a trajetória das construções e fundações no Brasil, bem como a transmissão do conhecimento (ensino) ao longo do período Colonial e Imperial, até a chegada do concreto armado no século XX.

Apresentar historicamente as estruturas de fundação ou infra-estruturas, como também são conhecidas, requer que sejam articuladas informações sobre as superestruturas que em conjunto compõem um dos elementos fundamentais de uma obra. Isso porque as fundações são elementos que não se perduram sozinhas, sempre necessitarão das superestruturas para exercer a sua funcionalidade. (NETO, 1998)

Diante disso, torna-se conveniente que saibamos como sucedeu o surgimento da engenharia no Brasil, como foram construídas as primeiras casas e suas peculiaridades.

2.1 Contexto histórico de fundações no Brasil

O marco desse fato histórico ocorreu no período Colonial com a construção das primeiras casas construídas pelos colonizadores. Logo em seguida vieram a construção das primeiras obras de defesa: pontes, muros e fortins, concluídas ainda assim de maneira muito rudimentar. (BAZZO e PEREIRA, 2011)

Durante o período Colonial, segundo Katinsky (1994, apud VARGAS, 1998) existiam três tipos de construções no Brasil: as obras com a finalidade de suporte para a produção colonial de exportação, as obras que serviriam para a continuidade administrativa e social da Colônia e as obras que suprissem as necessidades internas.

As obras destinadas ao amparo da exportação colonial, em grande parte, eram relacionadas a indústria do açúcar e as precárias instalações portuárias. Os engenhos de açúcar eram construídos com pilares de tijolos queimados, geralmente caracterizando galpões retangulares, onde ficavam abrigadas a moenda, a fornalha e as formas de purgar. As instalações portuárias eram representadas por plataformas construídas com o objetivo de servir como suporte para embarcações menores transferirem as cargas dos navios que estavam ancorados em alto mar. (VARGAS, 1998)

Já as obras de continuidade administrativas foram marcadas pela construção de fortalezas militares, edifícios públicos, quartéis, cadeias, igrejas, mosteiros e conventos.

As construções de fortalezas, de igrejas e mosteiros foram as que receberam o maior número de profissionais especializados: oficiais militares, mestre de risco e obra, e padres arrazoados de conhecimento em arquitetura. (VARGAS, 1998)

No caso das obras destinadas a suprir as necessidades internas, enquadram-se as chamadas obras civis, que eram as construções de casas destinadas a moradia, a comércio, a armazéns e a moinhos de farinha. Também se empregava na construção de igrejas mais humildes, que não eram sujeitas à aprovação do governo da época. As técnicas locais de taipas, pau-a-pique e pilão eram predominantes na construção de tais obras. (VARGAS, 1998)

Infelizmente existe pouca informação sobre as fundações destas referidas obras. O que se sabe é do costume de como eram construídos os alicerces das obras comuns, realizadas por pedras socadas em valetas escavadas pela extensão das paredes. Um documento publicado no ano de 1684 pelo monge benedito Dom Clemente da Silva Nigra, traz a autobiografia do frei Bernardo de São Bento, arquiteto renascentista do Mosteiro de São Bento no Rio de Janeiro. Este documento é acompanhado pela Declarações de obras onde o frei Bernardo relata os preceitos para a construção dos alicerces, a partir da profundidade, utilizados para a construção daquele mosteiro, cuja altura sempre deve ser, até achar dureza suficiente para que se assentem. Completa ele dizendo que já vira casas fundadas em areia, a cinco palmos de profundidade, mas só poderia ser admitido quando construídas em terrenos comuns, onde não houvesse existência de água. (VARGAS, 1998)

Destaca-se nesse período, os três tipos de construções existentes no Brasil que se classificavam de acordo com o uso. As técnicas de construção utilizadas nas construções que atendiam a população brasileira (internas) eram taipas, pau-a-pique e pilão. Embora haja pouca informação sobre as fundações destas obras comuns, sabe-se que os alicerces eram realizados através de pedras socadas em valetas escavadas pelas extensões das paredes. Contudo, encontramos registros de casas e preceitos para a construção de alicerces, orientando escavar até encontrar dureza suficiente para apoiar as fundações.

2.1.1 As primícias do ensino da engenharia no Brasil

Telles (1984, apud BAZZO e PEREIRA, 2011), cita em seu livro, História da Engenharia no Brasil, que entre o ano de 1648 e 1650, o holandês Miguel Timermans,

fora contratado para dar início ao ensino da engenharia no Brasil, transmitindo sua arte e ciência através do seu conhecimento.

A primeira escola de engenharia, Academia Real Militar, foi fundada em 4 de dezembro do ano de 1810, com a chegada da corte portuguesa, na cidade do Rio de Janeiro, pelo príncipe regente, o futuro Rei D. João VI. Antes disso, o ensino era ministrado de maneira informal pela Real Academia de Artilharia, Fortificações e Desenho, criada em 17 de dezembro do ano de 1792. (BAZZO e PEREIRA, 2011)

Nesse período fundaram-se também museus, bibliotecas e jardins botânicos. A partir desse marco, foram iniciadas as formações de profissionais no Brasil, onde o ensino era baseado em ciências. A engenharia civil, juntamente com as técnicas de construção e fundações de estruturas, eram doutrinadas na Academia Militar. Esta sofreu várias modificações no decorrer dos anos e em 1858 passou a se chamar Escola Central. A partir desse acontecimento, destinou-se ao ensino de matemáticas, ciências físicas e naturais, além de doutrinas próprias da engenharia civil. Somente no ano de 1874, mais precisamente no dia 25 de abril, houve a separação total desse ensino com a criação da escola Politécnica do Rio de Janeiro. (BAZZO e PEREIRA, 2011; VARGAS, 1998)

As primeiras disciplinas a serem lecionadas, de acordo com Vargas (1998, p 35), estavam descritas em um programa anexado ao decreto de criação da Escola Politécnica conforme relatado a seguir:

[...] as técnicas de fundações deveriam ser ensinadas no 1º ano do curso de Engenheiros Cíveis, na 1ª Cadeira: "Estudo dos Materiais de Construção e sua Resistência, Tecnologia das Profissões Elementares, Arquitetura Civil". Ao correr do tempo essa cadeira deu origem às disciplinas de Construção e de Grande Estruturas, as quais vieram a constituir as atuais: Mecânica dos Solos e Fundações.

Portanto, o ensino de engenharia civil no Brasil esteve envolvido com a Academia Militar. Até o ano de 1823, como cita Bazzo e Pereira (2011), só havia acesso ao ensino de engenharia quem fazia parte do exército. Somente no século XIX, foi criada uma escola que permitiu a matrícula de alunos civis. Também é possível verificar a evolução do ensino que se iniciou com as técnicas de fundações até as disciplinas atuais de mecânica dos solos e fundações.

2.1.2 Primeiras obras de fundações

A construção de algumas obras durante o período Imperial obtiveram destaque em se tratando dos primeiros registros de fundações no Brasil. Dentre elas, menciona-se as

estradas de ferros, acompanhadas por projetos, e a construção de fundação de aterros e obras de arte. Outra contribuição de grande relevância foi o Viaduto do Retiro, nas quais as fundações em blocos, eram executadas possivelmente de alvenaria de pedra, em cavas abertas no provável terreno firme. E por fim, a fundação da ponte sobre o rio Casqueiros, que teria sido desenvolvida por meio de estacas parafusos. É lamentável que sobre essas obras se tenha tão pouca informação na literatura nacional. (VARGAS, 1998)

Com a chegada do concreto armado no início do século XX, começaram a construção de edifícios mais altos na cidade do Rio de Janeiro e em São Paulo. Por volta de 1930, os relatos são que as estruturas de concreto armado já apresentavam como base sapatas de concreto armado e blocos de concreto simples. Já a respeito das fundações profundas, o que se sabe, é que eram compostas por estacas de madeira ou pré moldadas de concreto armado, ocultadas por blocos de concreto. (VARGAS, 1998)

O quadro a seguir resume as primeiras obras realizadas no país, bem como suas estruturas de fundações adotadas:

Quadro 1 - Primeiras obras realizadas no país com suas respectivas fundações

Período	Obra	Método de Fundação adotada
1895	Cais do porto de Santos	muralha de alvenaria de pedra, sobre um maciço de concreto, apoiada em estacas de madeira
1903	Cais do porto do Rio de Janeiro	Caixões pneumáticos metálicos e armados a seco, depois cravados por meio de uma estrutura metálica montada num pontão flutuante
1926 e 1929	Cais do Caju	caixões de concreto armado, cravados a ar comprimido
1927 e 1928	Trecho adicional ao Cais do porto de Santos	concreto armado sobre estacas, com muro de arrimo de estacas pranchas
1930	Porto de São Sebastião	tubulões a ar comprimido
1948	Prolongação do cais do porto do Rio até a ponta do porto de Caju	cortina de estacas pranchas de aço

Fonte: elaborado pela autora (VARGAS, 1998)

Embora o período colonial tenha-se destacado quanto aos primeiros registros de fundações no Brasil, foi apenas no século XX, com a chegada do concreto armado, que foi viabilizada a construção de edifícios mais altos. Essa estrutura possui sapatas, também de concreto armado ou blocos de concreto simples. Quanto às fundações profundas, havia tanto a possibilidade das estacas de madeira, quanto os pré moldados de concreto armado, envolto por blocos de concreto.

2.2 Conceito e Tipos de Fundações

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, faz-se necessário compreender o conceito técnico de fundação e suas classificações.

Considera-se que dentre as áreas da Engenharia Civil, a que se exige mais vivência e experiência de campo é a da Engenharia de Fundações. Compreende-se por vivência os projetos e execuções de fundações, de variados tipos e em situações diversas, realizadas pelo profissional, onde o aperfeiçoamento ocorre através do conhecimento empírico, ou seja, baseado em sua própria observação dos casos vivenciados. Em se tratando de experiência, seria o conjunto dessas vivências associadas aos dados quantitativos de desempenho das obras, como por exemplo as NBR 's. (VELLOSO e LOPES, 2010)

Vindo ao encontro do entendimento citado acima, Dickran Berberian, um dos grandes autores quando o assunto é fundações, faz a seguinte menção: “Valorosos são aqueles que com sabedoria e bom senso são capazes de interligarem adequadamente a teoria à prática, gerando projetos de real valor à engenharia geotécnica.” (BERBERIAN, 2015, p. 7)

No entendimento de Pinto (1998, p. 51), a Engenharia de Fundações

[...] é uma arte, que se aprimora pela experiência, com o comportamento das fundações devidamente observado e interpretado, e isto não se faz sem atentar para as peculiaridades dos solos. Por outro lado, todo desenvolvimento de técnicas de projeto e de execução das fundações depende do entendimento dos mecanismos de comportamento dos solos.

Os autores acima evidenciam a importância da área de fundações na engenharia e a conveniência da experiência do profissional. Outro princípio relacionado com notoriedade é a necessidade do conhecimento do solo para a gestão de uma atuação competente. Observa-se que para o domínio teórico dessa área, é imprescindível associar o desenvolvimento de técnicas de projeto e de execução das fundações com os mecanismos de comportamento e as peculiaridades dos solos.

Segundo Velloso e Lopes (2010), uma das primícias que um engenheiro de fundações precisa ter é o de empregar corretamente a nomenclatura adequada das fundações, as quais são divididas em dois grandes grupos: fundações superficiais, também chamadas de fundações rasas ou diretas e fundações profundas, também conhecida como fundações indiretas.

Para tanto, é de fundamental importância que se tenha o entendimento do conceito das fundações propriamente ditas. Berberian, corrobora com a seguinte definição:

Fundações é o elemento de transição entre a edificação e o solo. É definida como sendo o conjunto constituído pela infraestrutura e o maciço do solo, com ênfase para o solo, por ser o elemento mais fraco e complexo. A fundação é na realidade um elemento de interação solo/estrutura, cuja finalidade precípua é a de transferir carga da superestrutura para o terreno. (BERBERIAN, 2015, p. 12)

Milititsky et al (2015, p. 9) acrescenta que, “uma fundação é o resultado da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura”.

Os autores citados acima denotam que as fundações nada mais são que elementos estruturais os quais transmitem a carga exercida pela estrutura construída de uma edificação ao elemento geotécnico que é o solo. Elas têm a principal função de realizar a interação da estrutura com o terreno objetivando assegurar uma estabilização dos dois elementos em questão.

Em relação aos tipos de fundações citados anteriormente, a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019, p. 5), traz em sua NBR 6122/2019, Projeto e execução de fundações, a seguinte definição de fundação rasa ou como também é conhecida, fundação direta:

[...] elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, recebendo aí as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada; para esta definição adota-se a menor profundidade, caso esta não seja constante em todo o perímetro da fundação [...]

Velloso e Lopes (2010, p. 11-12), elencam os principais tipos de fundações diretas e suas definições para que possamos compreender melhor suas diferenças:

bloco - elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração nele resultantes possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura;

sapata - elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas por armadura especialmente disposta para este fim (por isso as sapatas têm menor altura que os blocos);

sapata corrida - sapata sujeita a ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares em um mesmo alinhamento (às vezes chamada de baldrame ou de viga de fundação);

grelha - elemento de fundação constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares (tipo não citado na norma NBR 6122/2010);

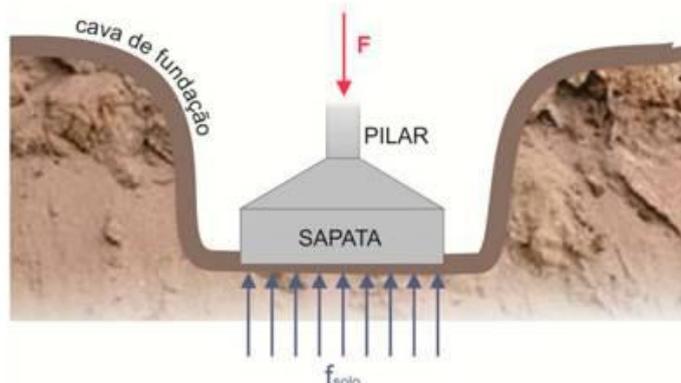
sapata associada - sapata que recebe mais de um pilar;

radier - elemento de fundação superficial que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura.

Com a observação e interpretação dos conceitos apresentados acima podemos afirmar que as fundações diretas são elementos estruturais que possuem a função de

transferir a carga aplicada diretamente pela sua base, por essa razão recebem tal nomenclatura (direta), não sendo capazes de transferir carga por atrito lateral.

Figura 4 - Transmissão de carga de fundação rasa do tipo sapata



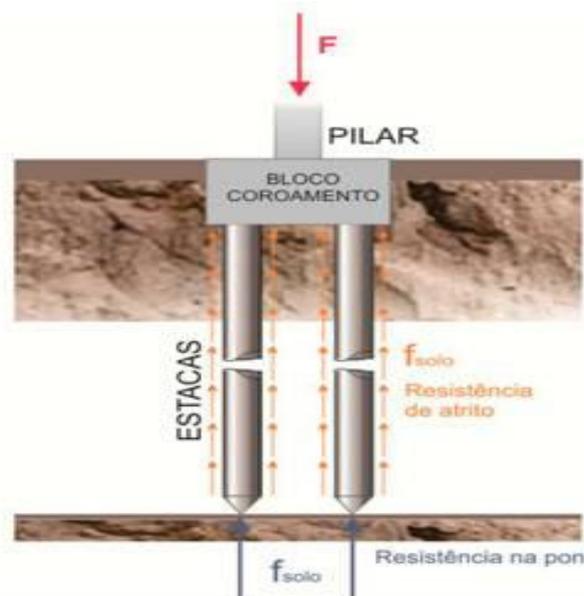
Fonte: construfacilrj.com, 2014.

Em se tratando de fundações profundas elas podem transmitir carga pela sua base, por atrito lateral ou ainda pela combinação das duas transferências assim como podemos observar na citação a seguir:

fundação profunda é o elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, sendo sua ponta ou base apoiada em uma profundidade superior a oito vezes a sua menor dimensão em planta e no mínimo 3,0 m; quando não for atingido o limite de oito vezes, a denominação é justificada. (ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 5)

Conforme a citação anterior e como podemos observar na figura abaixo, as fundações profundas transmitem carga por sua superfície lateral, pela sua superfície de base ou pela combinação de ambas.

Figura 5 - Transmissão de carga de fundação profunda do tipo estaca



Fonte: construfacilrj.com, 2014.

As fundações profundas por sua vez são divididas em três grupos:

estaca - elemento de fundação profunda executado por ferramentas ou equipamentos, execução esta que pode ser por cravação ou escavação, ou ainda, mista;

tubulão - elemento de fundação profunda de forma cilíndrica que, pelo menos na sua fase final de execução, requer a descida de operário ou técnico (o tubulão não difere da estaca por suas dimensões, mas pelo processo executivo, que envolve a descida de pessoas);

caixão - elemento de fundação profunda de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna. (VELLOSO e LOPES, 2010, p. 12)

Nesse mesmo contexto, a NBR 6122 ratifica que o que difere uma estaca de um tubulão, são os equipamentos e ferramentas utilizados no momento da execução e a descida do operário em seu interior, no caso das estacas isso não ocorre. Em relação aos tubulões e caixões a diferença fica a cargo da forma geométrica na qual é executada, sendo que os tubulões são executados de forma geométrica cilíndrica e os caixões de forma geométrica prismática. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019; VELLOSO e LOPES, 2010)

Existem hoje no mercado uma grande variedade de fundações profundas para serem empregadas em construções que necessitem de tais soluções. Entre os principais tipos de fundações profundas, veremos a seguir algumas opções e suas principais características, de acordo com as indicações sugeridas pela NBR 6122. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019)

- Estacas de madeira, são utilizadas usualmente para obras provisórias. Se forem usadas para obras permanentes, têm que ser protegidas de fungos, bactérias aeróbicas, térmitas etc. A ponta e o topo devem ter diâmetros maiores que 15 cm e 25 cm, respectivamente, e o segmento de reta que une os centros das seções da ponta e do topo deve estar compreendido integralmente no interior do perímetro da estaca. O topo das estacas deve ser protegido por cepos ou capacetes menos rígidos para minimizar danos durante a cravação. Entretanto, quando, durante a cravação, ocorrer algum dano na cabeça da estaca, a parte afetada deve ser cortada. Quando se tiver que penetrar ou atravessar camadas resistentes, as pontas devem ser protegidas por ponteiros de aço.
- Estacas pré-moldadas de concreto, podem ser de concreto armado ou protendido, vibrado ou centrifugado, com qualquer forma geométrica da seção transversal, devendo apresentar resistência compatível com os esforços de projeto e decorrentes do transporte, manuseio, cravação e eventuais solos agressivos. São

indicadas para serem executadas em terrenos onde o lençol freático encontra-se próximo ao nível do solo.

- Estacas metálicas ou de aço, elemento estrutural produzido industrialmente, podendo ser constituído por perfis laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrada ou calandrada, tubos e trilhos. Possuem a indicação de serem executadas em solos residuais onde a profundidade não é constante.
- Estacas escavadas com trado mecânico, são estacas moldadas in loco, por meio da concretagem de um furo executado por trado espiral, que são empregadas onde o perfil do subsolo tem características tais que o furo se mantenha estável sem necessidade de revestimento ou de fluido estabilizante. A profundidade é limitada à ausência de água durante todo o processo executivo, da perfuração à concretagem.
- Estacas raiz, é uma estaca moldada in loco, em que a perfuração é revestida integralmente, em solo, por meio de segmentos de tubos metálicos de 1,0 m a 1,5 m, que vão sendo rosqueados à medida que a perfuração é executada. O revestimento é recuperado. A estaca raiz é armada em todo o seu comprimento e a perfuração é preenchida por uma argamassa de cimento e areia.
- Estacas Strauss, é uma estaca de concreto moldada in loco, executada através da escavação, mediante emprego de uma piteira, com a simultânea introdução de revestimento metálico, com guincho mecânico, em segmentos rosqueados, até que se atinja a profundidade projetada. A concretagem é realizada lançando-se o concreto e retirando-se gradativamente o revestimento com o guincho manual e simultâneo apiloamento do concreto. O revestimento integral assegura a estabilidade da perfuração e garante as condições para que não ocorra a mistura do concreto com o solo ou o estrangulamento do fuste da estaca. Este tipo de estaca não pode ser utilizado em areias submersas ou em argilas muito moles saturadas. A ponta da estaca deve estar em material de baixa permeabilidade para permitir as condições necessárias para limpeza e concretagem.
- Estacas Franki, são executadas através da cravação de um tubo por meio de sucessivos golpes de um pilão em uma bucha seca de pedra e areia aderida ao tubo. Atingida a cota de apoio, procede-se à expulsão da bucha, execução de base alargada, instalação da armadura e execução do fuste de concreto apilado com a simultânea retirada do revestimento. A execução da estaca pode apresentar alternativas executivas em relação aos procedimentos da estaca padrão como, por

exemplo: perfuração interna, fuste pré-moldado, fuste encamisado com tubo metálico perdido, fuste executado com concreto plástico vibrado ou sem execução de base alargada.

- Tubulões a céu aberto, tipo de fundação em que as cargas são transmitidas essencialmente pela base para um substrato de maior resistência. Este tipo de fundação é empregado acima do lençol freático, ou mesmo abaixo dele, nos casos em que o solo se mantenha estável sem risco de desmoronamento e seja possível controlar a água do interior do tubulão.
- Tubulões a ar comprimido, tipo de fundação que transmite as cargas da mesma maneira que os tubulões a céu aberto com a diferença que este tipo de solução é empregado sempre que se pretende executar tubulões abaixo do nível d'água. A escavação do fuste destes tubulões é sempre realizada com auxílio de revestimento que pode ser de concreto ou de aço.

Conforme Velloso e Lopes (1998, p. 213) “são fundações mistas aquelas que associam fundações superficiais e profundas”.

Quanto aos tipos de fundações mistas temos:

sapatas sobre estacas — associação de sapata com uma estaca (chamada de "estaca T" ou "estapata", dependendo se há contato entre a estaca e a sapata ou não);

radiers estaqueados — radiers sobre estacas (ou tubulões), que transfere parte das cargas que recebe por tensões de contato em sua base e parte por atrito lateral e carga de ponta das estacas. (VELLOSO e LOPES, 1998, p. 213-214)

Aoki e Lopes (1975, apud. VELLOSO e LOPES, 2010), apresentam um método que prevê a possível consideração de um processo interativo de uma fundação composta por bloco de coroamento rígido com uma fundação profunda composta por um grupo de estacas. Segundo seus estudos, esta interação contribui na redução do recalque no grupo das estacas, tornando possível a alteração das cargas atribuídas inicialmente às mesmas. Suas considerações levaram à concepção das fundações mistas do tipo radier estaqueado.

3 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES

Na introdução deste trabalho, foi apresentado um conceito de patologia estrutural a partir do dicionário, ferramenta de fácil acesso ao cidadão. Contudo, neste momento, faz-se necessário apresentar uma definição mais técnica.

Souza e Ripper (1998, p. 14) trazem a definição de patologia das estruturas como sendo “ [...] o campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas”.

Para o estudo deste trabalho, as patologias estudadas estão direcionadas a área das fundações, o que significa que serão verificadas as manifestações de problemas e falhas, bem como suas causas e efeitos, decorrentes dos processos que envolvem a implantação de um projeto de fundações em uma construção.

Os incidentes de patologias em obras civis têm sido observados com frequência tanto na prática nacional como internacional. A Torre de Pisa, é um caso clássico que caracteriza uma dessas ocorrências e teve bastante repercussão tornando-se um ponto turístico da Itália, país onde ela fica localizada. No Brasil, na cidade de Santos, os prédios da orla tornaram-se famosos pelo mesmo motivo. Chegou até a existir um passeio turístico de lancha para visualização dos prédios tortos. Outro caso instigante é o da cidade de Königsberg, situada na Rússia. A Catedral que fora construída no século XVI recalçou com tal intensidade durante a sua construção, que foram feitos cinco pisos adicionais, um em cima do outro. (MILITITSKY et al, 2015; BOTELHO, 2016)

Figura 6 - Torre de Pisa - Itália



Fonte: Romapravoce.com, 2021.

Mas o que de fato ocorreu com estas estruturas que possibilitaram o acontecimento destes incidentes? É o que vamos compreender melhor com o estudo aprofundado de eventos que ocasionaram tais ocorrências.

3.1 Recalques

Sabe-se que qualquer material que é submetido a uma força de compressão ou de tração (estiramento) sofre deformações. Com o solo não é diferente. Todo solo submetido a uma concentração de carga derivada de uma estrutura apoiada sobre ele sofre deformação. A essa deformação se dá o nome de recalque. (BOTELHO, 2016)

Berberian (2015), aponta que os recalques podem ser classificados sob duas óticas: sob a ótica do solo e sob o ponto de vista da estrutura.

Em se tratando da perspectiva do solo, ele defende que o recalque pode ser:

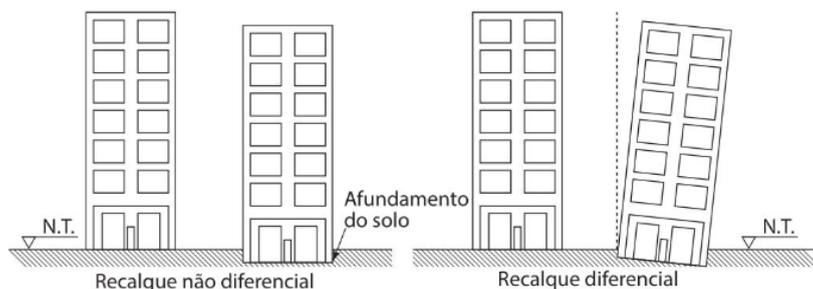
- Recalque imediato o qual é causado em decorrência do ajuste da fundação no solo, saída de gases, deformação elástica, compressão de sujeiras. Este é suportável na maioria dos casos.
- Recalque primário o qual é causado em função do adensamento, ou seja, da saída de água presente no solo. Este é considerado o maior dos recalques, podendo ocasionar a ruptura da obra. Em areias fofas saturadas, ocorre em poucos minutos e já em argilas saturadas, muito finas e pouco porosas podem levar muitos anos.
- Recalque secundário o qual é causado devido a fenômenos viscosos denominados fluência, ou seja, deformação permanente do material em questão, nesse caso o solo. Esse fenômeno ocorre depois do recalque primário e é mais significativo em solos orgânicos.
- Recalque por colapso o qual é causado pelo colapso da microestrutura do solo e/ou por perda de sucção mátrica, quando inundado.

Para Das e Sobhan (2014), o recalque sob a mesma ótica pode ser dividido em três grandes grupos:

- Recalque elástico (ou recalque imediato) é gerado por deformação elástica dos solos secos, úmidos e saturados sem que haja alteração no teor de umidade. Ocorrem de maneira imediata quando são submetidos a aplicação de carga.
- Recalque de compressão secundária é causado quando há ocorrência de alteração do volume de solos coesivos saturados, em função da eliminação da água que ocupa os espaços vazios. Geralmente são detectados em solos não coesivos sob fundações rasas.
- Recalque por adensamento secundário é identificado quando, em solos coesivos saturados e solos orgânicos, há o ajuste plástico da estrutura do solo.

Sob a ótica da estrutura, além do recalque total (absoluto) que é quando ocorre o afundamento do solo por igual em todos os locais de apoio, temos o recalque diferencial que ocorre quando alguns apoios afundam mais que outros. Esse recalque é o mais temido pelos profissionais de engenharia, pois quando ele ocorre, a estrutura acaba recebendo esforços não previstos nos cálculos, que podem resultar em rompimentos de partes dela e ocasionar a inviabilização do seu uso. (CINTRA et al, 2011)

Figura 7 - Tipos de recalques sob a ótica da estrutura

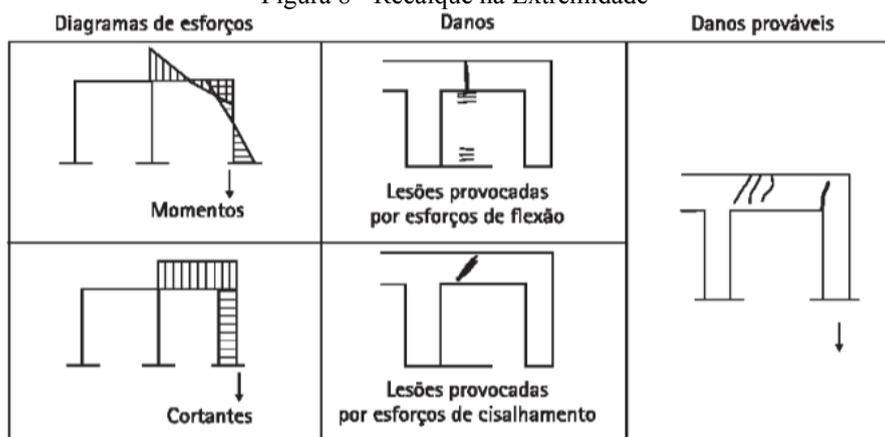


Fonte: BOTELHO, 2016, p. 115.

Os danos causados por esses recalques podem ser divididos em três diferentes áreas. Podem se manifestar na arquitetura, na funcionalidade e na estrutura da edificação. Os danos arquitetônicos são aqueles também conhecidos como danos estéticos, os quais comprometem a estética da edificação, como por exemplo, trincas de paredes, rompimento de painéis de vidros e mármore. Já os danos funcionais são aqueles que prejudicam o bom funcionamento da edificação, como por exemplo, mau funcionamento de portas e janelas, desgaste de elevadores, rompimento de redes de esgotos, entre outros. E por fim os danos estruturais que são aqueles que irão afetar as estruturas, ou seja, fundações, pilares, vigas e lajes. (GOTLIEB, 1998)

A figura a seguir demonstra alguns danos causados por recalques na extremidade, acompanhadas dos seus diagramas de esforços para um melhor entendimento.

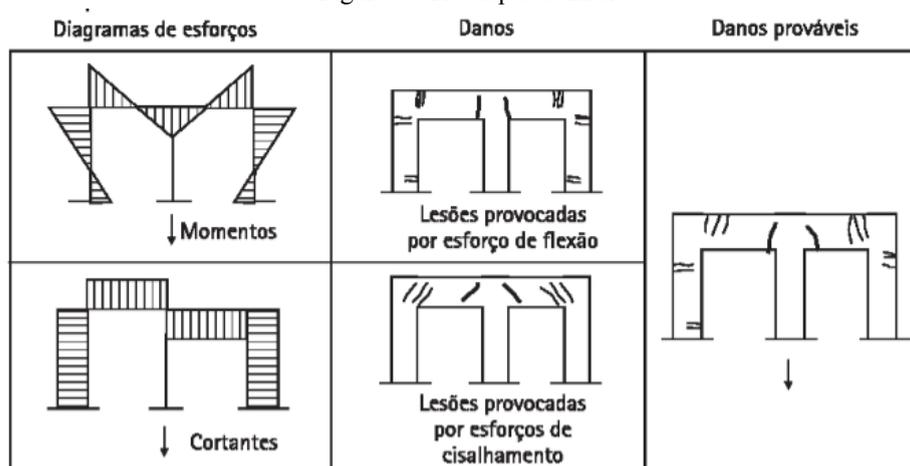
Figura 8 - Recalque na Extremidade



Fonte: MILITITSKY et al, 2015, p. 26.

Em seguida, podemos observar alguns danos causados por recalques centrais e seus respectivos diagramas.

Figura 9 - Recalque Central



Fonte: MILITITSKY et al, 2015, p. 26.

Com a observação das imagens, podemos perceber que algumas rachaduras são provenientes dos esforços de flexão e outras rachaduras provém dos esforços de cisalhamento. Quando acontece de forma central, acaba danificando a estrutura por inteiro, diferentemente de quando ocorre em apenas uma das extremidades, onde as irregularidades aparecem com mais frequência no lado do incidente.

Na história da humanidade, podemos citar vários exemplos de obras que sofreram recalques consideráveis: A Torre de Pisa, a Escola de Engenharia do México, a Catedral de Königsberg, os prédios da orla de Santos, entre outros.

Um exemplo clássico, como já mencionado anteriormente, é o da Torre de Pisa. Sua construção teve início em 1173, e levou quase dois séculos para finalizar. Possui 58 m de altura e foi construída sobre um solo heterogêneo com uma fundação do tipo

superficial. Por conta da sua inclinação, exerce sobre o solo uma pressão de 961 kN/m^2 , cerca de 450 kN/m^2 a mais que a pressão exercida se permanecesse verticalmente. Em 1990, devido à preocupação do governo italiano com o seu possível colapso, interromperam-se as visitas e deram-se início à obra de estabilização da torre. O método utilizado foi o de escavação controlada do solo, sendo executada por debaixo do solo no lado sul e simultaneamente controlando o nível de lençol freático abaixo do lado norte. No ano de 2001, a torre foi reaberta para visita, atraindo milhares de pessoas para admirar essa façanha do mundo da engenharia. (CAPUTO et al, 2015; CINTRA et al, 2013)

3.2 Ruptura do solo

Não são muito comuns as ocorrências de incidentes envolvendo a ruptura do terreno. Porém quando ocorrem costumam ser bem catastróficas. De acordo com Berberian (2015), elas podem ser caracterizadas por três diferentes modos de ocorrência:

- Ruptura Generalizada, ocorre ao longo de todo o maciço até a superfície. Bem característica em solos incompressíveis com exceção de argilas moles saturadas que também rompem de forma generalizada. Comumente ocorre em fundações superficiais, de maneira brusca e catastrófica, sem dar muitos sinais que vai desmoronar. Na sua ruptura, é observado o levantamento do terreno na superfície;
- Ruptura por Puncionamento, ocorre diferentemente da generalizada, somente próximo a ponta da fundação. É bem característica de ocorrer em fundações profundas, e bem típicas de suceder em solos fofos especialmente se ocorrer em fundações superficiais;
- Ruptura Local, ocorre sob a base, e possui a característica de não ser catastrófica. Nesse caso, o solo não apresenta uma tensão de ruptura bem definida, ou seja, tensão que leva o solo ao rompimento.

Um exemplo desse tipo de incidente é o caso de um conjunto de silos de trigo em Transcona, construído em um bairro da cidade de Winnipeg no Canadá. Essa obra foi realizada sobre uma fundação do tipo radier com 620 m^2 e sofreu em poucas horas uma inclinação de 25° . A inclinação ocorreu devido a uma dissimetria de carregamento provocando a ruptura do solo e o colapso da obra. Contudo, o incidente não danificou a

estrutura de concreto armado possibilitando então a reconstrução da fundação e o realinhamento da edificação. (CAPUTO et al, 2015)

Figura 10 - Silo de Transcona



Fonte: portalingeneriacivil.com, 2021.

Infelizmente o caso do Edifício São Luiz Rei, localizado na cidade de Copacabana no Rio de Janeiro, não teve o mesmo desfecho. A construção foi iniciada em 1955, com 99 estacas moldadas *in loco*, cada uma delas com 20 m de profundidade. A ocorrência dos recalques foi percebida um ano depois, porém somente na data de 27 de janeiro do ano de 1958 foi iniciada uma tentativa de reforço por meio de estacas Mega. Todavia, tal esforço não obteve êxito por questão de tempo. Na noite de 30 de janeiro do mesmo ano, a estrutura veio a desabar. Nesse caso houve a ruptura do terreno ocasionando a ruptura do elemento de fundação. (CAPUTO et al, 2015)

Para evitar tais ocorrências como as que foram citadas acima, a NBR 6122 traz algumas recomendações no que se refere a determinação da tensão admissível do solo.

Denomina-se tensão admissível, “máxima tensão que, aplicada ao terreno pela fundação rasa ou pela base de tubulão, atende, com fatores de segurança predeterminados, aos estados limites últimos (ruptura) e de serviço (recalques, vibrações etc.)” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019 p. 8)

Segundo Velloso e Lopes (2010), o dimensionamento adequado de uma fundação deve apresentar simultaneamente segurança em relação aos possíveis modos de colapso, atendimentos aos estados de limites últimos, e de deslocamentos de serviço aceitáveis, atendimento aos estados limites de utilização.

De acordo com os autores citados acima, podemos observar a existência de dois tipos de critérios de segurança que a edificação precisa apresentar. Esses critérios são chamados de estados limites último (ELU) e estados limites de serviço (ELS). O primeiro se refere aos critérios de segurança no que tange os riscos de desabamento, implicando na paralisação do seu uso. O segundo se refere aos critérios de segurança no que tange o conforto dos usuários, a durabilidade da construção e o seu bom funcionamento.

Em conformidade com a NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), a tensão admissível deve ser estipulada a partir da utilização e interpretação de um ou mais métodos descritos a seguir:

- Prova de carga de placa, ensaio realizado em concordância com a NBR 6489.
- Métodos teóricos, são métodos baseados em teorias de capacidade de carga desenvolvidas a partir do conhecimento do tipo de ruptura que o solo pode sofrer e das condições de carregamento aos quais são submetidos. Dentre essas teorias se destacam as teorias de Terzaghi, Meyerhoff e Vesic.
- Métodos semi empíricos, que são métodos que relacionam valores obtidos através de ensaios como SPT, CPT entre outros.

Os problemas de fundações são de um modo geral difíceis de se prever com precisão devido a tantas incertezas no que tange aos valores dos parâmetros do solo introduzidos nos cálculos, bem como os próprios métodos de cálculos, quanto às cargas a suportar. A partir desse contexto, fica clara a necessidade de introduzir coeficientes de segurança que levem em consideração essas incertezas. (CAPUTO et al, 2015)

Esses fatores de incertezas podem ser introduzidos em um único coeficiente de segurança que é denominado coeficiente ou fator de segurança global ou podem ser incluídos separadamente com um coeficiente de ponderação para cada aspecto do cálculo, sendo atribuído a essa prática coeficiente de segurança parcial. (VELLOSO e LOPES, 2010)

4 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Segundo Milititsky et al (2015) a investigação do subsolo é o fator que mais contribui para o aparecimento de patologias nas fundações. Dentro desse fator, percebe-se que os problemas geralmente são decorrentes de insuficiência de investigação, detecção de falhas no procedimento dos ensaios, interpretação inadequada dos dados e até mesmo

a ausência total de investigação, geralmente encontrada em obras de pequeno e médio porte.

O avanço pela busca de conhecimento, no que se diz respeito ao comportamento do solo e suas propriedades, surgiu com a preocupação de engenheiros e cientistas a partir da metade do século XVIII, posteriormente aos casos encontrados de problemas pertinentes às fundações em obras dos séculos passados. (DAS e SOBHAN, 2014)

Nesse contexto o estudo da Mecânica dos Solos vem corroborar com este avanço pois é considerado o responsável por estabelecer teorias que possibilitam o entendimento do comportamento mecânico e hidráulico dos maciços terrosos. O comportamento mecânico se refere ao modo como o solo se deforma a alterações do estado de tensão impostas pelas estruturas em que são submetidas. O comportamento hidráulico está estreitamente ligado ao comportamento mecânico visto que não se trata somente da vazão de água que atravessa o maciço mas como do fato do escoamento afetar, de modo significativo, as tensões instaladas no solo. (FERNANDES, 2016)

De acordo com os estudos realizados, durante toda a evolução das construções em obras já realizadas, verificou-se a ocorrência de problemas provenientes de manifestações patológicas nas estruturas de fundações. Despertou-se então o interesse dos profissionais da área a fim de conhecer as causas dessas ocorrências bem como a solução para elas. Com esses estudos observou-se que a principal causa dessas manifestações era a falta de conhecimento do solo. Desse modo, no decorrer dos anos, ocorreram aperfeiçoamentos neste campo que resultaram no surgimento de ensaios que possibilitam a obtenção de informações para oferecer tal conhecimento.

4.1 Métodos de investigações do solo

Para obter-se dados sobre tais comportamentos e propriedades dos solos, se faz necessário a aplicação de métodos para investigar as suas características e parâmetros, como mencionado anteriormente. Estes métodos são realizados através de ensaios, sejam eles feitos “*in situ*”, expressão utilizada para se referir no próprio local, ou em laboratórios. Na prática, utiliza-se predominantemente os ensaios *in situ* e em casos especiais como no caso de solos coesivos, por exemplo, emprega-se o uso de ensaios laboratoriais. (QUARESMA et al, 1998)

A NBR 6122, enfatiza que toda edificação deve ter o solo preliminarmente investigado por no mínimo realizações de sondagens a percussão, realizadas com ensaio SPT, objetivando determinar a classificação do solo, o nível do lençol freático, as camadas do terreno e o índice de resistência à penetração NSPT. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019)

As normas que regulamentam o ensaio de SPT no Brasil são a NBR 6484 Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, desenvolvida no ano de 2001, e a NBR 8036 - Programação de sondagens de solo de simples reconhecimento para fundações de prédios (SPT) - do ano de 1983. Nelas estão contidas informações que vão desde as definições e equipamentos utilizados para execução do ensaio como o procedimento adotado e a expressão de resultados.

A imagem a seguir demonstra o equipamento utilizado em sondagens do tipo SPT.

Figura 11 - Equipamento utilizado no ensaio de SPT



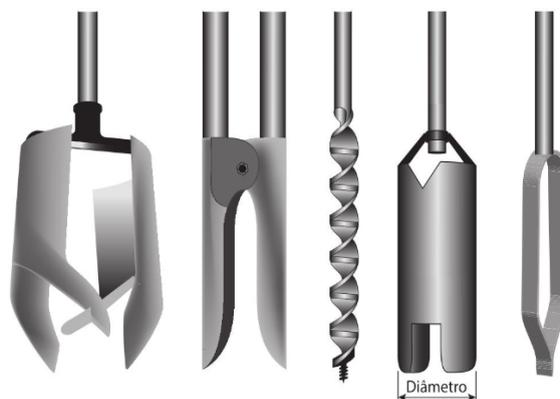
Fonte: Refortfundações.com.br, 2021

Articulado ao ensaio SPT, Botelho (2016, p.39) afirma: “a essência do método é a partir de golpes (batidas), fazer penetrar no solo um amostrador padrão e medir como essa penetração acontece, metro por metro (número de golpes)”. A cada metro apresenta-se a seguinte prática: o número de golpes dos primeiros 15 cm são desprezados e nos outros 15 cm faz-se a medição do número de golpes aferidos para penetração do amostrador. Repete-se esse procedimento nos 15 cm sequenciais. O SPT é determinado a

partir da soma dos números de golpes necessários para que o amostrador vencesse o segundo e o terceiro trecho.

Embora a NBR 6122 sugira que em toda edificação seja feita no mínimo a sondagem à percussão do tipo SPT, Botelho (2016) defende que a sondagem a trado também é uma boa técnica a ser utilizada, e não deve deixar de ser empregada por motivo de preconceito. O trado é composto por uma haste com uma ponta constituída por rosca de aço cortante acionada por ação humana. Por esse motivo, em alguns locais ela se torna inviável, pois há uma limitação no tocante à profundidade, que está diretamente relacionada com o exercício da força humana. A figura a seguir mostra alguns modelos de equipamentos utilizados nesse procedimento.

Figura 12 - Equipamento de Trado



Fonte: BOTELHO, 2016, p. 97.

Uma estatística impressionante revela que 90% das edificações térreas brasileiras com foco nas casas mais populares não fazem nenhum tipo de sondagens do terreno, quando deveriam pelo menos fazer a sondagem a trado, três furos no mínimo, para terrenos com dimensões de 300 metros quadrados. (BOTELHO, 2016)

Conforme ressalta Filho (2017?), há uma grande chance de se superdimensionar a fundação e/ou da estrutura quando não se tem o devido conhecimento do maciço rochoso. A devida investigação do solo irá contribuir para evitar acidentes e gastos desnecessários para a construção. Corrigir danos resultantes de problemas de fundações quando a obra já está pronta ou em andamento é difícil e oneroso. Torna-se muito mais viável investir em uma boa sondagem.

Botelho (2016) traz no quadro a seguir uma lista de testes de campo e exames laboratoriais mais utilizados em Mecânica dos solos e Fundações. Segundo ele, uma visão mais agregada e panorâmica deles permite uma visão mais abrangente e crítica.

Completa ele referindo que é necessário associar muitas visitas ao local da obra antes de se tomar qualquer providência.

Quadro 2 - listagem de exames laborais ou de campo mais usados conforme a obra

Obra	Exames Laboratoriais ou de Campo
Fundações de edifícios	Sondagem a trado, Sondagem à percussão SPT Medida do nível de água no terreno Prova de carga
Recalques de edificações	Ensaio de adensamento
Maçios terrosos - aterros	Curva granulométrica Ensaio de proctor
Barragens de terra	Seleção do material de empréstimo Ensaio de compactação - Proctor
Estabilidade de taludes e muros de arrimo	Ensaio de cisalhamento direto Ensaio de cisalhamento via ensaio triaxial
Rebaixamento de lençol freático	Medida da permeabilidade do solo
Projeto de estradas	Índice CBR
Estudos gerais	Peso específico do solo

Fonte: BOTELHO, 2016, p. 159.

O caso de um centro comunitário, relatado por Botelho (2016), construído para um município sem a realização de nenhum tipo de sondagem chama a atenção. Com o prazo apertado para a entrega do empreendimento e como o arquiteto contratado pela prefeitura não havia previsto qual fundação seria empregada para a referida obra, o responsável técnico determinou que fossem feitas sapatas de concreto armado com 30 cm de profundidade ao longo das paredes internas e externas da edificação, sem ter feito nenhuma sondagem no terreno. O empreendimento foi entregue a comunidade e logo após ter entrado em uso já começaram aparecer fissuras que se transformaram em trincas. Investigando a causa dessas aparições, detectou-se que se tratava de um problema com a fundação. A obra havia sido construída sobre um aterro de aproximadamente 1 metro e meio de profundidade que não suportou a carga da estrutura e conseqüentemente levou a condenação da construção.

O caso descrito acima, evidencia a importância da devida investigação do solo. Mesmo que fosse feita somente a sondagem a trado, que é a mais fácil de ser executada e de simples acesso, a condenação desta obra teria sido evitada. Outro fator que observa-se é a atitude do profissional que determinou a construção de sapatas com dimensões que não estão em conformidade com a normatização. A NBR 6122 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) prevê em sua norma a dimensão

mínima para sapatas e blocos de 60 cm, podendo a profundidade variar de acordo com a dimensão adotada.

Tanto as normas quanto os autores citados anteriormente revelam que deve-se dar a devida importância aos processos de investigação do solo. O engenheiro deve conhecer ao máximo a composição do terreno onde irá executar a sua obra a fim de evitar futuros inconvenientes. Esses ensaios investigativos irão fornecer informações de grande valor para auxiliar na melhor tomada de decisão do profissional. A obtenção desses dados oferecerão mais clareza tanto na escolha do tipo de fundação a ser empregada quanto nas melhores condições do dimensionamento da estrutura em si.

5 ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE FUNDAÇÕES

Para Bazzo e Pereira (2011, p.203), “projeto é um plano de execução, é um planejamento para se alcançar objetivos dentro de metas de orçamento e tempo; é um conjunto de atividades que precede a execução de um produto, sistema, processo ou serviço.”

De um modo geral, a estrutura de uma edificação é calculada por um engenheiro estrutural que é passada para o engenheiro de fundações. Com posse dessas informações e das investigações do local onde será realizada a obra, ele projeta as fundações. É nesse momento em que o profissional começa a traçar o plano para alcançar a finalidade proposta pelo projeto. Nessa fase, é importante que o engenheiro se preocupe com alguns requisitos básicos. Um deles é a segurança como já foi mencionado, ou seja, garantir que a estrutura permaneça estável sem riscos de ruptura ou colapso. Outro requisito é a funcionalidade que garante a utilização sem grandes restrições por parte dos usuários. A durabilidade é outro fator importante, pois vem garantir a vida útil da edificação sem que haja gastos exagerados com custos de manutenção. Também é relevante que leve em consideração as condições econômicas e ambientais do empreendimento. (HIBBELER, 2013; FERNADES, 2014)

Velloso e Lopes (2010) propõem um roteiro a seguir com elementos que julgam necessários no desenvolvimento de um projeto de fundações. Primeiramente, verifica-se a topografia da área, fazendo o levantamento planialtimétrico e o levantamento de dados de taludes e encostas que possam vir a atingir o terreno. Seguindo com a investigação do solo, levantamento de dados geológicos como mapas, fotos aéreas e satélite. Subsequente

a esta etapa, faz-se uma pesquisa de dados referentes às obras vizinhas. Nesta pesquisa, busca-se obter informações como quantidade de pavimentos e suas respectivas cargas aproximada, tipos de fundações empregadas na construção, verificar a existência ou não de subsolo e analisar possíveis consequências em decorrência de escavações e vibrações provocadas pela nova obra. E por fim, dados da estrutura do empreendimento em questão, tipo de estrutura a ser empregada, sistema construtivo, assim como as cargas que serão aplicadas nas fundações.

No Brasil, a norma que regulamenta as cargas, isto é, as ações aplicadas nas estruturas é a NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Em conformidade com esta norma as ações nas estruturas são classificadas em:

- Ações permanentes: são as ações que permanecem constantes ou sofrem pequenas variações durante a vida útil da edificação. São exemplos de ações permanentes o peso próprio da estrutura, as alvenarias, os revestimentos, entre outros;
- Ações variáveis: são aquelas ações que passam por significativa variação ao longo da vida útil da edificação, como a ação do vento por exemplo;
- Ações excepcionais: são aquelas que ocorrem com pouca frequência no decorrer da vida útil da construção, porém precisam ser consideradas em projetos de determinadas estruturas. Podemos citar como exemplo a ocorrência de enchentes, incêndios, sismos;
- Cargas acidentais: são as cargas provenientes da atuação em função do seu uso. Nesse caso enquadram-se as pessoas, os móveis, automóveis e materiais diversos.

Contudo, Milititsky et al (2015) faz um alerta referente a definição das cargas que serão submetidas às fundações. No momento da definição dessas ações, devem ser incluídas considerações referentes ao próprio comportamento do solo, como empuxos, atrito negativo e outros. A figura abaixo relata um caso de desmoronamento ocorrido devido a ser projetada sem a consideração da atuação dos empuxos no cálculo do dimensionamento.

Figura 13 - Desmoronamento resultante da desconsideração dos empuxos



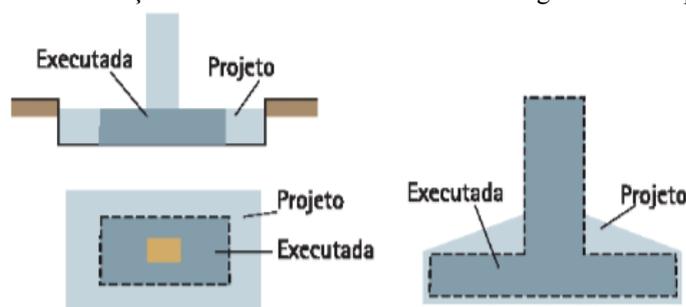
Fonte: MILITITSKY et al, 2015, p. 58.

Outro aspecto importante durante a elaboração do projeto é a definição dos materiais que mais se adequam aos elementos estruturais e construtivos. O objetivo dessa escolha é que sejam pesquisados materiais que atendam as funções que lhe são requeridas. Também faz-se necessário que o projetista defina as características dos materiais para garantir que as condições previstas no projeto de fato aconteçam. (BERTOLINI, 2010)

O autor citado acima destaca que a escolha dos materiais precisa ser de acordo com a que mais se adapta ao tipo de estrutura escolhida. Outra indicação é que o projeto deve buscar estar bem detalhado. Desse modo recomenda-se dispor das especificações do material que foi utilizado no cálculo do dimensionamento a fim de garantir que o comportamento das estruturas ocorram de acordo com o que foi planejado.

De acordo com Milititsky et al (2015), outro fato que causa ocorrências de patologias é a execução de fundações realizadas em desacordo com as especificações geométricas descritas no projeto. Situação bem comum na execução de sapatas com altura variável ou escalonadas, resultando em tensões incompatíveis com o solo ou com a estrutura. A figura a seguir demonstra algumas situações ocorridas de acordo com este contexto.

Figura 14 - Fundações executadas em desacordo com a geometria do projeto



Fonte: MILITITSKY et al, 2015, p. 111.

Como já vimos anteriormente, as edificações em sua totalidade apresentam recalques, mesmo que estas sejam dezenas de milímetros e não sejam tão perceptíveis a olho nu. Com isso destaca-se que o engenheiro projetista de fundação necessita incluir em todos os seus projetos, a estimativa dos recalques e adequá-los para que os mesmos sejam inferiores aos recalques admissíveis. (CINTRA, 2011)

5.1 Escolha do tipo de fundação

A escolha da fundação é uma etapa considerada bem relevante em se tratando de prevenção no surgimento de manifestações patológicas. Para se obter êxito quanto a essa escolha, Alonso (2010) sugere que sejam tomados alguns cuidados. A fundação escolhida precisa atender as condições técnicas e econômicas da obra em questão. Deve-se fazer uma pesquisa com as edificações vizinhas para colher informações do tipo de fundação utilizada e tempo que a mesma foi executada. Outro ponto de extrema importância é ter conhecimento do solo, adquiridos através dos ensaios de sondagem de campo ou de laboratório quando se faz necessário. Por fim, como já foi mencionado neste estudo, o engenheiro de posse do conhecimento das grandezas das cargas que serão transmitidas ao solo, e do conhecimento das fundações existentes no mercado, faz uma análise e escolhe o melhor tipo de fundação para ser empregada em cada caso específico.

6 CONSIDERAÇÕES A CERCA DE EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES

Segundo Milititsky et al (2015), o processo executivo é a segunda maior causa de influências na aparição de patologias nas estruturas de fundações. O sucesso de um bom resultado em se tratando de estruturas de fundação depende de um conjunto de fatores. O

momento da execução é uma das etapas em que se exige controle minucioso acompanhado de supervisão pelo engenheiro responsável. Mesmo quando se contrata empresa especializada para a execução, é necessário acompanhar as reais condições de realização das fundações e repassar qualquer alteração ou disparidade ao engenheiro projetista.

Um quesito importante a se destacar durante a execução é o controle de qualidade dos materiais utilizados e a sua devida utilização. Normalmente, esses controles são feitos através de testes simples e rápidos, muitas vezes feitos no próprio local da obra. O *Slump test* é um desses testes realizados no local da construção empregado para verificar a consistência do concreto. No Brasil, a norma responsável por regulamentar essa prática é a NBR 16889, Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, publicada no ano de 2020 (BERTOLINI, 2010)

Figura 15 - Slump test



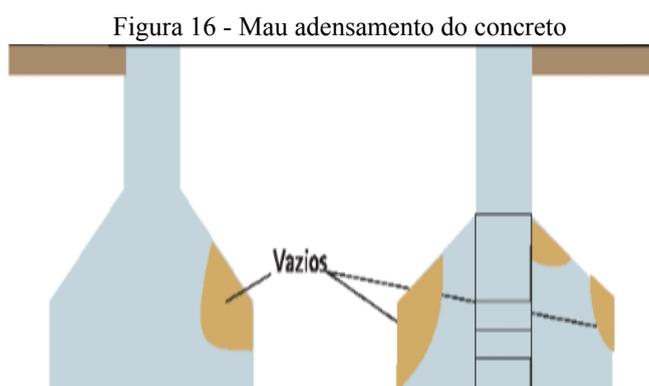
Fonte: sasolucoes.com, 2016

De acordo com Velloso e Lopes (2010), vale ressaltar que por mais cuidado e vigilância que se tenha no momento da execução, as imperfeições ocorrerão. A devida fiscalização e condução dos trabalhos poderá influenciar na redução dessas imperfeições, mas dificilmente eliminá-las totalmente.

Para Maia (1998), os cuidados que devem ser tomados durante a execução de sapatas consistem essencialmente em garantir que as mesmas sejam apoiadas sobre o solo previsto no projeto. Outra recomendação é que a escavação das sapatas se inicie próximo dos furos da sondagem para permitir uma comparação *in loco* das características apontadas pelo laudo de sondagem. Para execução de estacas a recomendação é que se

utilize a bucha correta, que deve ter altura em torno de 1,5 a 2 vezes o diâmetro do tubo, para não influenciar no resultado.

Algumas causas de patologias relacionadas à execução de fundações são citadas por Milititsky et al (2015), em seu livro *Patologia de Fundações*. Causas essas detectadas através de estudos de casos que apresentaram a mesma ocorrência do problema. O mau adensamento e a contaminação do concreto são exemplos dessas causas. Segundo ele, é essencial fazer o devido adensamento do concreto e ser criterioso no momento da concretagem para que não haja contaminação do material. A desforma para inspeção da integridade dos elementos é essencial para evitar transtornos futuros. Em algumas obras onde há dificuldade de desforma e em locais com instabilidade de escavação ou presença de água, essa etapa não é executada. Foi o caso de um prédio de quatro pavimentos que desabou em Porto Alegre. No momento da perícia, após o acidente, foi verificado a presença de serragem e outros detritos, que causaram a ruptura do elemento de fundação quando o mesmo foi submetido ao carregamento.



Fonte: MILITITSKY et al, 2015, p. 111.

Outra causa citada por Milititsky é a ausência de regularização do fundo da cava da sapata com concreto magro. Segundo ele, é bem comum o uso de brita para fazer essa regularização, porém aumenta-se o risco de contaminação do concreto e o recobrimento inadequado da armadura. Além disso, esse procedimento pode ocasionar na perda de água do concreto, fato este que interfere na qualidade do material.

Nesse mesmo contexto Souza e Ripper (1998) contribuem destacando que problemas socioeconômicos refletem no processo de execução. Relaciona-se estes reflexos com a baixa qualidade técnica dos trabalhadores. É de fundamental importância que os trabalhadores sejam treinados e recebam informações técnicas sobre os materiais e sobre a construção em si para que se obtenha um produto final de excelente qualidade.

Sabemos que a arte de lidar com o ser humano é desafiadora, porém muito necessária em diversas áreas da vida. Para o ramo da Engenharia Civil, não é diferente.

Um bom engenheiro, além de conhecer as técnicas e processos utilizados na execução de uma obra, precisa saber transferir esses conhecimentos de maneira simples e direta, ao modo que seus subordinados compreendam e executem de maneira correta as instruções. Bazzo e Pereira (2011, p. 45) contribuem com o seguinte pensamento: “Uma boa solução presa na cabeça de seu criador é praticamente inútil”.

6.1 Possíveis soluções de patologias em fundações

Algumas manifestações patológicas em obras de fundações felizmente são passíveis de solução. Isso se torna possível através de reforços e até mesmo de reconstrução dos elementos de fundação, realizados por intermédio de técnicas existentes no mercado.

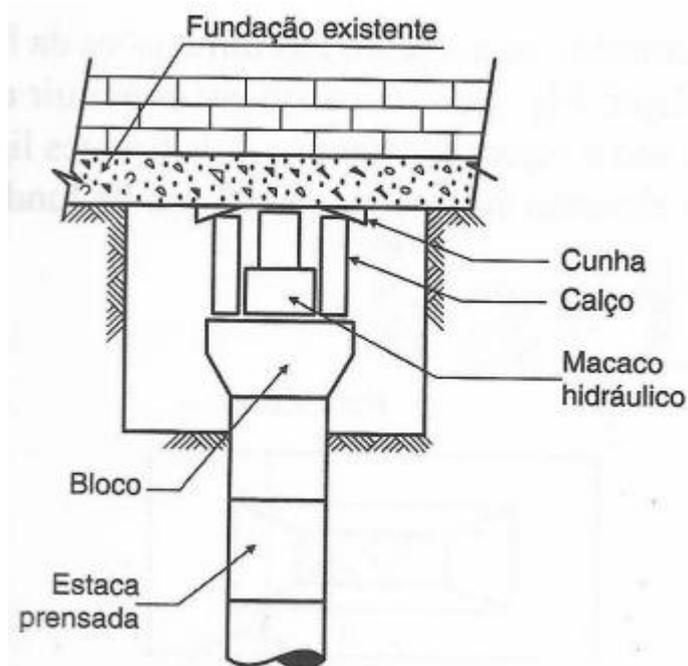
Segundo Gotlieb (1998), os reforços de fundações constituem-se em intervenções realizadas nas estruturas de fundações a fim de modificar seu desempenho em conjunto com o solo. Tais ações geralmente são executadas em casos onde as fundações apresentam comportamento inadequado referente ao suporte das cargas atuantes ou ainda quando houver a necessidade de aumentar o carregamento da edificação e as estruturas de fundações existentes não comportam tamanho aumento de carga.

Caputo et al (2015) define que reforçar uma fundação consiste em instalar uma nova fundação sob uma estrutura já existente.

Os autores acima defendem que o reforço de fundações consiste em executar uma nova fundação sobre o elemento já existente. Além disso, sugerem que tais reforços sejam aplicados em casos onde a estrutura de fundação existente não esteja mantendo o desempenho esperado ou quando houver um aumento considerável do carregamento.

Esse procedimento, segundo Caputo et al (2015) pode ser realizado com o aumento de sua profundidade ou com o aumento de suas dimensões. Para o aumento de profundidade ele salienta que existem duas formas de se implementar. Uma seria através de escavações de pequenas cavidades feitas logo abaixo das fundações existentes, com o devido escoramento, possibilitando a instalação da nova fundação. Outra maneira seria com o auxílio de macacos hidráulicos, realizar a cravação de estacas prensadas ou a utilização de estacas- raiz. A figura a seguir mostra um esquema de utilização de macaco hidráulico no reforço de fundações com a realização de estaca prensada.

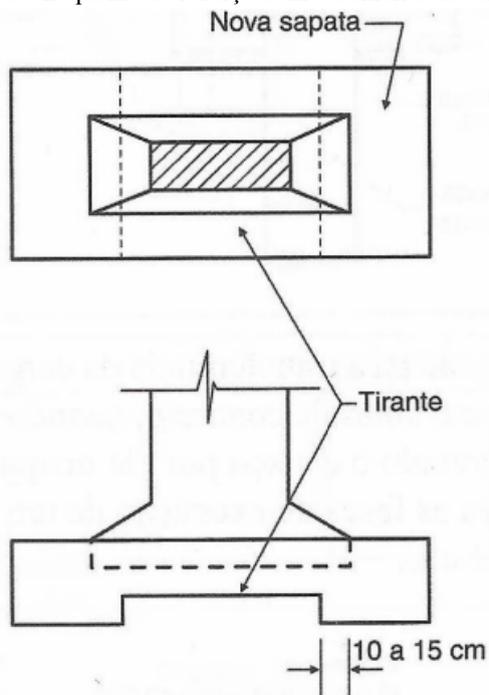
Figura 17 - Esquema de reforço com o aumento da profundidade



Fonte: CAPUTO et al, 2015, p. 419.

Quando o reforço de fundações é realizado com o aumento das dimensões a sugestão de Mesnager (apud, CAPUTO et al, 2015) é que se construa duas sapatas laterais com as extremidades sob a sapata existente e dois tirantes ligando-as entre si como demonstra o esquema a seguir.

Figura 18 - Esquema de reforço com o aumento das dimensões



Fonte: CAPUTO et al, 2015, p. 420.

Gotlieb (1998) salienta que a execução desses reforços são em sua maioria perigosos e delicados, provocando muitos transtornos aos usuários da edificação. Além disso, costumam ser onerosos, trazendo assim a necessidade de avaliações e estudos adequados quanto a viabilidade e custo benefício de tais serviços.

A seguir irão ser relatados alguns casos de problemas em fundações com o seu respectivo recurso.

O caso a seguir trata-se de uma instabilização de fundação causada pela substituição do solo por material não apropriado e executado sem a devida compactação. O fato ocorreu em uma escola do Rio Grande do Sul. Após uma inundação proveniente da ação de chuvas, a estabilidade da edificação foi comprometida. O problema foi solucionado com a escavação e substituição do material inapropriado colocado anteriormente, por solo selecionado e devidamente compactado, garantindo a segurança da edificação. (MILITITSKY et al, 2015)

Um outro caso refere-se a um reforço na fundação do Shopping Center Itaguaçu, localizado em Florianópolis, no estado de Santa Catarina. Devido a uma reforma para ampliação de suas instalações, foi inevitável o acréscimo de cargas em alguns pilares. As fundações existentes eram compostas por estacas tipo Franki e os reforços adotados por estacas prensadas instaladas sob os próprios blocos de capeamento. (GOTLIEB, 1998)

O caso citado acima não apresentou nenhuma manifestação patológica em relação às fundações, mas é um exemplo de conduta a ser seguida em qualquer situação onde ocorra um acréscimo de cargas. Novamente deve ser analisado com cautela todos os processos e dimensionamentos a fim de evitar transtornos resultantes da ausência deste estudo.

O caso a seguir ficou mundialmente conhecido pelo êxito obtido com o procedimento adotado. Trata-se do Edifício da Companhia Paulista de Seguros, localizado no estado de São Paulo. O prédio com 15 pavimentos foi construído sobre estacas Franki e no final de sua construção começou a apresentar recalques consideráveis, provocando uma inclinação ameaçadora. A solução adotada foi o congelamento temporário do terreno, a utilização de macacos hidráulicos que auxiliaram na sua verticalização e a execução de nove tubulões de concreto armado com 2 m de diâmetro. (BOTELHO, 2016)

A técnica de congelamento do solo foi idealizada pelo engenheiro alemão Potsch em 1883. A ideia consiste em introduzir tubos congeladores no terreno com a finalidade de congelar o solo obtendo-se a estabilização do maciço e conseqüentemente possibilitar

a realização do trabalho. No caso da Companhia Paulista de Seguros, foram necessários 130 tubos congeladores, em uma área de 200 m², a uma profundidade média de 13 m. Após 80 dias do início dos trabalhos de congelamento é que o recalque parou e então pôde se iniciar a escavação dos poços para a moldagem dos tubulões. (CAPUTO et al, 2015)

A Engenharia é uma ciência que cresce movida por constantes evoluções e aperfeiçoamentos de técnicas no decorrer dos anos. As metodologias utilizadas vão se aprimorando graças aos avanços tecnológicos ocorridos nesse vasto campo de atuação. Esses desenvolvimentos estão sempre em busca de soluções pertinentes aos tipos de adversidades encontradas. Estudos de patologia de fundações vem sendo objeto de interesse no âmbito nacional e internacional desde a década de 1950 como cita Milititsky et al (2015). Desde essa época, vem se buscando estratégias tanto para prevenir essas patologias como para solucioná-las.

7 METODOLOGIA

Método é o modo utilizado para se alcançar um determinado objetivo. Haja vista o tratamento que se pretende dar a este trabalho, adotou-se o método hipotético-dedutivo, pois o problema é presente nas obras brasileiras e decorrente de um conjunto de fatores. A solução proposta requer a execução de medidas que derivam de um estudo mais específico do problema. (LAKATOS e MARCONI, 2010)

7.1 Instrumento de pesquisa

De acordo com Severino (2007, p. 122), “[...] a pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos, como livros, artigos, teses etc.”

Sendo assim, o procedimento metodológico se desenvolveu por meio de pesquisas bibliográficas cujas informações já foram trabalhadas por outros pesquisadores e devidamente registradas. Após a busca desses dados, os mesmos foram devidamente selecionados e organizados a fim de construir um raciocínio que busca responder a problemática deste trabalho. Os instrumentos da pesquisa foram livros, artigos científicos, normatizações e sites que tratavam das teorias referentes ao tema.

7.2 Caracterização da pesquisa

De acordo com Otani e Fialho (2011, p. 36) a pesquisa aplicada “[...] objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais, tendo como propósito resolver um problema diretamente aplicado, buscando atender demandas sociais.”

Seguindo o entendimento apresentado acima, este trabalho caracteriza-se como pesquisa aplicada, pois o conhecimento resultado deste estudo visa um interesse prático. Trata-se de um conjunto de conhecimento para sustentar a tomada de decisão a serem aplicados na solução de problemas decorrentes de patologias estruturais de fundação.

De acordo com Gil (2002, apud. OTANI e FIALHO, 2011, p. 36) a pesquisa exploratória,

[...] visa proporcionar maior familiaridade com o problema no intuito de explicitá-lo ou construir hipóteses. Demanda levantamento bibliográfico, entrevistas, análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de Pesquisas bibliográficas e de estudos de caso.

Referente ao objeto, trata-se de uma pesquisa exploratória, pois o objetivo principal é, por meio da exposição de vários problemas similares e afins com o tema, aplicar um estudo profundo sobre as patologias estruturais de fundações a fim de reconhecê-las e possibilitar uma atuação preventiva. Este estudo será desenvolvido por meio de um levantamento bibliográfico que traz teorias.

Por fim, o estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, uma vez que a interpretação dos dados não requer um tratamento estatístico. Busca-se entender de forma adequada a natureza de um fenômeno. A identificação e análise dos dados não-mensuráveis será feita através do estudo bibliográfico relacionado com a problemática do tema. (LAKATOS e MARCONI, 2011)

8 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em função deste trabalho acadêmico ser inteiramente uma pesquisa bibliográfica, focado em fundamentação teórica, a análise e discussão dos resultados serão apresentados de forma conjunta na intenção de facilitar o entendimento.

O objetivo geral deste estudo, a fim de responder a problemática levantada, é apurar os principais fatores que influenciam na aparição de manifestações patológicas nas estruturas de fundações, analisando tecnicamente possíveis soluções em suas causas e efeitos.

No tocante a esses fatores de manifestações patológicas, Milititsky et al (2015), afirma que a investigação do solo é a causa mais frequente do aparecimento de manifestações patológicas em fundações, seguidas de problemas decorrentes da execução e outros provenientes de erros de projeto.

Dentro da mesma perspectiva, Dell'Avanzi (2017?), acrescenta que os erros mais comuns têm associação com a escolha do tipo errado de fundação para as características geológicas do local. Outro fator bem comum é o subdimensionamento da estrutura decorrente de uma investigação do subsolo inadequada ou devido à deficiência de um projeto estrutural. A falta de capacidade técnica é outra associação que o autor faz aos erros praticados.

Portanto, na visão dos autores, os principais fatores que motivam as manifestações patológicas são: o subdimensionamento decorrente da escolha do tipo errado de fundação pela falta de investigação do solo e a falta de capacidade técnica que pode resultar em problemas de execução ou erros de projeto.

Os autores Pinto (1998) e Berberian (2015) defendem a importância do conhecimento técnico da área de fundações e a necessidade de experiência do profissional. Para eles o domínio teórico dessa área não é o suficiente para se obter um bom desempenho. Se faz necessário associar o desenvolvimento de técnicas de projeto e de execução das fundações baseados em fundamentações teóricas com a experiência adquirida em campo através dos casos vivenciados.

Nesse mesmo pensamento, Velloso e Lopes (2010) afirmam que dentre as áreas da Engenharia Civil, a que se exige mais vivência e experiência de campo é a da Engenharia de Fundações. Vivência seriam os projetos e execuções de fundações, de variados tipos e em situações diversas, exercidos pelo profissional, onde a melhoria

ocorre através do conhecimento adquirido baseado em sua própria análise dos casos vivenciados. Já a experiência, baseia-se no conjunto dessas vivências associadas aos estudos teóricos e regulamentos que regem a profissão.

Diante das considerações dos autores acima, é possível concluir que o conhecimento empírico - aquele decorrente apenas da prática, sem a observação da teoria - pode influenciar para uma conduta não desejável acerca da prevenção de aparição de patologias. A orientação dos autores é conciliar o conhecimento técnico-teórico com a experiência vivenciada pelos profissionais em campo para assim estar melhor fundamentado em uma tomada de decisão.

Perante a relevância quando se trata de investigação do solo, a ABNT em sua NBR 6122 sugere que seja executada pelo menos a sondagem à percussão do tipo SPT, mesmo que a obra seja de pequeno ou médio porte. Para Botelho (2016) outra opção para investigar o solo seria a sondagem a trado, mas salienta que esta em muitos casos não é utilizada por motivos de preconceito. No seu entendimento, este tipo de sondagem é de fácil acesso para a maioria dos casos e se torna inviável apenas em casos onde a profundidade não é alcançada pelo equipamento, tendo em vista que o mesmo é conduzido por força humana.

Para Alonso (2010) a etapa da escolha do tipo de fundação é muito pertinente para evitar as patologias nas fundações. Considera que a fundação precisa atender requisitos técnicos e também econômicos. Procurar conhecer as obras vizinhas e ter conhecimento do carregamento que será aplicado nos elementos de fundações, também são condutas primordiais para se obter êxito na eliminação dessas ocorrências indesejáveis.

Nos entendimentos dos autores citados, no decorrer desta análise, pode-se perceber que as causas de patologias são passíveis de serem derivadas de vários processos no decorrer da obra. Por se tratar de um conjunto de etapas que envolvem diferentes profissionais, é necessário que haja uma interação entre os mesmos para que se obtenha o melhor resultado.

Segundo Botelho (2016) entre outros autores pesquisados, os recalques são eventos que ocorrem com bastante frequência e geram danos às estruturas quando ultrapassam os limites de recalques admissíveis. O solo como qualquer material que é submetido a uma força de compressão ou de tração, sofre deformações, ou seja, recalques. Portanto toda edificação sem exceção sofre recalque, pois a mesma exerce uma força sobre o solo em função do seu carregamento ocasionando essa deformidade.

Mas se toda edificação recalca quer dizer que todas irão apresentar patologias nas fundações? Para responder esse questionamento é necessário que compreendamos o conceito de tensão admissível, que nada mais é do que a máxima tensão suportada pelo solo, atendendo as condições de segurança e de utilização da edificação. Desse modo, as obras dimensionadas dentro das conformidades estabelecidas pelas normas, associadas aos cuidados no momento da execução, apresentarão sim recalques, porém estes não serão suscetíveis a aparição de patologias nas fundações.

De acordo com a NBR 6122 a tensão admissível deve ser estipulada a partir da utilização e interpretação de pelo menos um dos métodos relacionados a seguir: prova de carga de placa, métodos teóricos ou métodos semi empíricos.

Logo, as bibliografias e os métodos existentes corroboram muito quanto ao acesso à informação. Por consequência disso, é possível que o profissional tenha condições e ferramentas para se basear e desempenhar um bom trabalho com responsabilidade demonstrando assim o apreço pela profissão e pelo cliente.

Os recalques que chegam a causar danos nas edificações são os recalques que ultrapassaram os limites dos recalques admissíveis. Os recalques admissíveis são aqueles recalques mínimos aceitos pela normatização que não geram maiores danos às construções. Para estes casos, alguns autores propõem soluções geralmente voltadas ao reforço das fundações ou à reconstrução das mesmas.

Botelho (2016) relata o caso do Edifício da Companhia Paulista de Seguros, localizado no estado de São Paulo. O prédio apresentou um recalque diferencial considerável logo após a finalização da obra. Fato esse que gerou uma inclinação que assustou os proprietários do empreendimento. O edifício que fora construído sobre estacas Franki recebeu a seguinte solução: foram realizadas a instalação de nove tubulões de concreto armado com 2 m de diâmetro. Essa ação pôde ser realizada em função da utilização de macacos hidráulicos, que auxiliaram na colocação do prédio no prumo e a técnica de congelamento utilizada para congelar o solo temporariamente até que toda a execução fosse efetivada.

Um outro exemplo citado por Milititsky et al (2015) foi o de uma escola do Rio Grande do Sul construída sobre aterro com material não apropriado e sem a correta compactação. Essa conduta resultou na instabilidade da estrutura e necessitou de intervenção. A solução adotada foi a escavação e substituição do aterro por solo selecionado e realizado a devida compactação.

No caso descrito por Botelho (2015), de um centro comunitário que apresentou recalque não foi possível aplicar as soluções citadas acima. A conduta adotada foi a condenação da edificação e a reconstrução de outro centro comunitário. Chegou-se a essa conclusão pois se tratava de uma obra feita totalmente fora das condições da norma, construída sob um solo orgânico, onde anteriormente se instalava um aterro, não apresentando condições para que fosse reaproveitada. Para a nova construção foi feita a devida investigação do solo e o apropriado dimensionamento das fundações que resultaram em uma obra de qualidade sem qualquer ocorrência de manifestação patológica.

Durante o estudo verificou-se a ocorrência de outra manifestação patológica nas fundações que são as rupturas do solo ou do elemento de fundações. Essas manifestações geralmente apresentam consequências mais graves, haja vista que são repentinas e não costumam dar sinais de que irão acontecer. São casos difíceis de ocorrer, porém quando ocorrem causam grandes estragos e em algumas situações não oferecem chance para reparação.

Um exemplo de ruptura do solo é o caso de um Silo de trigo de Transcona, construído no Canadá. Essa obra foi realizada sobre uma fundação do tipo radier e sofreu em poucas horas uma inclinação considerável provocando a ruptura do solo e o colapso da obra. Mesmo com esse ocorrido a estrutura de concreto armado não foi afetada de maneira que viabilizou a reconstrução da fundação e a colocação da edificação no prumo. Um outro caso de ruptura do solo, porém com desfecho catastrófico, foi o do edifício São Luiz Rei que até teve a tentativa de reforço de fundações iniciada porém a manifestação patológica encontrava-se em processo avançado e teve como resultado seu desabamento. (CAPUTO et al, 2015)

Por fim, percebe-se que com o auxílio dos sucessivos avanços tecnológicos, a engenharia civil aprimora suas técnicas e soluções, sempre em busca de prevenir e/ou solucionar tais ocorrências. Fazendo uma análise temporal, num período aproximado de um século, desde a chegada do concreto armado e dos registros das primeiras obras de fundações realizadas no Brasil até a atualidade, pode-se observar inúmeros e valiosos avanços, tanto nas técnicas construtivas como nos equipamentos utilizados. Dessa forma, presume-se que ocorrências de manifestações patológicas no âmbito das fundações venham a diminuir, haja vista, que a ciência através do conhecimento adquirido traz o respaldo para nortear a atuação dos profissionais desta área.

9 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado foi possível verificar que a Engenharia de fundações é uma área que requer muito conhecimento teórico, assim como experiência profissional. A junção desses dois fatores corrobora para uma excelente atuação do profissional que trabalha nessa área.

Foi possível concluir através das bibliografias pesquisadas que dentre as principais causas de patologias manifestadas nas estruturas de fundações estão: as provenientes da ineficiente ou ausência da investigação do solo, as de falhas ocorridas nos processos executivos e as de erros encontrados na elaboração de projetos.

Portanto, a devida investigação do solo deve ser visto pelo profissional como requisito indispensável, tendo em vista que é fundamental conhecer o material em que irá ser construída a base da edificação, ou seja, o elemento de fundação. Esse fator influencia diretamente tanto no momento da concepção do projeto e dimensionamento da estrutura, quanto na escolha do tipo de fundação que será empregada no empreendimento, visto que as características e tensões do solo utilizado são levadas em consideração no momento do cálculo e no momento da escolha da fundação.

Outra consideração observada com a pesquisa foi que muitos problemas correspondem a falhas durante a execução do projeto. Essa etapa precisa ser muito bem alinhada com as especificações do projeto. Havendo alguma mudança no decorrer do processo, a mesma deve ser repassada ao projetista de modo que ele possa verificar se haverá alguma interferência no carregamento da estrutura, corrigindo-a a tempo de não colocar a obra em risco de colapso ou necessitar de soluções onerosas no futuro.

Considerando a intensidade como os autores enfatizaram a necessidade de vivência prática do profissional em experiência com fundações, chega-se à conclusão de que toda oportunidade que o acadêmico de engenharia civil possa vir a ter com essa aplicação é de extremo valor para sua formação.

Foram identificadas ao longo do estudo, com as bibliografias estudadas, algumas soluções para as manifestações patológicas em estruturas de fundações. Nos casos em que ainda há tempo para reparação de tais anomalias, utiliza-se de técnicas para reforçar ou em casos mais complicados reconstruir os elementos estruturais.

Contudo verificou-se que muitas dessas soluções são difíceis de serem executadas exigindo muita qualificação por parte dos profissionais. Além disso costumam apresentar custos elevados devido aos equipamentos utilizados e a demanda de maior tempo para

realização. Então, constata-se que gastos realizados com ações preventivas, isto é, com investigações do solo, contratação de equipes especializadas, aquisição de materiais de qualidade, são na verdade um investimento, tendo em vista que a deficiência de um ou mais desses fatores podem acarretar em prejuízos financeiros muito maiores ou em casos mais extremos causar prejuízos humanos com perdas de vidas.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, Urbano rodriguez. **Exercícios de fundações**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- ARAÚJO, Hermes William Pooz de. **Do papel aos pixels: pesquisa bibliográfica sobre produção gráfica dentro do Google Acadêmico**. 2016. 42 f. Monografia (trabalho de conclusão de Curso). Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/16519/1/2016_HermesWilliamAraujo_tcc.pdf>. Acesso em: 20, mai. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações: Referências**. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **NBR 8681: Ações e seguranças nas estruturas - procedimento: Referências**. Rio de Janeiro, 2003.
- BAZZO, Walter Antônio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. 2ª ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011.
- BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de fundações: passo-a-passo**. Brasília: Infrasolo, 2015.
- BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. Tradução Leda Maria Marques Dias Beck; Revisão técnica Paulo Roberto do Lago Helene. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Princípios da mecânica dos solos e fundações para a construção civil**. 2ª ed. ampl. São Paulo: Blucher, 2016.
- CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, José Martinho de Azevedo. **Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras de terra**. Volume 2. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; TSUHA, Cristina de H. C.; GIACHETI, Heraldo Luiz. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- CONSTRUFACILRJ. **Tipos de fundações de edifícios**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://construfacilrj.com.br/tipos-de-fundacoes-de-edificios/>>. Acesso em: 30, jun. 2021.
- DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução Noveritis do Brasil, revisão técnica Roberta Boszczowski. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

DELL'AVANZI, Eduardo. **Fundação mal projetada é 'raiz' de problemas**. AECWeb, [S.l.]. [2017?]. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/fundacao-mal-projetada-e-raiz-de-problemas/7942>>. Acesso em: 19, mai. 2021.

DICIO - Dicionário de língua portuguesa. **Patologia**. [S.l.]. [2021a?]. disponível em: <<https://www.dicio.com.br/patologia/>>. Acesso em: 18, mai. 2021.

_____. **Estrutura**. [S.l.]. [2021b?]. disponível em: <<https://www.dicio.com.br/estrutura/>>. Acesso em: 18, mai. 2021.

FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos solos: introdução à engenharia geotécnica**. Volume 2. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

_____. **Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais**. Volume 1. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

FERREIRA, Marielise. **Perícia aponta problemas na fundação de prédio que desabou em Erechim**. Diário Gaúcho, [S.l.]. 2011. Disponível em: <<http://amp.diariogaicho.clicrbs.com.br/rs/noticia/2011/09/pericia-aponta-problemas-na-fundacao-de-predio-que-desabou-em-erechim-3507225.html>>. Acesso em: 19, mai. de 2021.

FILHO, Artur Quaresma. **Sondagem de solo ajuda a evitar problemas de fundação**. AECWeb, [S.l.]. [2017?]. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/sondagem-de-solo-ajuda-a-evitar-problemas-de-fundacao/11828>>. Acesso em: 31, mai. 2021.

GARIBA, Gabriel. **Casa desaba e danifica outras duas residências em Mauá, na Grande SP; veja vídeo**. G1 - O portal de notícias da Globo, São Paulo. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2020/08/22/casa-desaba-em-maua-na-grande-sp-veja-video.ghtml>>. Acesso em: 17, mai. 2021.

GOTLIEB, Mauri. Reforço de fundações convencionais. *In*: HACHICH, W. et. al. **Fundações: teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

G1 - O portal de notícias da Globo. **Prédio torto de Santos (SP) é colocado na posição correta**. Santos e Região. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2011/01/predio-torto-de-santos-sp-e-colocado-na-posicao-correta.html>>. Acesso em: 17, mai. de 2021.

_____. **Novos vídeos mostram engenheiro saindo do prédio logo após desabamento; 'A síndica tá lá embaixo'**. Ceará. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2019/10/19/novo-video-mostra-funcionarios-de-empresa-de-reforma-saindo-do-predio-logo-apos-desabamento-em-fortaleza.ghtml>> . Acesso em: 17, mai. 2021.

HIBBELER, R. C. **Análise das estruturas**. Tradução Jorge Ritter; Revisão técnica Pedro Vianna. São Paulo: PEARSON education do Brasil, 2013.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos da metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

MAIA, Clóvis M. Moreira. **Estacas moldadas *in loco***. In: HACHICH, W. et. al. **Fundações: teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

MARINHO, Rodrigo. **Casa inteira desaba logo após moradores saírem por determinação da Defesa Civil**. G1 O portal de notícias da Globo, Norte Fluminense. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/norte-fluminense/noticia/2020/01/29/casa-inteira-desaba-logo-a-pos-moradores-sairem-por-determinacao-da-defesa-civil.ghtml>>. Acesso em: 17, mai. 2021.

MENEZES, Guilherme. **Por que os prédios de Santos são tortos? | 360 Explica**. Engenharia 360, [S.l]. 2021. Disponível em: <<https://engenharia360.com/por-que-os-predios-de-santos-sao-tortos/>>. Acesso em: 18, mai. 2021.

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

MISUMOTO, Matheus. **Moradores dos prédios tortos de Santos sofrem com a desvalorização**. G1 - O portal de notícias da Globo, Santos e Região. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2012/06/moradores-dos-predios-tortos-de-santos-sofrem-com-desvalorizacao.html>> . Acesso em: 18, mai. 2021.

NETO, Antônio Ferraz Dias Nápoles. Uma breve história das fundações. In: HACHICH, W. et. al. **Fundações: teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

OTANI, Nilo; FIALHO, Francisco Antônio Pereira. **TCC: métodos e técnicas**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2011.

PINTO, Carlos de Souza. Propriedade dos solos. In: HACHICH, W. et. al. **Fundações: teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

PORTAL DE INGENIERÍA CIVIL. **EL SILO DE TRANSCONA: Un caso de Estudio Geotécnico**. [S.l]. 2018. disponível em: <https://portalingenieriacivil.blogspot.com/p/articulos_4.html>. Acesso em: 15, mai. 2021.

QUARESMA, Arthur Rodrigues. **Investigações Geotécnicas**. In: HACHICH, W. et. al. **Fundações: teoria e prática**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

REFORT FUNDAÇÕES. **Sondagem de solo spt**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.refortfundacoes.com.br/sondagem-solo-spt>>. Acesso em: 30, jun. 2021.

ROMA PRA VOCÊ . **Torre de Pisa: a Torre Pendente mais famosa do mundo.** [S.l]. 2021. Disponível em: <<https://www.romapravoce.com/torre-de-pisa-italia/>>. Acesso em: 21, mai. 2021.

SA SOLUÇÕES DE ENGENHARIA. **Como realizar um Slump test.** [S.l]. 2016. Disponível em: <<http://sasolucoes.com.br/como-realizar-um-slump-test/>>. Acesso em: 30, jun. 2021.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

VARGAS, Milton. História das Fundações. *In*: HACHICH, W. et. al. **Fundações: teoria e prática.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.

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.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. Concepção de obras de fundações. *In*: HACHICH, W. et. al. **Fundações: teoria e prática.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998.