

FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA

FABIANO SANGI DE LIMA

WALTER KIEL O. JÚNIOR

**CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DE PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES
SUPERFICIAIS**

CARATINGA

2017

FABIANO SANGI DE LIMA
WALTER KIEL O. JÚNIOR
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA

**CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DE PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES
SUPERFICIAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Patologias em fundações superficiais.

Orientadora: Prof.^a Esp. Camila Alves da Silva – Engenheira Civil.

CARATINGA

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Patologias em fundações superficiais, elaborado pelo(s) aluno(s) Walter Kiel Oliveira Júnior e Fabiano Sangi de Lima foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

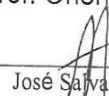
BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 6 de Dezembro de 2017



Camila Silva

Prof. Orientador



José Salvador

Prof. Avaliador 1



José Nelson

Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, depois nossos familiares e a professora Camila pela colaboração e orientação, para que este trabalho pudesse ser realizado.

Também gostaríamos de agradecer ao professor Gabriel por toda sua ajuda referente ao TCC II e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este estudo tem como foco a identificação e exemplificação das principais manifestações patológicas em fundações superficiais na construção civil. Apresentando um estudo teórico com os principais problemas referente à interação solo-estrutura, e diversas outras áreas pelo fato de ocorrência de patologias que não podem ser previstas em projetos, como execução, eventos pós-conclusão, entre outros fatores que venham causar danos às construções devido à distúrbios nas fundações. Para apresentar os mecanismos de formação, as causas e os efeitos, foram selecionadas diversas obras, com variados autores. Afim de que seja possível realizar uma identificação precisa e posteriormente traçar uma linha de prevenção e de reparo, quando a patologia é descoberta após o início da construção da fundação. Desta forma este trabalho expõe soluções para que o consumidor tenha a oportunidade de minimizar ou até mesmo erradicar o problema patológico, tornando o elemento de fundação mais seguro e assim aumentando a sua vida útil.

Palavras-chave: Fundações superficiais; patologia

ABSTRACT

This study focuses on the identification and exemplification of the main pathological manifestations in superficial foundations in civil construction. This paper presents a theoretical study with the main problems related to soil-structure interaction, and several other areas due to the occurrence of pathologies that cannot be predicted in projects, such as execution, post-completion events, among other factors that may cause damage to buildings due to disturbances in foundations. In order to present the mechanisms of formation, causes and effects, several works were selected, with several authors. So that it is possible to carry out a precise identification and later to draw a line of prevention and repair, when the pathology is discovered after the beginning of the construction of the foundation. In this way this work exposes solutions so that the consumer can minimize or even eradicate the pathological problem, making the foundation element safer and thus increasing its useful life.

Keywords: Superficial foundations; pathology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fluxograma das etapas de projetos e possíveis causas de patologias	18
Figura 2 Principais tipos de fundações superficiais	20
Figura 3 <i>Radiers</i>	22
Figura 4 <i>Radier</i> : Podem ser executado pelo sistema de laje de concreto (flexível) e/ou sistema de lajes e vigas de concreto (sistema rígido)	23
Figura 5 Sapatas	23
Figura 6 Sapata de divisa com viga alavancada	24
Figura 7 Blocos de fundação	25
Figura 8 Blocos de fundação	25
Figura 9 (a) Sapata associada, (b) Escolha das dimensões da sapata	27
Figura 10 Sapatas isoladas distorcidas no lugar de uma sapata associada	28
Figura 11 Armaduras, bielas de compressão e fissuração na sapata corrida	29
Figura 12 Vigas de fundação	30
Figura 13 Pressões de contato e diagrama de momentos fletores em uma viga (a) sem e (b) consideração de sua flexibilidade.....	31
Figura 14 Fundação em grelha.....	32
Figura 15 Classificação da patologia referente à espessura da abertura	33
Figura 16 Recalque diferencial	34
Figura 17 Migração do solo	35
Figura 18 Bulbo de pressões.....	38
Figura 19 Efeito de fundações próximas	39
Figura 20 Superposição de pressões e recalques adicionais na edificação antiga devido à (A) construção de grande porte; (B) estocagem de materiais pesados junto a prédios existentes em fundações superficiais; (C) fundações superficiais.....	40
Figura 21 Deficiência na investigação geotécnica.....	41

Figura 22 Ocorrências de matacões associados com investigações insuficientes pode ser confundida com perfil de rocha contínua-42	
Figura 23 Influência da vegetação na ocorrência de fissuras.....	43
Figura 24 Solos colapsíveis estudados no Brasil	45
Figura 25 Curvas versus $\log \sigma_v$ do ensaio edométrico simples.....	46
Figura 26 Curvas versus $\log \sigma_v$ obtidas no ensaio edométrico duplo	47
Figura 27 Curvas versus $\log \sigma_v$ ajustadas	47
Figura 28 Aspecto do empastilhamento em sedimentos constituídos por argilo-minerais do grupo das esmectitas.....	49
Figura 29 Aspecto de um relevo cárstico	50
Figura 30 Morfologia das áreas cársticas.....	51
Figura 31 Desenvolvimento de colapso de solo	51
Figura 32 Provável fissuramento de edificação assente em aterro	53
Figura 33 Afundamento em fundação superficial	54
Figura 34 Recalque diferencial provocado pelo rebaixamento do lençol freático	55
Figura 35 Evolução do leito do rio ao longo de trinta anos, mostrando o solapamento ocorrido	56
Figura 36 Escavações próximas de fundações superficiais	57
Figura 37 Fundações diretas executadas sobre canalizações	58
Figura 38 (A) Situação de corte e aterro com as fundações assente na mesma cota; (B) Fundações diretas apoiadas em solos com características diferentes.....	59
Figura 39 Execução com geometria incorreta: casos de obras correntes	60
Figura 40 Fissuras em estruturas de concreto devido a recalque no pilar central....	62
Figura 41 Fissuras devido a recalque de pilar de extremidade	63
Figura 42 Esquema de substituição de sapatas por tubulões	74
Figura 43 Sapata isolada sendo substituída por fundação profunda.....	74
Figura 44 Processo de Submuração	75

Figura 45 Enrijecimento da estrutura.....	76
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios37

Tabela 2 Espécies das árvores e efeitos observados de danos em fundações.....43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Propriedades dos principais grupos de argilo-minerais	48
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CG	Centro de carga
As	Área de aço
Δu	Acréscimo de poropressão
Δ	Distorção angular
Δ	Recalque diferencial
L	Distância entre os elementos
Σv	Pressão aplicada
Log	Logaritmo
CTC	Capacidade de troca de cátions
ELU	Estado limite último
ELS	Estado limite de serviço
RAA	Reação álcali-agregado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização.....	16
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivo geral	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Estrutura do trabalho.....	19
2 FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS	20
2.1 Considerações iniciais.....	20
2.2 Principais tipos de fundações superficiais	21
2.2.1 <i>Radier</i>	21
2.2.2 Sapata	23
2.2.3 Bloco.....	24
2.2.4 Sapata associada	26
2.2.5 Sapata corrida	28
2.2.6 Viga de fundação.....	29
2.2.7 Grelha.....	31
2.3 Problemas patológicos mais comuns.....	32
2.3.1 Tipos de recalques	33
2.3.2 Fissuração	36
3 PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS: CAUSAS E DANOS GERADOS	38
3.1 Causas de recalques.....	38
3.1.1 Superposições de pressões	38
3.1.2 Insuficiência na investigação geotécnica.....	40

	14
3.1.2.1 Matacões	41
3.1.2.2 Influência da vegetação	42
3.1.2.3 Solos colapsíveis	44
3.1.2.4 Solos expansivos	48
3.1.2.5 Zona cársticas	50
3.1.3 Fundações sobre aterros	52
3.1.4 Alteração da função da estrutura	53
3.1.5 Rebaixamento de lençol freático	54
3.1.6 Erosão ou solapamento	55
3.1.7 Escavações próximas a fundações	57
3.1.8 Outros fatores que podem provocar recalques	58
3.2 Danos devido aos deslocamentos das fundações	61
3.3 Causas da fissuração das fundações em concreto	64
3.3.1 Erros de execução	64
3.3.2 Deterioração do concreto	65
3.4 Danos devido à fissuração das fundações	67
3.4.1 Redução da capacidade de carga ou colapso do elemento estrutural	67
3.4.2 Redução da capacidade de carga ou colapso do elemento estrutural	70
3.4.3 Infiltração de água	70
4 CONTROLE, REPARO E RECUPERAÇÃO	72
4.1 Controle de recalques e de verticalidade	72
4.2 Estabilização de recalque	73
4.3 Reforço de fundação	74
4.4 Casos reais	77
4.4.1 Torre de Pisa	77
4.4.1.1 Descrição do problema e tipos de solo	78

	15
4.4.1.2 Soluções adotadas	78
4.4.2 Orla de santos	80
4.4.2.1 Descrição do problema e tipo de solo.....	80
4.4.2.2 Causas prováveis	80
4.4.2.3 Renivelamento com sobrecarga	81
5 CONCLUSÃO	83
6 REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As fundações possuem a função de receber o carregamento das superestruturas e transmiti-los de modo seguro ao solo. Podem-se dividir as fundações em dois grupos: fundações superficiais e fundações profundas. Essa classificação, segundo Cintra, Aoki e Albiero (2011), têm por parâmetro a profundidade da base do elemento de fundação.

Segundo Velloso e Lopes (2004), o critério da profundidade está relacionado com a ruptura do solo na interação solo/fundação, considerando superficiais as fundações cuja ruptura de base surge na superfície do terreno.

Outro aspecto que se leva em consideração para classificar as fundações é o modo de transmissão do carregamento vindo da estrutura para o solo. A partir desse parâmetro têm-se: fundações diretas e fundações indiretas (CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2011).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, pela norma ABNT NBR 6122:2010 “Projetos e execução de fundações” definem fundação superficial ou rasa, como aquela que transmite a carga pela tensão distribuída na base do elemento de fundação e que apresenta profundidade de assentamento inferior ao dobro da menor dimensão do elemento.

Ainda conforme a ABNT NBR 6122:2010 fundações profundas são aquelas que transmitem as cargas por resistência de ponta e/ou por resistência de fuste, e que também apresentem profundidade de assentamento superior a duas vezes a menor dimensão do elemento e no mínimo 3 metros.

Neste trabalho o foco são as fundações superficiais, tendo como conceito o estabelecido pela ABNT NBR 6122:2010. Em fundações superficiais estão incluídas as sapatas, blocos, *radier*, sapatas associadas, vigas de fundação e sapatas corridas.

As fundações, assim como demais elementos estruturais estão suscetíveis à manifestação de patologias, sejam por falhas no projeto, na execução ou por

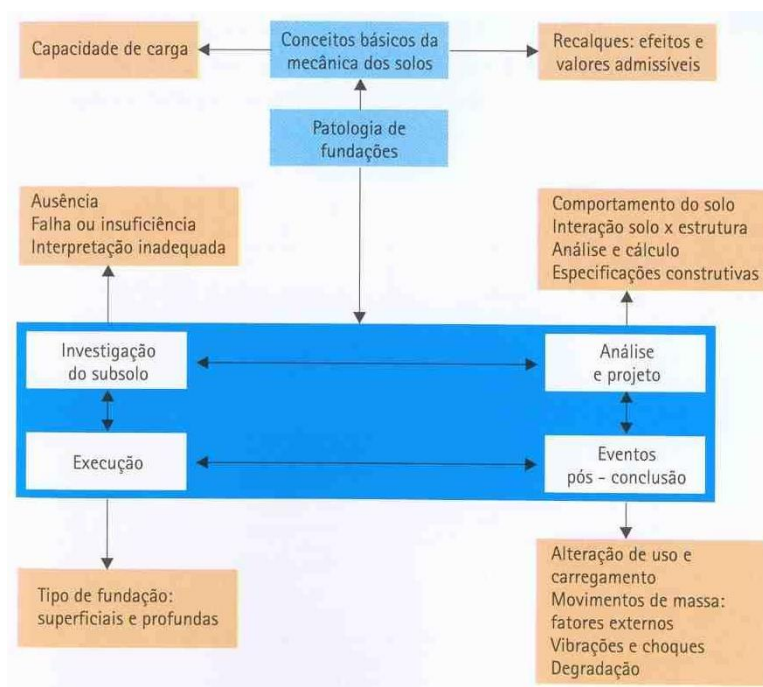
utilização e falta de manutenção. As patologias comprometem a segurança, estabilidade, desempenho e durabilidade da construção.

Falhas de projetos e de construções levam a formação de patologias em diversos setores de uma construção, entre eles encontram-se as patologias em fundações superficiais. Após a manifestação do problema, é necessário um diagnóstico detalhado para identificar os mecanismos de formação e quais consequências tais problemas trará para a estrutura. Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2008) as patologias podem se originar em qualquer etapa do processo construtivo.

Inúmeros são os problemas patológicos encontrados em uma construção, mas nesse trabalho têm-se como objetivo direcionar o foco para as fundações superficiais, que segundo Capello *et al.* (2010) podem apresentar patologias por diversos fatores tais como: ausência ou falha na investigação do solo, patologias envolvendo o comportamento do solo, pelo desconhecimento de qual fundação é realmente necessária para a estrutura, falhas envolvendo as especificações construtivas, entre outros fatores.

Segundo Velloso e Lopes (2004) o surgimento das patologias em fundações superficiais gera danos arquitetônicos, estruturais e funcionais. Ocasionalmente ocasionando prejuízos financeiros e em casos mais sérios colocando vidas em riscos. Na figura 1 é possível observar algumas etapas na realização de um projeto e possíveis patologias que podem vir a ocorrer nas fundações.

Figura 1 Fluxograma das etapas de projetos e possíveis causas de patologias.



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI e SCHNAID (2008).

Por esse motivo a necessidade de fazer um estudo científico direcionado às patologias das fundações, visando identificar quais são as principais anomalias em fundações superficiais e quais as formas de reparar de forma econômica e que diminuam o atraso no andamento da obra, sem prejudicar a resistência da estrutura.

O presente trabalho tem por metodologia a revisão bibliográfica, que se direcionou na busca por identificar quais são as principais patologias e os mecanismos de formação em fundações superficiais, abrangendo artigos com resultados de pesquisas, pontos de vista diversificados de autores, livros técnicos, etc.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Apresentar as causas e mecanismos de formação das patologias mais comuns em fundações superficiais, bem como processos de recuperação e práticas que evitam as manifestações patológicas nesses elementos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar e apresentar os tipos de fundações superficiais;
- Apresentar as causas e mecanismos de formação das patologias mais comuns nas fundações superficiais;
- Apresentar procedimentos de intervenção para recuperação das fundações superficiais;
- Abordar práticas de projeto e construção que evitem a manifestação de patologias em fundações superficiais.

1.3 Estrutura do trabalho

Capítulo 1. Trata-se do capítulo introdutório onde se apresenta a contextualização do tema de estudo. Apresenta também os objetivos e a estrutura da monografia.

Capítulo 2. Abordam-se os conceitos inerentes a Fundações Superficiais. Descreve-se os tipos de fundações constituintes e as particularidades de cada uma.

Capítulo 3. Discorre-se neste capítulo sobre causas e mecanismos de formação de patologias em elementos de fundação superficial.

Capítulo 4. Aborda-se técnicas para recuperação e intervenções necessárias a cada tipo de patologia, encontrada em Fundações Superficiais.

Capítulo 5. Este capítulo é reservado para práticas de como evitar tais patologias em Fundações Superficiais.

Capítulo 6. Este capítulo é reservado às conclusões e considerações finais deste trabalho.

2 FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

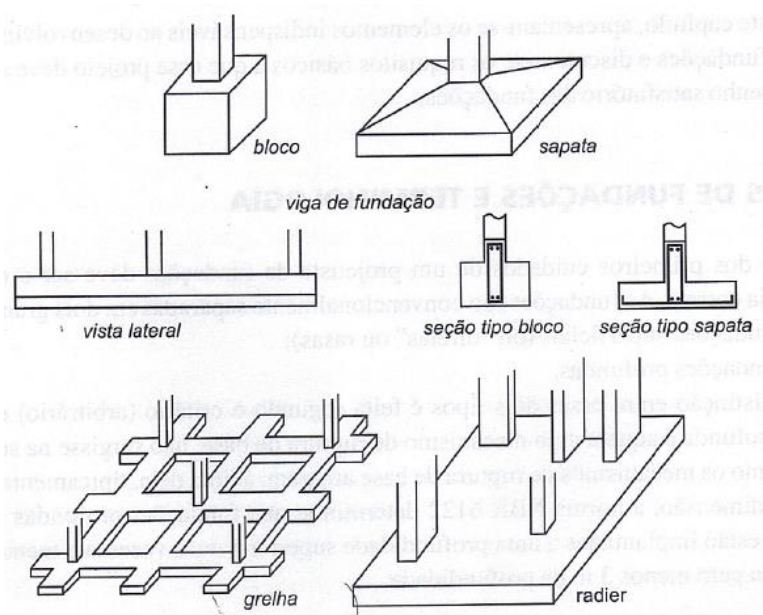
2.1 Considerações iniciais

De acordo com Rebello (2008), quando a carga da superestrutura é transmitida logo na primeira camada de solo, o elemento de fundação utilizado são as fundações superficiais (também conhecidas como diretas ou rasas). Para que isto seja possível o solo necessita possuir resistência necessária para suportar o carregamento da superestrutura, nesta primeira camada.

Segundo a ABNT NBR 6122:2010, fundação superficial é aquela que transmite o carregamento de uma superestrutura, através das tensões distribuídas sob a base da fundação, e que a profundidade de locação seja até duas vezes a menor dimensão da fundação em planta.

Os tipos mais comuns de fundações superficiais são sapatas, blocos, radier e grelha. As sapatas se subdividem em outros tipos conforme particularidades apresentadas. Na Figura 2 podem ser vistos exemplos de fundações superficiais.

Figura 2 Principais tipos de fundações superficiais



Fonte: VELLOSO e LOPES (2004).

Na construção civil é o tipo de fundação mais econômica e simples de ser executada, por não necessitar de nenhuma aparelhagem sofisticada e pela facilidade de locação.

2.2 Principais tipos de fundações superficiais

2.2.1 *Radier*

De acordo com a ABNT NBR 6122: 2010 *radier* é um elemento de fundação superficial que liga parte ou todos os pilares de uma obra, é constituído por uma espécie de laje, de concreto armado.

Segundo Velloso e Lopes (2004), a expressão *radier* só deve ser usada, quando um elemento de fundação superficial recebe todos os pilares de uma obra. Quando o elemento de fundação recebe apenas parte dos pilares, deve ser nomeado de sapata associada. Referente ao ponto de vista de projeto, os dois tipos de fundação podem ser tratados da mesma forma.

Velloso e Lopes (2004) ressaltam que deve ser adotada uma fundação *radier* quando:

- A área das sapatas forem muito próximas e/ou chegarem a se interpenetrarem (ocorrência devido a cargas elevadas nos pilares e/ou de tensões de trabalho baixas);
- For desejado fazer a uniformização dos recalques (é feito através de uma fundação associada).

De acordo com Velloso e Lopes (2004) adota-se o *radier*, quando a área total das sapatas for maior que a metade da área construída.

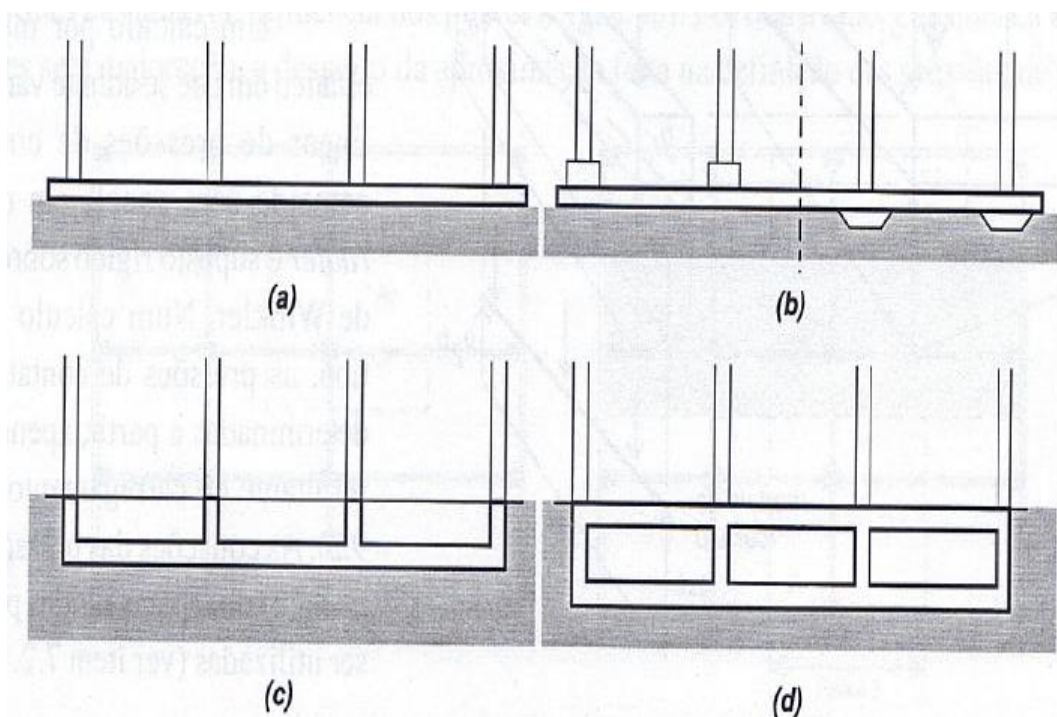
Os *radiers* podem ser projetados de quatro formas ou sistemas estruturais. Como e apresentado na Figura 3.

- *Radiers* lisos;
- *Radiers* com pedestais ou “cogumelos”;
- *Radiers* nervurados;

- *Rádies* em caixão.

Os tipos estão em ordem crescente referente à rigidez relativa. Outro tipo de *radier* é os com abóbadas invertidas, mas este é muito pouco usado no Brasil, Velloso e Lopes (2004).

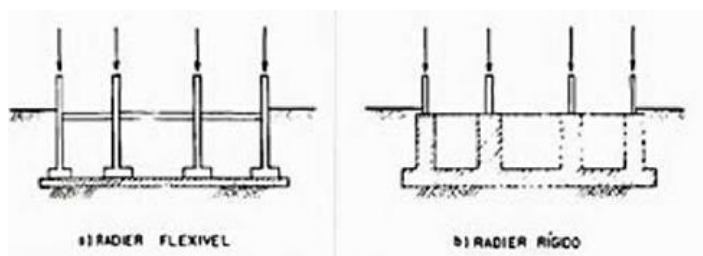
Figura 3 *Rádies*: (a) lisos, (b) com pedestais ou lajes em “cogumelos”, (c) nervurados (vigas invertidas) e (d) em caixão



Fonte: VELLOSO E LOPES, (2004).

De acordo com Hachich *et al.* (1998), devido à utilização de grandes volumes de concreto armado, o custo para a realização de um *radier* geralmente é muito elevado e de difícil execução em áreas urbanas confinadas, o que leva a pouca utilização desta fundação. Vargas (1953) *apud* Hachich *et al.* (1998), apresenta um exemplo de *radier* flexível, ao mencionar as características do edifício do Banco do Brasil no centro da cidade de São Paulo. Na Figura 4 é mostrado à diferença entre *radier* rígido e flexível.

Figura 4 Radier: Podem ser executado pelo sistema de laje de concreto (flexível) e/ou sistema de lajes e vigas de concreto (sistema rígido)



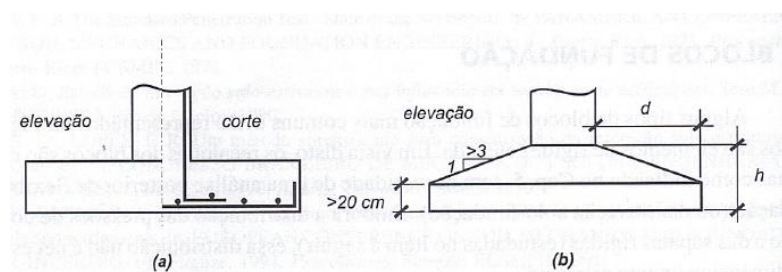
Fonte: HACHICH et al. (1998).

2.2.2 Sapata

De acordo com a ABNT NBR 6122:2010, sapata é um elemento de fundação superficial, constituído por concreto armado, projetado de forma que as armaduras suportem as tensões de tração, que já são acrescentadas na execução das sapatas com este determinado fim.

Velloso e Lopes (2004) ressaltam que pelo motivo das sapatas serem formadas por concreto armado, necessita de menos concreto que os blocos por isso têm uma altura menor, pelo fato de a armadura ajudar na resistência contra a tração. E informam que as sapatas podem ter variação de altura, como pode ser observado na figura 5. E que a utilização de variação de altura possibilita uma economia relevante de concreto em sapatas maiores. As sapatas podem ter diversas formas em planta, desde retângulo e círculos a polígonos irregulares.

Figura 5 Sapatas: (a) de altura constante e (b) de altura variável

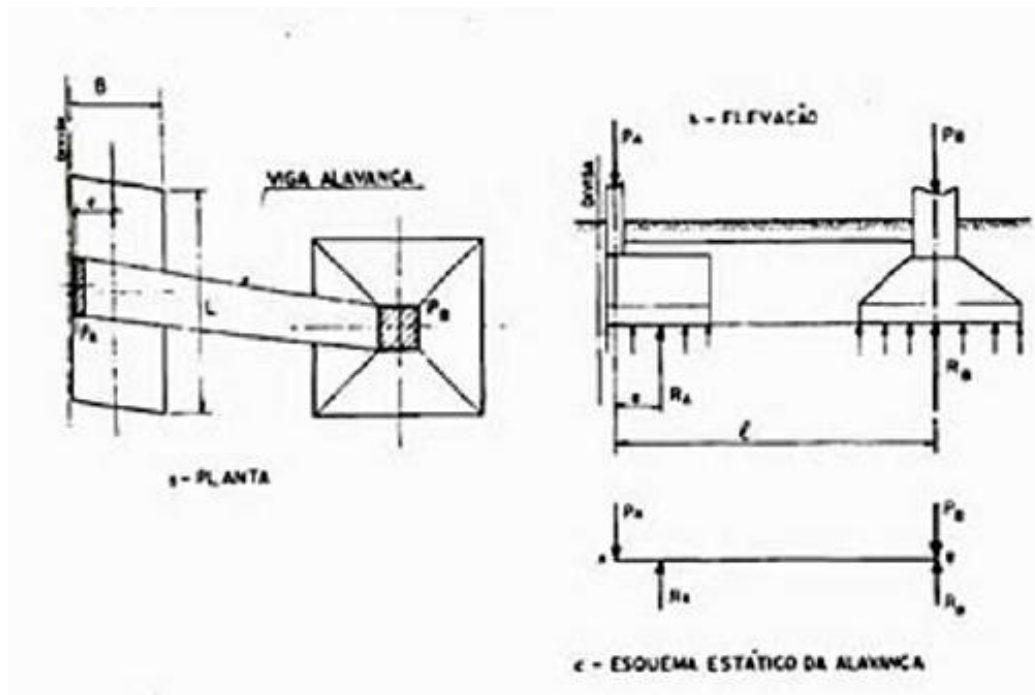


Fonte: VELLOSO E LOPES (2004)

Hachich *et al.* (1998), observa que em casos de pilares locados em divisas, ou encostado ao alinhamento de uma calçada, não tem como projetar uma sapata

centrada no pilar, então é necessário que seja feita uma viga de equilíbrio (viga alavancada), para que seja corrigida a excentricidade que será formada, como mostra a Figura 6.

Figura 6 Sapata de divisa com viga alavancada



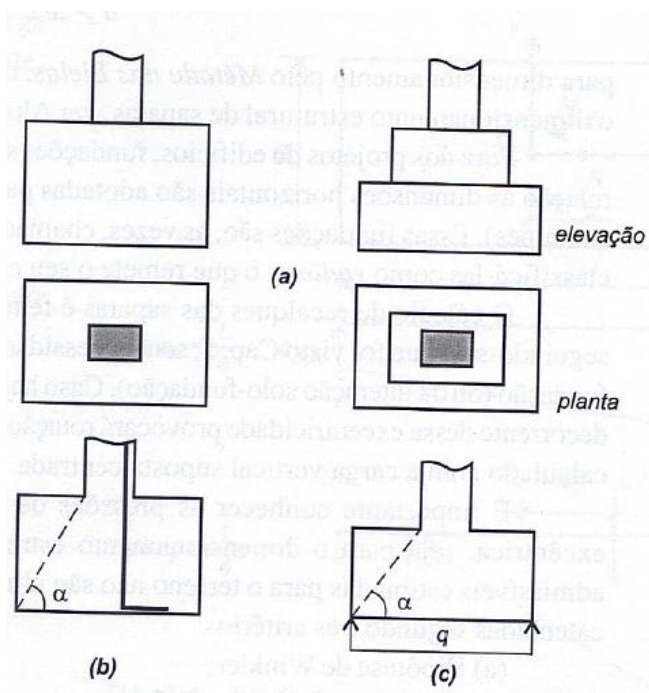
Fonte: HACHICH *et al.* (1998).

2.2.3 Bloco

Segundo a ABNT NBR 6122:2010, bloco é um elemento de fundação superficial, constituído apenas de concreto, dimensionado de forma que o concreto resista a toda tensão de tração, sem que haja a necessidade da adoção de armaduras. Na Fig. 7 estão representados alguns tipos de blocos mais comuns.

Velloso e Lopes (2004) ressaltam que os blocos são elementos de fundações superficiais com valor de rigidez elevada. Em decorrência deste fator, os recalques para blocos são calculados de forma normal como indica a ABNT NBR 6122:2010, não sendo necessário um detalhamento de flexibilidade da fundação (ou referente à interação solo-fundação). Apesar de que a divisão das pressões de contato seja igual a das sapatas rígidas, não é necessário que seja realizado um dimensionamento estrutural.

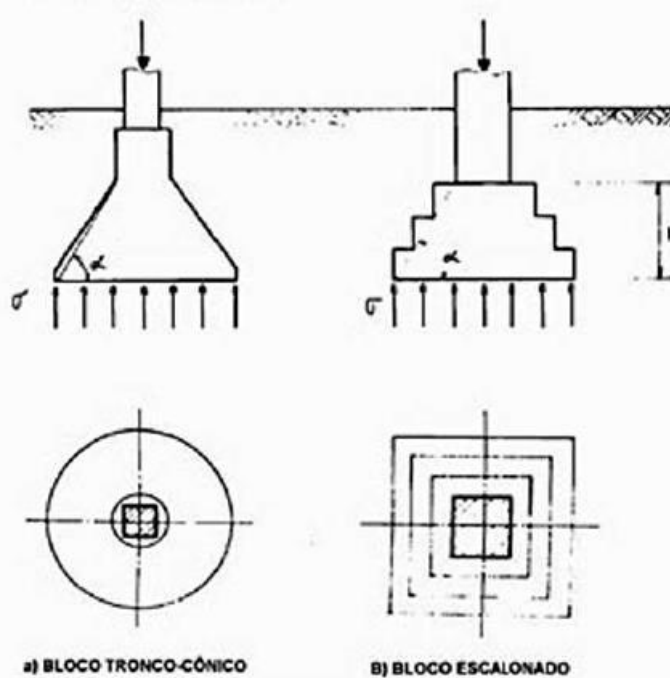
Figura 7 Blocos de fundação



Fonte: VELLOSO E LOPES (2004).

Segundo Hachich *et al.* (1998), geralmente os blocos possuem formas de um bloco escalonado, ou pedestal, ou um tronco de cone, como mostra a Figura 8.

Figura 8 Blocos de fundação: (a) tronco-cônico, (b) escalonado



Fonte: HACHICH *et al.* (1998).

Os blocos com o formato de tronco de cone, ainda não tem o reconhecimento como tais, geralmente são muito utilizados, resumindo-se na verdade em tubulões a céu aberto curtos. A altura de um bloco é calculada de forma que toda a tensão de tração que irá atuar no concreto, seja absorvida pelo mesmo, sem necessidade a armação do piso da base, Hachich *et al.* (1998).

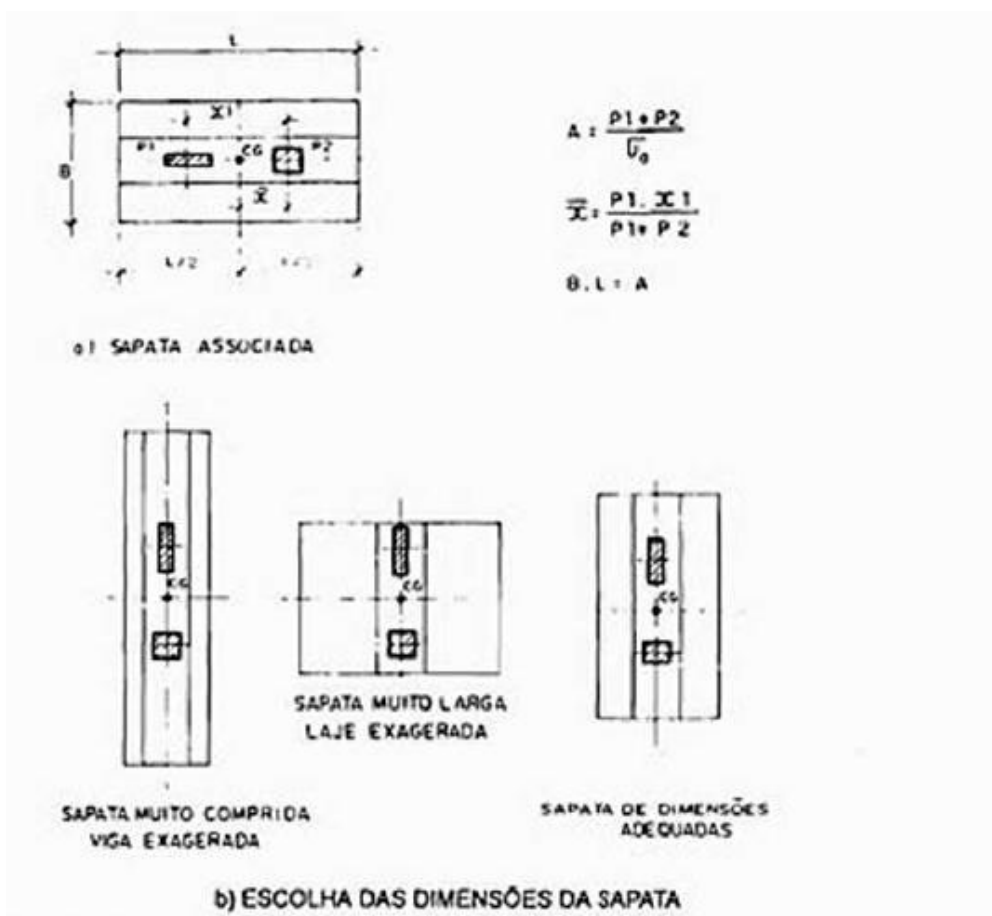
2.2.4 Sapata associada

De acordo com a ABNT NBR 6122:2010, sapata associada é a fundação que abrange mais de um pilar.

Velloso e Lopes (2004) acrescenta que uma sapata associada é um elemento de fundação superficial que abrange apenas parte dos pilares de uma obra, o que a difere do *radier* (que recebem todos os pilares sendo assim por uma única vez ou divididos em duas seções), e estes pilares não necessitam estar alinhados, o que a difere da viga de fundação.

De acordo com Hachich *et al.* (1998), é necessário a utilização de sapatas associadas que recebem cargas de dois ou mais pilares como mostra a Figura 9a, quando o carregamento estrutural for muito alto em relação à tensão admissível, tornando geralmente impossível projetar sapatas isoladas para cada pilar. Quando for necessária a execução deste tipo de fundação, ela será centralizada no centro do carregamento dos pilares, partindo-se então à realização de cálculo das dimensões, de forma que seja obtida uma maneira de equilibrar as proporções da viga de rigidez e os balanços da laje, indicado na Figura 9b.

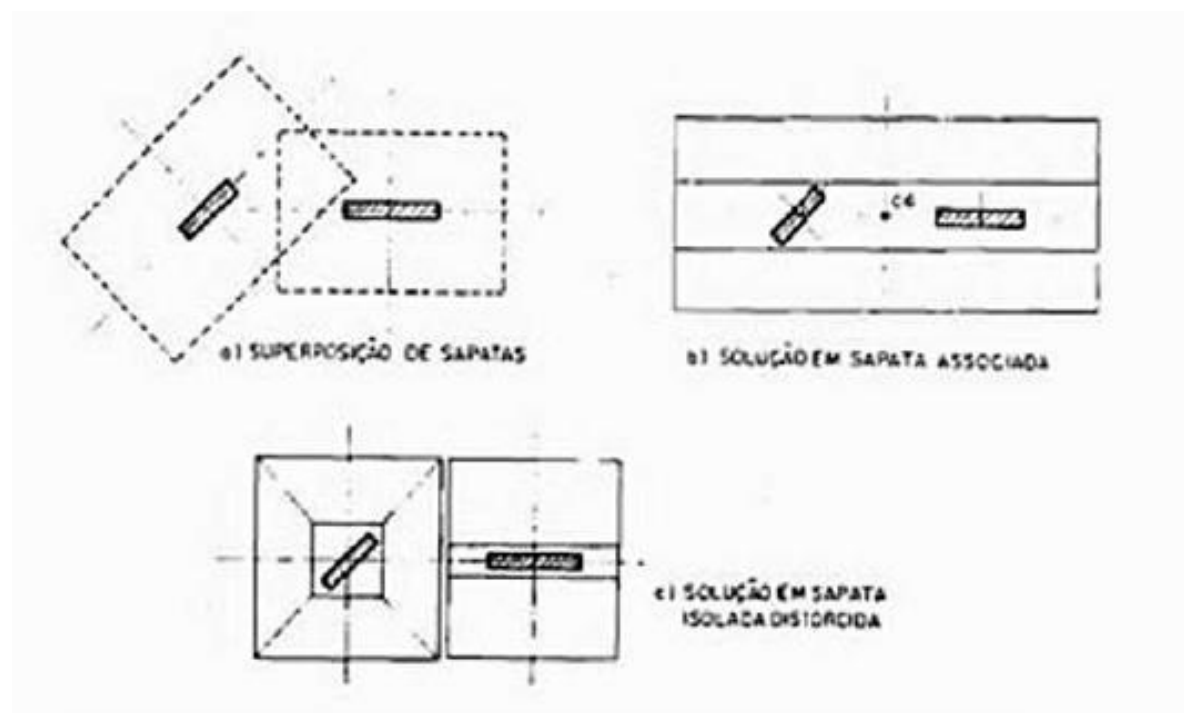
Figura 9 (a) Sapata associada, (b) Escolha das dimensões da sapata



Fonte: HACHICH *et al.* (1998).

Deve-se evitar o uso da sapata associada, quando possível a utilização da sapata isolada, mesmo que necessário realizar a distorção do formato da sapata, como representado na Figura 10. Concomitantemente, é melhor utilizar duas sapatas isoladas, que serão mais econômicas e terão maior facilidade em execução, do que uma única sapata associada, Hachich *et al.* (1998).

Figura 10 Sapatas isoladas distorcidas no lugar de uma sapata associada



Fonte: HACHICH *et al.* (1998).

Hachich *et al.* (1998), explica que conforme a aglomeração de carga aumenta, diminui a liberdade para escolha do tipo de dimensão das sapatas para realizar a execução. O que leva a problemas, como qual sapata pode ser realizada a execução, pois é preciso que elas caibam dentro da área disponível reservado para a fundação. Sapatas associadas que recebem o carregamento de três ou mais pilares então, poderão ter a necessidade de ser executadas. Tendo que respeitar sempre se houver coincidência de CG da sapata com o centro de carga dos pilares envolvidos.

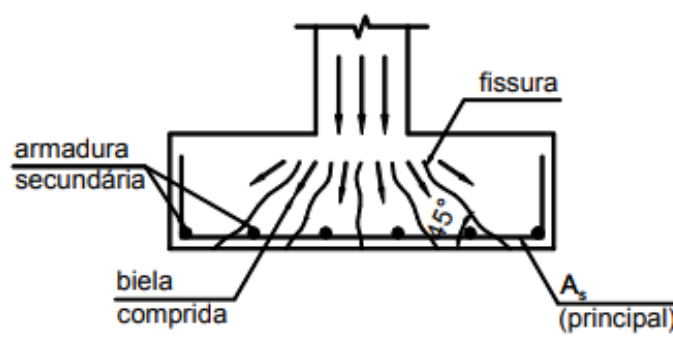
2.2.5 Sapata corrida

Segundo a ABNT NBR 6122:2010, sapata corrida é um elemento de fundação superficial, que está sujeita a ações de cargas linearmente distribuídas ou por cargas de pilares que estejam distribuídos em um mesmo alinhamento. Velloso e Lopes (2004) acrescentam que ela também é conhecida pelo nome de baldrame.

De acordo com Bastos (2016), sapatas corridas são aquelas destinadas a receber os carregamentos linearmente distribuídos, tendo por tanto uma dimensão que prevalece sobre as demais. Da mesma forma que as sapatas isoladas são classificadas em rígidas ou flexíveis, classifica-se as corridas.

Como as bielas de compressão são difíceis de serem executadas, ocorrem tensões de ligação elevadas na armadura principal “As”, como está representada na figura 11 que podem ocasionar rupturas de ligação e ruptura do concreto que realiza o cobrimento por fedilhamento, para evitar este tipo de problema é necessário reduzir os diâmetros das barras e espaçamentos. Nas sapatas corridas flexíveis, tem-se a extrema necessidade de verificar as rupturas provocadas por punção (Bastos, 2016).

Figura 11 Armaduras, bielas de compressão e fissuração na sapata corrida

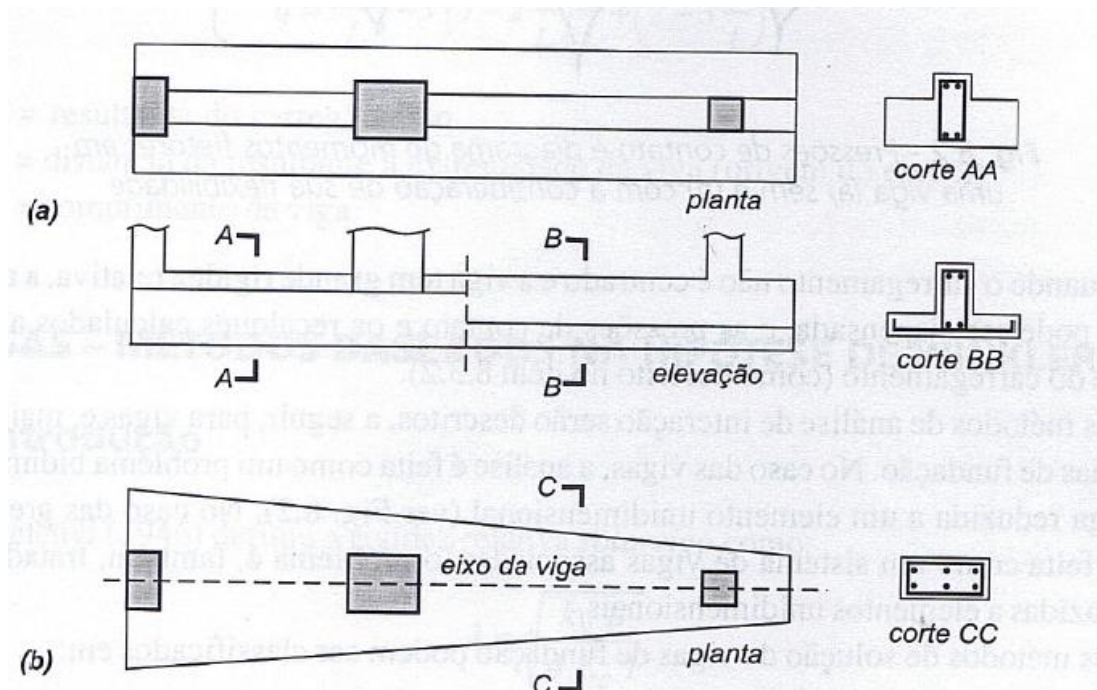


Fonte: BASTOS (2016).

2.2.6 Viga de fundação

Segundo Velloso e Lopes (2004), viga de fundação é um elemento de fundação superficial, que abrange vários pilares, e seu centro em planta estão situados em um mesmo alinhamento. A figura 12 apresenta algumas soluções de elemento de fundação (que abrange três pilares, no caso) que são denominadas vigas de fundação.

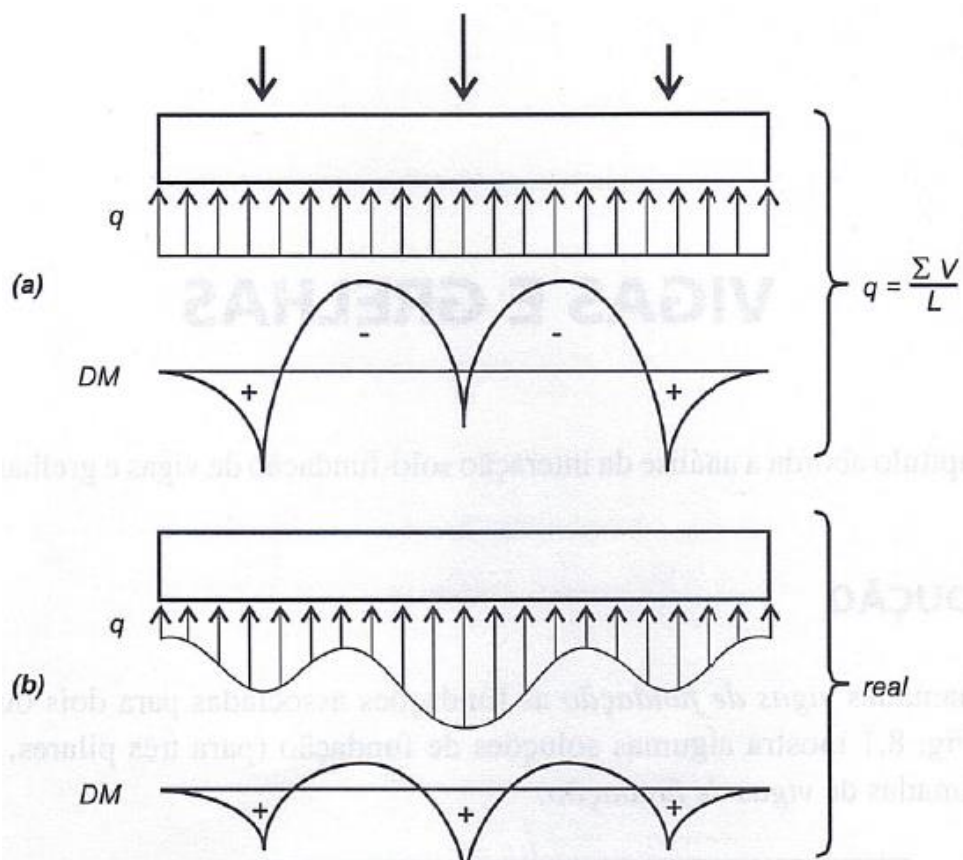
Figura 12 Vigas de fundação: (a) com largura constante e enrijecimento longitudinal (com alternativa de seção transversal tipo bloco ou tipo sapata) e (b) de largura variável e topo plano



Fonte: VELLOSO E LOPES (2004).

Velloso e Lopes (2004) ainda explicam que, levando em conta a rigidez de uma viga de fundação, se este valor for grande (quando comparado à rigidez do terreno) e/ou quando a carga é concentrada (a solicitação do carregamento passa pelo CG da área de contato), será distribuído de forma uniforme, ao longo de toda a viga o mesmo valor de recalque. Neste caso, os cálculos de recalques devem levar em consideração, os esforços internos, que podem ser encontrados a partir de pressões de contato uniformes. Normalmente este é um caso particular. Geralmente, as vigas de fundação possuem flexibilidade que, levando-se em conta nos cálculos, podem ocorrer esforços internos diferentes, ao mesmo tempo em que gera recalques desiguais (ver Figura 13). Não é possível dizer, se os diagramas de esforços internos, referentes às vigas rígidas são a favor ou contra a segurança. Em casos específicos assim, é necessário a realização de um detalhamento de interação solo-fundação, levando em conta a flexibilidade da viga.

Figura 13 Pressões de contato e diagrama de momentos fletores em uma viga (a) sem e (b) consideração de sua flexibilidade



Fonte: VELLOSO E LOPES (2004)

Quando a transmissão do carregamento não é centrado e a viga tem valor de rigidez relativamente elevado, o detalhamento de interação pode ser desconsiderado, e realizado os cálculos de pressão de contato e recalques a partir da resultante de carregamento (Velloso e Lopes (2004)).

2.2.7 Grelha

De acordo com Velloso e Lopes (2004), grelha é um elemento de fundação superficial, que é constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares. E podem ser calculadas de duas maneiras, cálculo rigoroso e cálculo aproximado. Na Figura 14 é mostrado um exemplo de fundação em grelha.

Figura 14 Fundação em grelha

Disponível em: <http://www.fundasolos.com.br/project/grelhas/>, acessado em: 16 de outubro de 2017.

2.3 Problemas patológicos mais comuns

Velloso e Lopes (2004) afirmam que ocorre em todo tipo de fundação os deslocamentos verticais (recalques), horizontais ou rotacionais, de acordo com a solicitação a que está exposta. Esses deslocamentos são diretamente proporcionais a interação solo-estrutura. E esses deslocamentos dependendo do seu nível, ocasionam na estrutura, desde uma simples redistribuição de carregamento até o colapso. São indispensáveis que sejam distinguidos os danos causados a elementos estruturais dos provocados em alvenaria, divisórias e acabamentos.

Segundo Oliveira (2012), os recalques ocorrem a partir do deslocamento vertical para baixo suportado pela base do elemento de fundação referente à superfície do terreno. Esse tipo de patologia ocorre devido à deformação do solo oriundo da solicitação do carregamento ou acarretado pelo peso próprio das camadas onde estão assentados os elementos de fundação. Oliveira (2012) ainda ressalta que o recalque ocorre devido ao rebaixamento de uma edificação provocado pelo adensamento do solo onde está apoiado o elemento de fundação, e

que se esse recalque não ocorrendo em toda a estrutura é chamado de recalque diferencial.

Outras patologias que geralmente são ocasionadas pelo elemento de fundação que Oliveira (2012) também destaca são as fissuras, trincas e rachaduras, geralmente são observadas em alvenaria, vigas, pilares, lajes, pisos e em outros ambientes, normalmente são provocados por tensões geradas nos materiais. Quando ocorre a sobrecarga nos materiais, provocando uma solicitação maior que a prevista em projeto, ocorre falhas que se desenvolvem em aberturas, e que conforme sua espessura é classificada em fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha. Essa classificação pode ser observada na figura 15.

Figura 15 Classificação da patologia referente à espessura da abertura

Denominação	Abertura da fissura (mm)
Fissura capilar	Menos de 0,2 mm
Fissura	0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	1,5 mm a 5,0 mm
Fenda	5,0 mm a 10,0 mm
Brecha	Mais de 10,0 mm

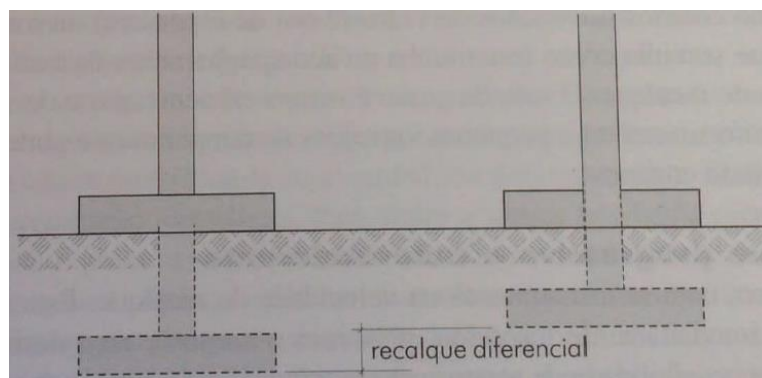
Fonte: Oliveira (2012) retirou a imagem da página do site do professor Adriano de Paula e Silva, UFMG.

Fatores que podem ocasionar a patologia do tipo fissuras são: movimentação térmica; movimentação higroscópica, devido à atuação de sobrecargas, relacionado à deformação excessiva de estruturas, o principal caso é por recalque dos elementos de fundação ou até mesmo em casos mais raros pelo fato de alteração química. Oliveira (2012) enfatiza que a patologia do tipo trinca, rachadura, fenda ou brecha, são ocasionadas pelos mesmos fatores que as fissuras o que as diferenciam são suas espessuras, que também as tornam mais graves.

2.3.1 Tipos de recalques

Santos (2014), quando ocorre o deslocamento vertical em um elemento de fundação, é disposto um recalque absoluto. É denominado recalque quando ocorre a deformação do solo devido à aplicação de cargas (Rebello, 2008). Recalque diferencial é quando ocorrem recalques absolutos diferentes entre dois elementos de fundação (Santos, 2014), como mostra a figura 16.

Figura 16 Recalque diferencial



Fonte: REBELLO (2008)

Alonso (1991) diz que recalques diferenciais específicos instituem distorções na estrutura que podem provocar o surgimento de fissuras. Rebello (2008) ainda comenta que em casos extremos de recalques diferenciais, podem provocar danos gravíssimos como a ruína parcial ou total da estrutura.

Santos (2014) indica que o recalque diferencial específico, que também é denominado distorção angular (δ), é determinado por:

$$\delta = \frac{\text{recalque diferencial}}{\text{distância entre os elementos}} = \frac{\Delta}{l}$$

1)

Onde:

δ = Distorção angular

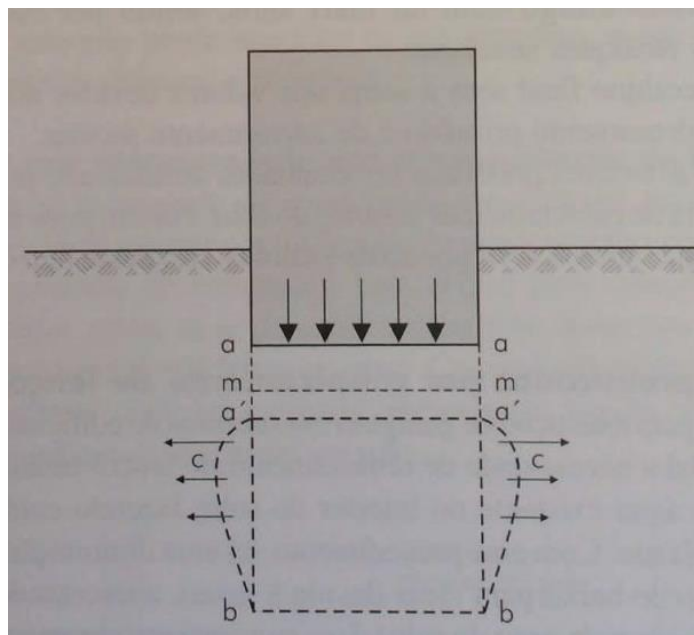
Δ = Recalque diferencial

L = Distância entre os elementos

Segundo Caputo (2012), podem ser encontrados três tipos diferentes de recalques devido ao carregamento elástico: por deformação elástica; escoamento lateral e adensamento.

Rebello (2008), diz que o recalque elástico ocorre assim que é aplicado o carregamento no solo e tem maior desenvolvimento em solos não coesivos, sendo assim, solos que não são argilosos. Segundo Teixeira e Godoy (1998), devem ser considerados em um recalque imediato a rigidez da fundação, sua forma, profundidade e espessura da camada de solo que irá se deformar. Já recalques por escoamento lateral de acordo com Rebello (2008), ocorrem com maior frequência em solos não coesivos (arenosos). Ocorre devido à mudança de solo de uma área que possui mais solicitações para outra área com menor solicitação; entretanto, a movimentação deste solo acontece do centro para a lateral, como apresentado na figura 17.

Figura 17 Migração do solo



Fonte: RABELLO (2008).

Santos (2014), diz que o recalque por adensamento é ocasionado devido à redução do volume ostensível do maciço de solo, provocado devido ao fechamento dos vazios que foi deixado pela expulsão de água, decorrente da pressão aplicada no solo. Normalmente são recalques lentos, quando ocasionado em solos argilosos, devido ao baixo coeficiente de permeabilidade da mesma (Caputo, 2012). E Rebello (2008) frisa que a deformação por adensamento é o de maior relevância e normalmente o que provoca os problemas mais comuns referentes ao recalque de fundações.

2.3.2 Fissuração

As manifestações patológicas que são características das estruturas de concretos podem ser consideradas as fissuras, por ser a anomalia mais comum de ocorrer, e quando se tem uma deformação (recalque) expressiva, provoca fissuras que chamam a atenção de leigos (proprietários e usuários), para que algo de errado esta ocorrendo com aquela edificação (Souza e Ripper, 1998).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, no capítulo destinado a controle de fissura, ressalta que não tem como impedir a ocorrência de fissuração nos elementos estruturais de concreto armado, pelo fato da grande variabilidade e a baixa resistência que o concreto tem a tração, mesmo perante as ações de serviço (utilização), atinge-se valores críticos de tensões referentes à tração. A norma citada indica que aberturas máximas referentes às fissuras da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm, não tem importância por não provocar nenhuma corrosão que venha ser significativa na armadura.

Santos (2014) relata que as fissuras normalmente são classificadas em relação ao seu comportamento sendo ativas (vivas), quando ao longo do tempo tem a sua espessura aumentada, ou inativa (mortas), quando ocorre a estabilização das fissuras.

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), como esta situação é muito complexa e particular de cada caso, o reparo e tratamento referente à fissura deve ser feito por um profissional especialista e experiente da área, a tabela

apresenta a relação entre aberturas e fissuras e os danos provocados em uma edificação.

Tabela 1 Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios

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

Fonte: VELLOSO E LOPES (2011) *apud* SANTOS (2014).

3 PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS: CAUSAS E DANOS GERADOS

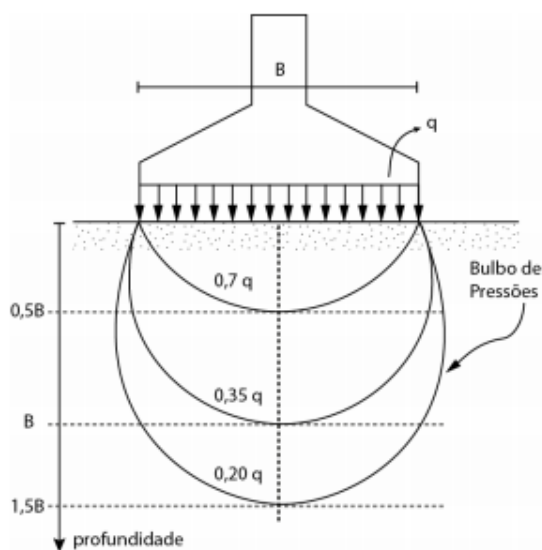
3.1 Causas de recalques

3.1.1 Superposições de pressões

De acordo com Oliveira (2012), normalmente ocorrem quando são executadas construções de superestruturas adjacentes a edificações com elementos de fundações superficiais leves, gerando assim a superposição de pressões e recalques não previstos em edificações antigas.

Pinto (2006) acrescenta que os bulbos de pressão são formados a partir do momento que se aplica uma determinada carga na superfície de um terreno, e que essa pressão não atuará somente na área onde foi assentada, mas sim em toda a sua proximidade. Acarretando no aumento de tensão desta área afetada, como mostra a figura 18.

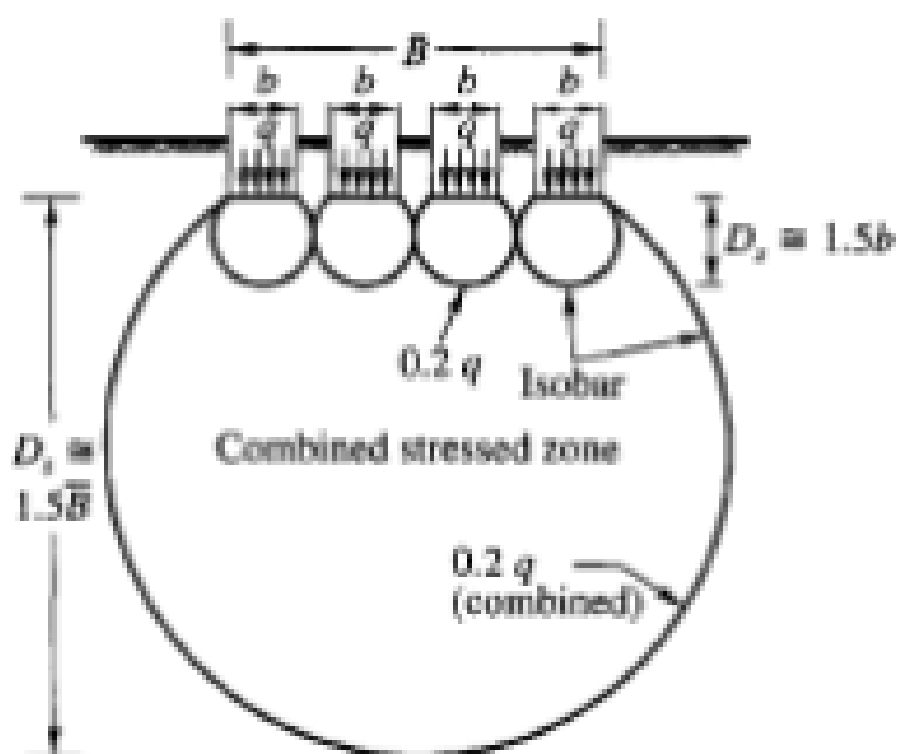
Figura 18 Bulbo de pressões



Fonte: PINTO (2006)

Quando os pontos no interior do subsolo que possuem o mesmo valor referente à tensão se ligam, ocorrem-se as linhas nomeadas de bulbos de tensões (Pinto, 2006). Ortigão (2007) diz que se o bulbo alcançar a camada mais compressível do solo poderá ocorrer recalques significativos nos elementos de fundação. Santos (2014), refere-se que em situações onde bulbos de tensões de fundações vizinhas se encontrem, ocasionam o aumento das tensões dos dois ou mais bulbos interagidos nesta área, o que leva a ocorrência de recalques, quando não previstos em projeto o aumento destas tensões e o solo não suporte essa nova carga. Como pode ser observado na figura 19.

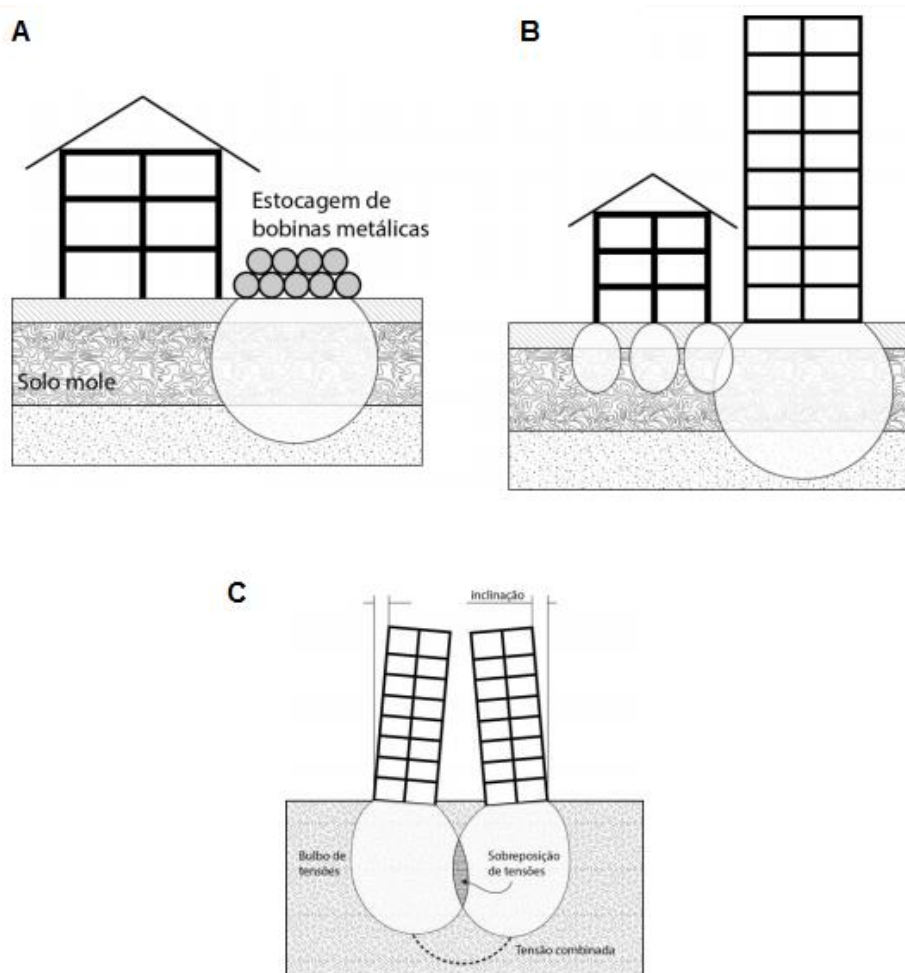
Figura 19 Efeito de fundações próximas



Fonte: SANTOS, 2014.

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), indicam que outros casos que podem vir a ocorrer são as realizações de construções de grande porte e/ou estocagem de materiais pesados, adjacentes a prédios com fundações diretas, ocasionando o aumento da pressão e recalques adicionais na edificação antiga, como apresentado na figura 20.

Figura 20 Superposição de pressões e recalques adicionais na edificação antiga devido à (A) construção de grande porte; (B) estocagem de materiais pesados junto a prédios existentes em fundações superficiais; (C) fundações superficiais.



Fonte: SANTOS (2014).

3.1.2 Insuficiência na investigação geotécnica

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), ressaltam que visando à economia, muitos empreendedores ignoram fases importantes no processo construtivo de uma obra. Um deste processo é a realização de sondagem geotécnica para averiguar a situação do subsolo e dar suporte para a escolha da fundação adequada. Porém, ainda hoje se encontra obras de pequeno e médio porte sem o acompanhamento de um engenheiro e os "projetos" destas obras são feitos baseados na experiência de pessoas que não estão preparadas para eventuais surpresas escondidas no subsolo.

Segundo Santos (2014), o outro problema encontrado em algumas obras é a falha na investigação, seja ela por negligência, imperícia ou imprudência. Como apresentado na Figura 21, quando não é realizada a identificação de regiões que possam vir a ocasionar recalques, por possuir solos compressíveis ou cavernas (frequentemente encontrado em áreas com rochas calcárias), provoca o deslocamento das fundações causando assim o aparecimento de fissuras.

Figura 21 Deficiência na investigação geotécnica.



Fonte: SANTOS (2014).

Dentre outras falhas, existe a investigação de subsolo fraudulenta, que segundo Milititsky, Consoli e Schnaid, (2008), pode ter consequências desastrosas, pois a informação contida no relatório de investigação não condiz com a verdadeira situação do solo.

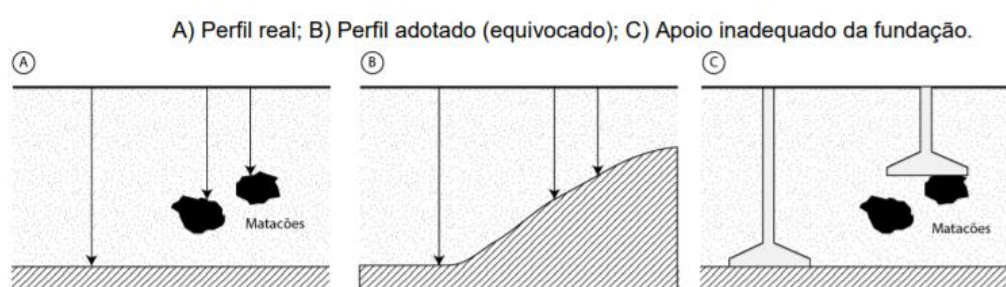
A ABNT NBR 8036:1983 diz que os números de sondagens variam de acordo com as características de cada estrutura e condições do subsolo, e deve ser suficiente para fornecer um quadro com as prováveis variações das camadas do subsolo do local em estudo.

De acordo com Santos (2014), a realização de uma quantidade insuficiente quanto à sondagem pode ocasionar em patologias futuras, pelo fato de a área não investigada poder ser formada por um subsolo com materiais diferentes do observado na sondagem realizada, como a presença de:

3.1.2.1 *Matacões*

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid, (2008), os matacões podem ser identificados nas sondagens geotécnicas de subsolo, porém quando não há investigação ou o número de sondagem são insuficientes, os matacões podem ser confundidos com rochas contínuas e comprometer o projeto, conforme mostra a figura 22.

Figuras 22 Ocorrências de matacões associados com investigações insuficientes podem ser confundidas com perfil de rocha contínua.



Fonte: OLIVEIRA (2012).

3.1.2.2 *Influência da vegetação*

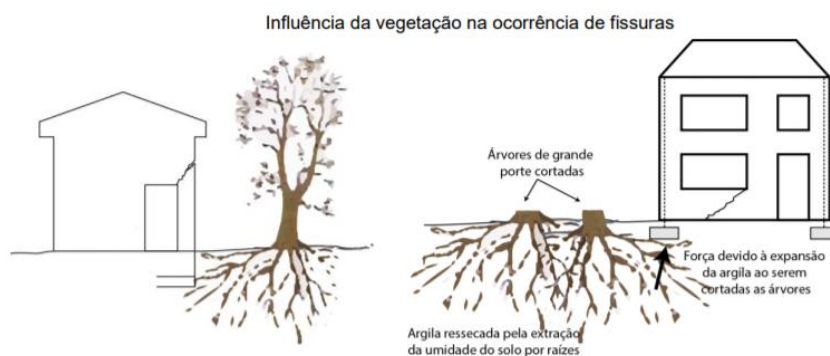
De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid, (2008), além do risco físico das raízes, as vegetações também alteram o teor de umidade do solo, pelo fato das raízes extraírem água do solo para promover seu crescimento e sua sobrevivência, assim realiza a mudança no teor de umidade do solo quando se faz a comparação com área de solo onde não se tem a presença de raízes.

Milititsky, Consoli e Schnaid, (2008), ainda acrescentam que em solos com propriedade argilosa, ocorre uma mudança volumétrica e referente ao solo devido à variação de umidade. Assim, toda fundação assentada sobre esta área afetada manifestará deslocamentos e conseqüentemente patologias na edificação ocasionada por recalques localizados e conseqüentemente fissuras, trincas ou rachaduras.

Santos (2014) diz que se o solo apresentar características expansivas, o corte das árvores que possuem raízes profundas adjacentes a estruturas pode gerar

o levantamento da fundação através da expansão do mesmo, conforme é mostrado na figura 23.

Figura 23 Influência da vegetação na ocorrência de fissuras.



Fonte: SANTOS (2008).

A tabela apresenta as espécies de árvores que mais ocasionam patologias em fundações devido às suas raízes.

Tabela 2 Espécies das árvores e efeitos observados de danos em fundações

ESPÉCIE	ALTURA MÁXIMA DA ÁRVORE (m)	MAX. DIST. (m)	MAX. DIST. 75% CASOS (m)	MAX. DIST. 90% CASOS (m)
Carvalho	16 a 23	30	13	18
Chorão	15	40	11	18
Olmo	20 a 25	25	12	19
Bordo / Ácer	17 a 24	20	9	12
Ameixeira	8	11	6	7,5
bétula	12 a 14	10	7	8
Pau-ferro	8 a 12	11	9,5	11

Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID, (2008).

Santos (2008) comenta que pelo fato da vegetação contribuir expressivamente em relação à mudança de umidade do solo. O assentamento de fundações em cotas superior a localização das raízes, pode ocasionar com que a mesma venha a recalcar por adensamento do solo.

3.1.2.3 Solos colapsíveis

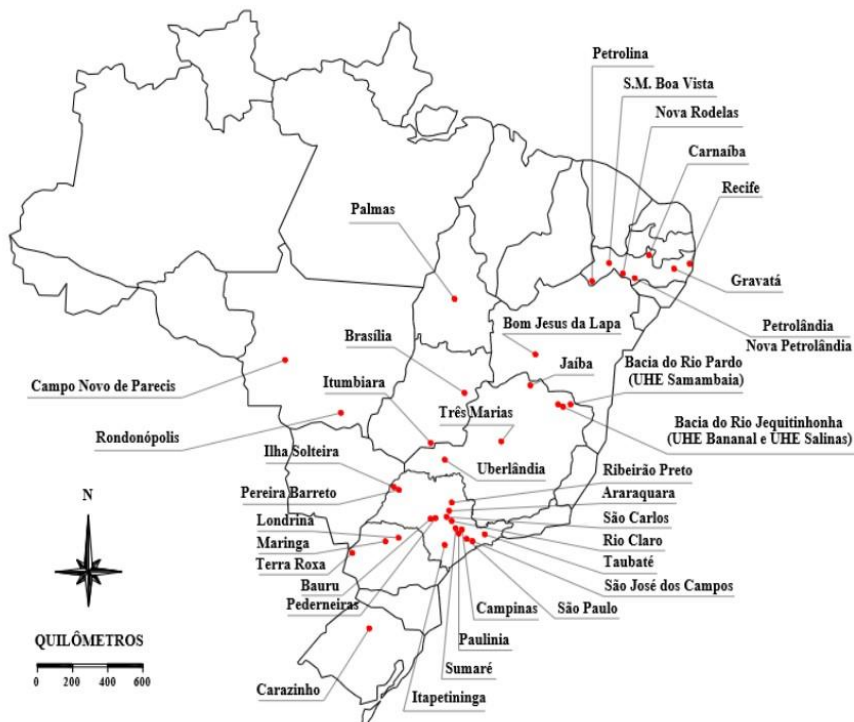
Milititsky, Consoli e Schnaid, (2008) definem solos colapsáveis como materiais que, quando não saturados, apresentam uma estrutura muito sensível ao aumento brusco de umidade e sujeitos ao rearranjo radical de partículas e redução volumétrica devido à saturação, com ou sem carregamento externo adicional. Já Lollo *et al* (2008), define como um fenômeno que tem como característica a redução brusca de volume do solo, conseqüente ao ganho de umidade, independente se há ou não sobrecarga. Lollo *et al* (2008), afirma que a redução de resistência e de capacidade de carga pode variar de 40 a 80%.

Pinto (2009) diz que fisicamente a colapsibilidade está diretamente ligada ao fenômeno da perda de resistência de solos não saturados, segundo ele o carregamento axial diminui a pressão de sucção ou amolece o cimento natural quando o solo é inundado, ocasionando a ruptura.

Ocorre a destruição da cimentação intergranular dos solos colapsíveis quando ele entra em contato com a água, provocando um colapso repentino da estrutura deste solo. A ocorrência deste colapso provoca o surgimento de recalques, mesmo não tendo sido provocado pelo aumento de pressões por carregamentos externos (Teixeira e Godoy, 1998).

No Brasil esse tipo de solo se concentra em maior número nas regiões Centro-Sul e Nordeste. Como pode ser observado na Figura 24.

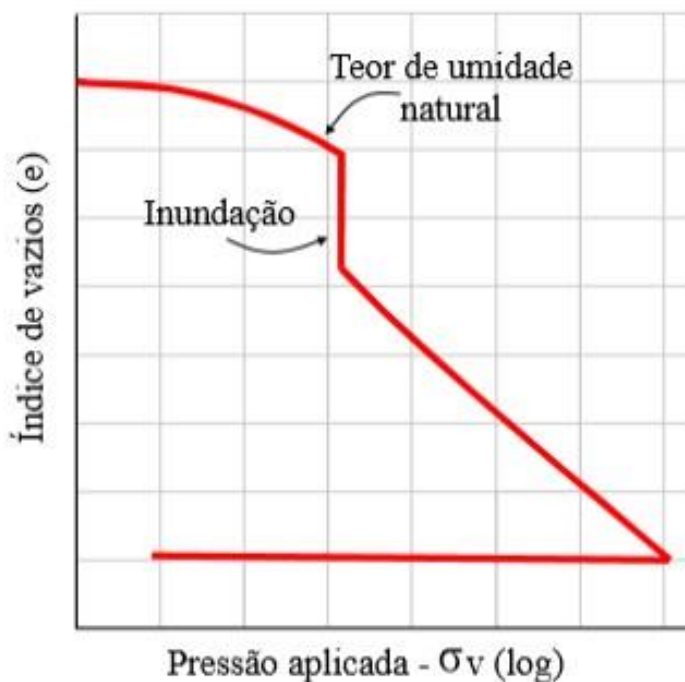
Figura 24 Solos colapsáveis estudados no Brasil.



Fonte: RODRIGUE (2013).

Na Rodrigues, R. A. (2013) acrescenta que solos colapsáveis podem ocasionar recalques, e com eles diversos danos de menor potencial na estrutura de uma obra, como pequenas trincas ou rachaduras. Porém, em alguns casos esses danos podem ser de maior magnitude, evoluindo a ruína parcial ou total de paredes, pisos e instalações hidráulicas. O método mais utilizado para caracterizar o colapso é o ensaio de compressão edométrica.

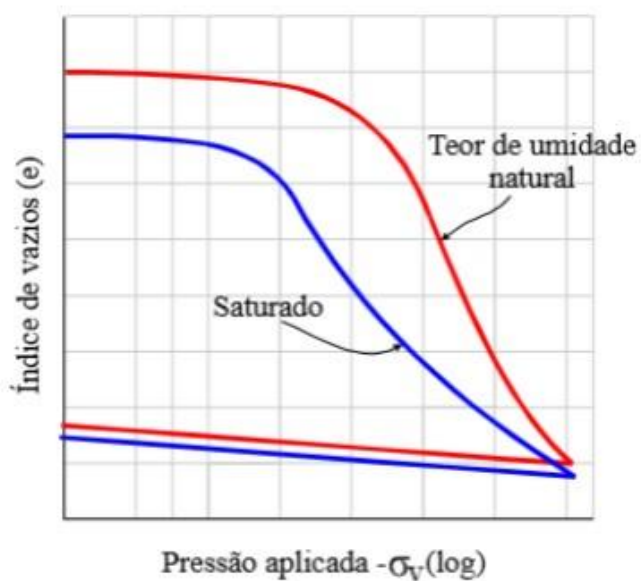
Segundo Lollo *et al.* (2008) o ensaio edométrico simples é feito da seguinte forma: Apenas um corpo de prova é preparado com um teor de umidade natural, em seguida é solicitada uma tensão de interesse nessa amostra de solo e posteriormente ela é inundada. Lollo *et al.* (2008) diz que devido ao colapso estrutural do solo, no momento que a amostra for inundada, a curva apresentará descontinuidade vertical (ver figura 25).

Figura 25 Curvas e versus $\log \sigma_v$ do ensaio edométrico simples

Fonte: GUTIERREZ (2005).

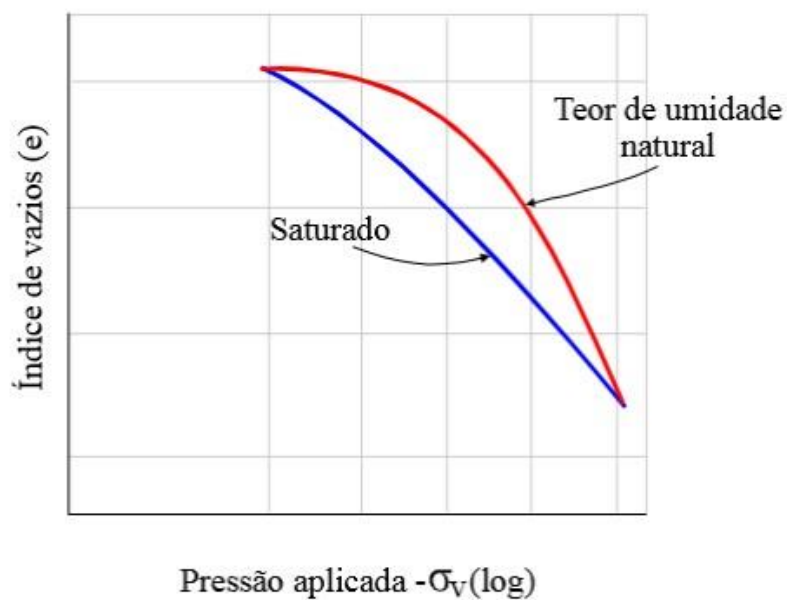
Segundo Lollo (2008) o ensaio edométrico duplo é feito com dois corpos de provas com características similares, um dos corpos será inundado desde o início do ensaio e o outro se manterá com o teor de umidade natural. Num período de 24 horas as duas amostras serão submetidas à tensão de assentamento de 1 kPa. Posteriormente é aplicado um carregamento progressivo até atingir a tensão máxima de interesse e a estabilização das deformações. Finalizado o ensaio, as curvas resultantes do mesmo são sobrepostas e ajustadas (o ajuste é permitido quando o solo não sofre colapso quanto ao seu peso próprio) para que seja feita a interpretação dos resultados (ver figura 26 e 27).

Figura 26 Curvas versus $\log \sigma_v$ obtidas no ensaio edométrico duplo.



Fonte: GUTIERREZ (2005).

Figura 27 Curvas versus $\log \sigma_v$ ajustadas.



Fonte: GUTIERREZ (2005).

Gutierrez (2005) afirma que o ensaio simples é mais vantajoso por não necessitar de dois corpos de provas idênticos, o que torna o ensaio duplo mais complexo.

3.1.2.4 Solos expansivos

A ABNT NBR 6122/2010 diz que devido à expansão do solo pode ocorrer o levantamento da fundação e conseqüentemente a diminuição da resistência.

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid, (2008), especialmente nas fundações superficiais os solos argilosos com presença de argilo-minerais expansivos apresentam grande variação de volume decorrente de mudanças do teor de umidade, como mostra a quadro 1.

Quadro 1 Propriedade dos principais grupos de argilo-minerais

GRUPO	PROPRIEDADES
CAULINITA	Argilo-mineral 1:1 Não expansivo, cristais lamelares hexagonais, baixo *CTC (1 a 20), plasticidade baixa, reduzido espaço para penetração d'água e ions.
ILITIA	Argilo-mineral 2:1 Expansividade baixa ou nula, cristais lamelares, rigidez das ligações entre camadas e dificuldade de penetração de água e íons. Baixa absorção d'água e plasticidade. Sujeito à troca iônica (*CTC de 20 a 60).
ESMECTITA	Argilo-mineral 2:1 Expansivo, pequenos cristais, possibilidade de quebra de grãos por adsorção d'água, grande capacidade de reter íons. Elevada capacidade de expansão e contração, elevada plasticidade. * CTC 60 e 150.

*CTC Capacidade de troca de cátions (meq/100mg ou cmol/kg).

Fonte: OLIVEIRA (2010).

Segundo Oliveira (2010) os solos expansivos quando não saturados, aumentam suas resistências e se tornam difíceis de serem penetrados. O processo

de expandir e retrair alterando de forma considerável seu volume, causa um fenômeno conhecido por empastilhamento, que torna o solo desestruturado e desagregado, suscetível a colapso por compactação, que pode afetar também as fundações, promovendo a ruína parcial ou total da estrutura, com o desenvolvimento de trincas, rachaduras e desabamentos nas edificações (ver figura 28).

Figura 28 Aspecto do empastilhamento em sedimentos constituídos por argilo-minerais do grupo das esmectitas



Fonte: OLIVEIRA (2010).

Segundo Peck *et al.* (1974) (*apud* Milititsky, Consoli e Schnaid, 2008) os procedimentos para evitar as anomalias em fundações superficiais são:

- Isolar a estrutura dos solos expansivos com a utilização de outros materiais como isopor ou compensados. Quando o solo expandir esses materiais será comprimido e assim os efeitos transmitidos para a fundação serão minimizados.

- Utilizar da técnica de pressão de expansão anulando a expansão do solo com o peso próprio da estrutura, pôr esta técnica deve ser dimensionado levando em consideração o peso final da construção, havendo grandes chances de situações desfavoráveis.

- Eliminar os efeitos de expansibilidade com técnicas de estabilização do solo através de adições de cimentantes alcalinos ou da substituição de parte da camada do solo expansivo por um aterro superficial com material inerte, cujo peso equilibraria as forças de expansão.

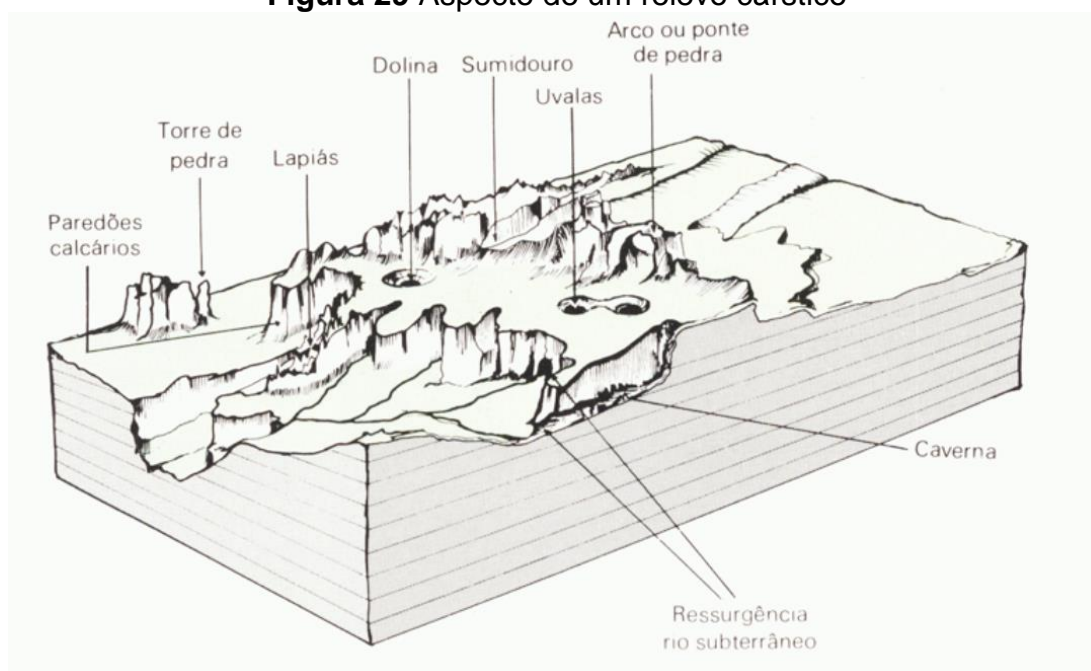
3.1.2.5 Zona cársticas

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), dizem que zonas onde há presença de rochas calcárias ou dolomíticas podem apresentar problemas às fundações. Esse tipo de Rocha produz grandes porosidades e cavidades no interior do solo, pois são solúveis em contato com águas levemente ácidas. Quando ocorre o colapso da camada de rocha calcária, cavidades no solo se formam.

Ainda Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), em locais onde há a possibilidade da presença de rochas calcárias, é necessário fazer uma investigação de subsolo mais detalhada, pois em alguns casos as rochas são envolvidas por uma camada não solúvel que pode atrapalhar a interpretação do projetista.

Segundo Piló (2000) a geomorfologia cárstica é constituída por um conjunto de três domínios, superfície (exocarste), subsuperfície (epicarste) e o meio subterrâneo (endocarste). Que a morfologia e os materiais constituintes (rocha, alterita, solos e depósitos) são parâmetros de interação nesse conjunto. Como mostra a figura 29.

Figura 29 Aspecto de um relevo cárstico

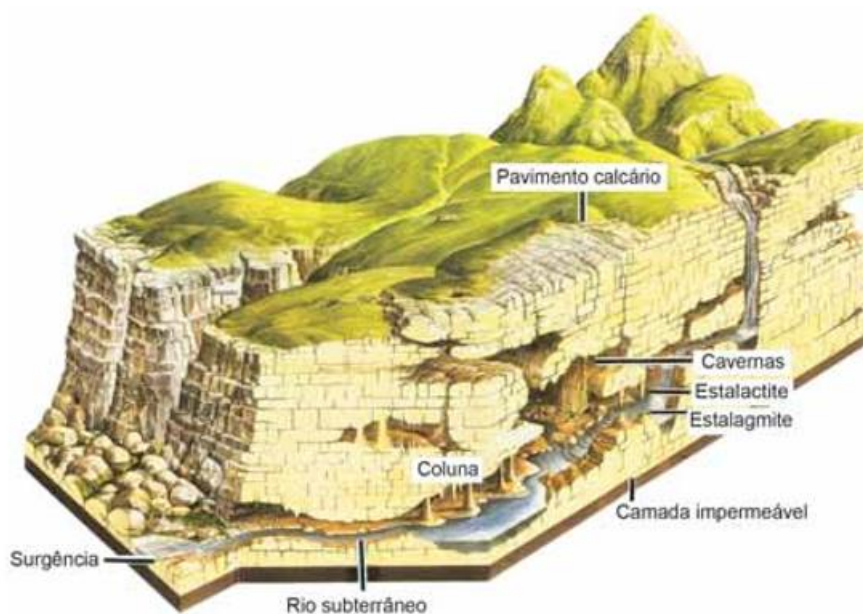


Disponível em:

<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fwww.ige.unicamp.br%2Fpedologia%2FGeomorfologia%2520C%25E1rstica.sist%2520mundo.ppt>, acessado em: 01 de outubro de 2017.

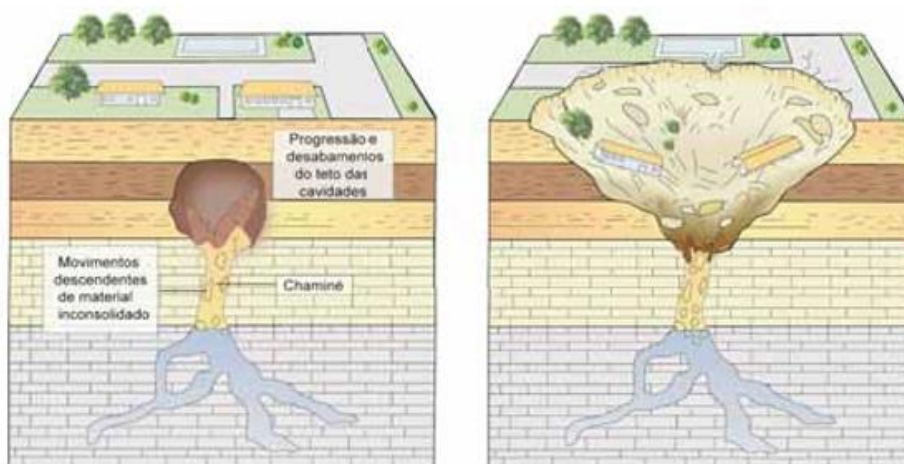
Segundo Oliveira (2010) os afundamentos cársticos se revelam na forma de colapsos de solo que geralmente se desenvolvem de forma natural em terrenos de rochas carbonáticas. Ações inadequadas que resultam em mutação da dinâmica e nas características de circulação de águas subterrâneas podem agilizar esse processo (ver imagens 30 e 31).

Figura 30 Morfologia das áreas cársticas.



Fonte: OLIVEIRA (2010).

Figura 31 Desenvolvimento de colapso de solo.



Fonte: OLIVEIRA (2010).

3.1.3 Fundações sobre aterros

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), uma quantidade significativa de anomalias é provocada pelo assentamento de fundações sobre solos criados ou aterros, que tem sua ocorrência pelos aspectos especiais deste tema. Uma pessoa não especializada em geotécnica, geralmente não considera este aspecto, pelo fato de desconhecer os mecanismos envolvidos. A locação de fundação sobre aterro tem além de aspectos usuais especiais a qualquer fundação, possuem características únicas referente a recalques a que estão submetidas.

Fundações assentadas sobre aterros podem possuir três tipos de recalques por causas distintas:

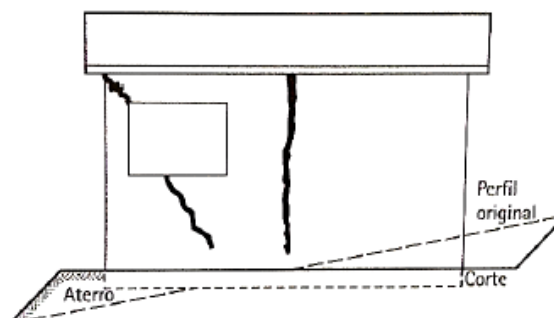
- Quando a fundação realiza a transferência da carga da superestrutura para o corpo de um aterro, pode ocasionar a sua deformação por causa do seu peso próprio e/ou pela carga transferida através da fundação.

- Decorrência da deformação do solo natural situado a baixo do aterro, pela ocorrência de um acréscimo de tensão provocado pelo peso próprio do aterro, com a junção das cargas da superestrutura (ocorrem quando o aterro é realizado sobre uma camada de solo mole.).

- Em casos onde o aterro foi executado e/ou ocorrem carregamentos externos onde antes eram lixões ou aterros sanitários desativados, podem vim a ocorrer ações bioquímicas, provocado pela degradação da matéria orgânica de seus componentes.

A figura 32 apresenta possível fissuramento em alvenaria provocado pelo assentamento de fundação sobre aterro.

Figura 32 Provável fissuramento de edificação assente em aterro



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008)

3.1.4 Alteração da função da estrutura

Normalmente essas situações acontecem em prédios comerciais e industriais, onde ocorrem mudanças das fundações que tinham sido projetadas originalmente para suportar certo tipo de estrutura, e devido ao incremento de novas instalações para que sejam realizadas outras atividades, acarreta em um aumento expressivo do carregamento sobre as fundações (Carvalho, 2010).

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), casos que podem vir a provocar alteração de carregamento nas fundações, geralmente retirada de elementos consideráveis, aumento e ampliação realizada em prédios comerciais que originalmente não foram previstas em projetos, implantação de mezaninos ou andares intermediários são ampliações comuns em reformas de prédios comerciais. Essas implantações podem provocar mudanças na distribuição ou concentração de cargas, que podem levar a ocorrência de recalques ou exceder a capacidade das fundações existentes, que já teve realizado o recalque admissível, realizado pela construção original, promovendo o aparecimento de fissuração indesejada e até mesmo acidentes importantes.

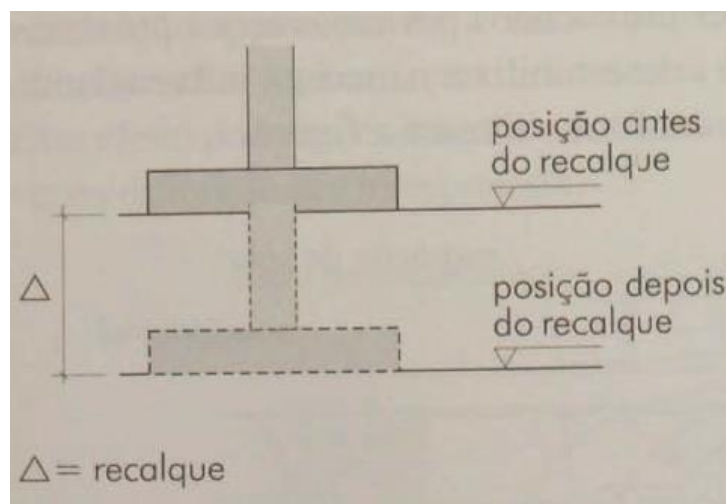
É determinado pela ABNT NBR 6120:2017 os valores mínimos referentes às sobrecargas verticais que atuam sobre os pisos das edificações para cada tipo de utilização da estrutura.

3.1.5 Rebaixamento de lençol freático

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), com a necessidade de adotar uma estrutura com cota inferior à do nível de água existente no subsolo, devido à complexibilidade na execução, contribuem para que o processo de rebaixamento do lençol venha a ser adotado como opção construtiva.

De acordo com Rebello (2008), o rebaixamento do lençol freático ocasiona a redução na pressão neutra (pressão que acontece de baixo para cima devido à água), elevando a pressão efetiva (ocasionada pelo peso próprio do solo). Assim, ocorre uma elevação de pressão sobre o solo, o que pode levar a ocorrência de recalques sem que se tenha um aumento no carregamento sobre a fundação. Nas fundações superficiais ocorre um afundamento, como mostra a figura 33.

Figura 33 Afundamento em fundação superficial

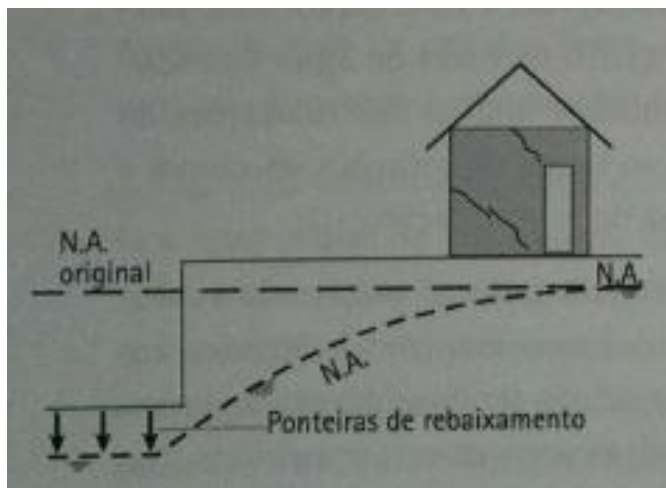


Fonte: REBELLO (2008).

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008) ainda ressaltam que, toda vez que é realizado o rebaixamento de nível de água, ocorre variações referente ao peso efetivo de solo, tanto nas condições finais quanto nas iniciais da água, realizando o aumento das circunstâncias de submerso (normalmente 10 KN/m^3 referente à areia), para saturado em torno de (20 KN/m^3). A ocorrência desta variação causa uma elevação das tensões efetivas que atuam no corpo do solo, resultando em deformação. Os deslocamentos resultantes provocam o surgimento de recalques em

sua superfície. Ocasionalmente em elementos de fundações superficiais localizadas na área afetada exibem distorções e patologias, como está representado na Fig. 34.

Figura 34 Recalque diferencial provocado pelo rebaixamento do lençol freático.



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008)

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), continuam que, em situações onde são encontrados solos argilosos, a compressão dos materiais é, geralmente, maior do que quando comparado com areias, o que gera efeitos expressivos. Em casos com a ocorrência de solos orgânicos ou turfa (massa de tecido de várias plantas, formado devido à decomposição lenta.), tem efeito acelerados, porém em argilas com pouca permeabilidade, dependem diretamente do tempo em que ocorreu o rebaixamento. As realizações de rebaixamentos muito extensas podem provocar efeitos de adensamento no corpo do solo e, sendo assim, ocasionando o agravamento de patologias referente a recalques correspondentes.

3.1.6 Erosão ou solapamento

Segundo Carvalho (2010), a erosão afeta principalmente as fundações executadas onde possuem água corrente. Encontrado com frequência em pontes construídas sobre rios, pelo fato do rebaixamento do nível de água provocar a diminuição da área coberta da fundação provocada pela corrente de água, alterando a forma como as fundações transmitem o carregamento para o solo.

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), a execução de elementos estruturais em leitos de rios, como blocos locados em cima de estacas, tubulões, ligações de pontes em fundações superficiais, ou elemento tipo gabiões causa a elevação de velocidade da água. Quando não ocorre a realização de projetos e execução de sistema de proteção, resulta no carregamento dos materiais existentes no leito dos rios, assim que concluída a obra no local, realizando alterações significativas no perfil do leito.

A ocorrência dessas alterações afeta a estabilidade dos elementos de fundação, podendo ser pela diminuição da sua área aterrada, ou pelo aumento da sua área livre onde possui os elementos esbeltos, causando a sua flambagem, podendo haver até ruptura geral e/ou colapso (Milititsky, Consoli e Schnaid, 2008).

Com o surgimento deste fenômeno gera instabilidade, comprometendo as fundações, e por falta de programas que realizam os reparos em obras de arte, como possui nos EUA (*Federal Highway Administration, 1995*), provocando atrasos na descoberta de anomalias, pois só são descobertas em estado muito crítico, acometendo assim maiores dificuldades em reparos e maior gasto.

A Fig. 35 mostra um perfil de um leito de rio que evoluiu ao longo de 30 anos (trinta anos), apresentando as condições em que apresentava este leito no início da obra e como ficou, ao decorrer deste tempo, das fundações executadas para a ponte ferroviária que já existia nessa área, detalhando possíveis causas de riscos e instabilidade, com dimensão de profundidade do bloco do topo das fundações da ordem de 20 cm (Milititsky, Consoli e Schnaid, 2008).

Figura 35 Evolução do leito do rio ao longo de trinta anos, mostrando o solapamento ocorrido



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008).

3.1.7 Escavações próximas a fundações

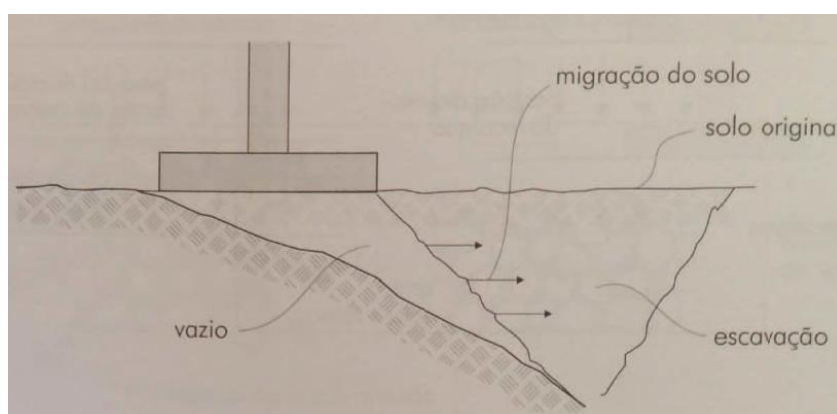
Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), informam que a realização de escavações gera normalmente, a movimentação da massa do solo ligado a elas ou a estrutura de contenção, decorrente da perda de materiais, devido à variação referente ao estado inicial de tensões ou pelo rebaixamento do lençol freático, com possível concentração de solo saturado. As ocorrências deste efeito dependem das fundações encontradas nas proximidades e da sensibilidade aos recalques das estruturas próximas. A ABNT NBR 9061:1981 é que normatiza a execução de escavação a céu aberto.

Os efeitos que são gerados originalmente prejudicam o estado de tensões da massa de solo, afetam tanto fundações superficiais quanto profundas (Finno *et al.*, 1991; Poulos e Chen, 1997, *apud* Milititsky, Consoli e Schnaid, 2008).

De acordo com Oliveira (2012), fundações superficiais estão mais propícias ao surgimento de patologias referentes às escavações, por serem mais sensíveis ao alívio de tensão quando escavada. Realização de pequenas escavações internas em obras, sobre solos superficiais com baixa resistência, podem acabar provocando anomalias pela ocorrência de deslocamento dos elementos já executado.

Rebello (2008), explica que recalques provocados por escavações próximas às fundações, tendem a desestabilizar o maciço, afetando uma área relativamente próxima, como apresenta a figura 36.

Figura 36 Escavações próximas de fundações superficiais.



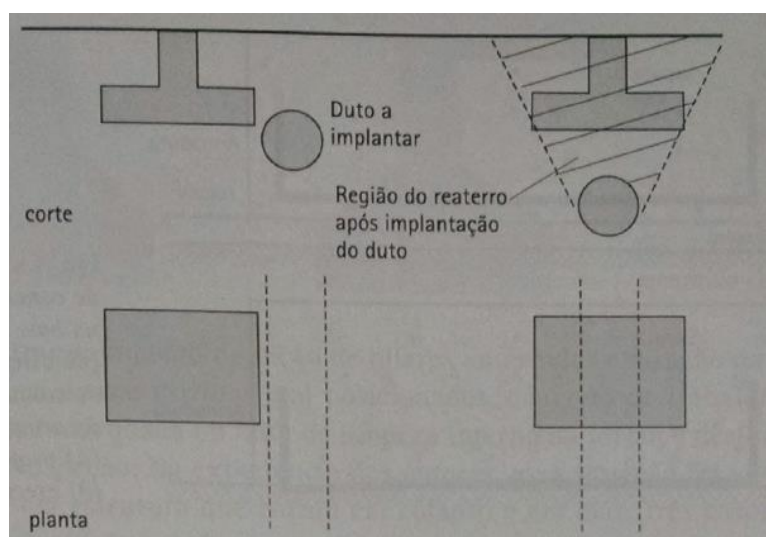
Fonte: REBELLO (2008)

Rebello (2008) continua a explicar, que vibrações geradas pelo tráfego intenso de veículos, podem desencadear vibrações que adensam o solo, compactando-o, provocando o recalque da fundação. Em alguns casos, pode ocorrer o inverso, mesmo inicialmente se identificar o processo como recalque, o que verdadeiramente está ocorrendo e um aumento no volume do solo, que ocasiona o deslocamento das fundações.

3.1.8 Outros fatores que podem provocar recalques

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), a execução de sapatas com cotas superiores a canalizações definida em projeto ou sobre locais que já possuem canalizações. As realizações de decorrentes escavações para a inserção de canalização ou para reparar possíveis vazamentos comprometem as fundações. Esse fato está apresentado na Fig. 37. Acontece com frequência a implantação de canalização em aterros mal executados e sem levar em consideração cuidados especiais. O reaterro pode provocar os vazamentos nas canalizações, o que gera carregamento do solo, algumas vezes em escalas relevantes, abrangendo a base das fundações já inseridas no terreno ocasionando assim o surgimento de recalques.

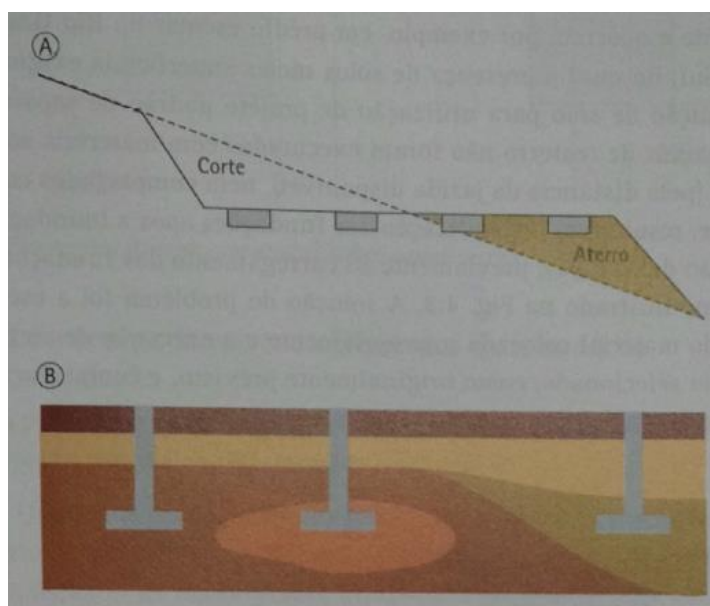
Figura 37 Fundações diretas executadas sobre canalizações



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008).

Execução de elementos de fundação locados em solos com diferentes tipos de comportamento, geralmente ocorrem com maior frequência em locais onde ocorreram cortes e aterros, porém as fundações foram executadas com a mesma cota, ou a camada resistente do solo possui variação de profundidade, fazendo assim que as fundações sejam locadas em materiais para o qual não foram estabelecidos em projeto, vindo a gerar recalques diferenciais ou até mesmo o colapso das fundações (Milititsky, Consoli e Schnaid, 2008). Como mostra a figura 38.

Figura 38 (A) Situação de corte e aterro com as fundações assente na mesma cota;
(B) Fundações diretas apoiadas em solos com características diferentes

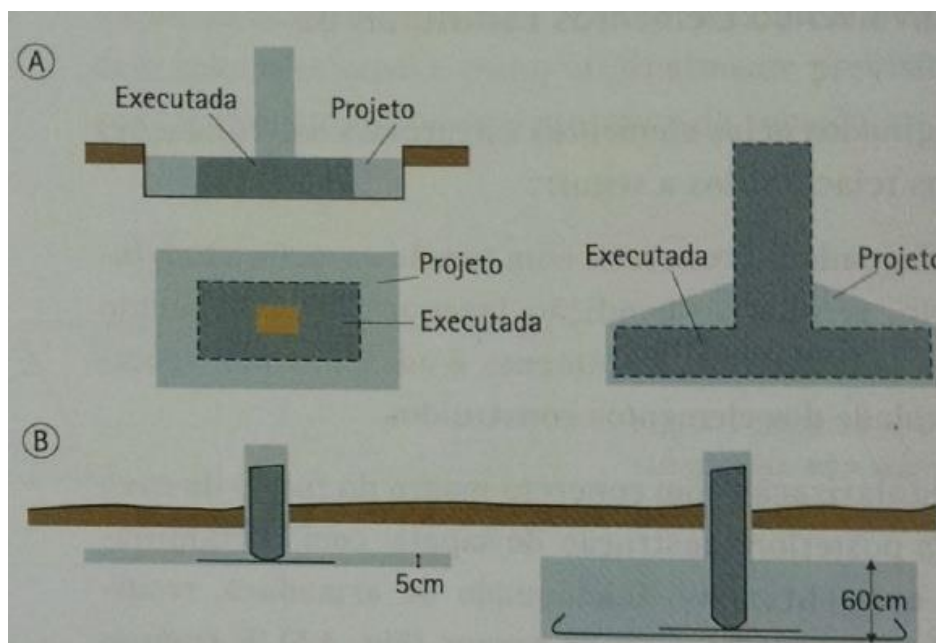


Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008).

De acordo com Oliveira (2012), erros devido à execução de elementos de fundação com dimensão e geometria diferente da definida em projeto. Normalmente ocorre com certa frequência em sapatas com altura variável ou escalonada, gerando tensões incompatíveis com o sistema estrutural ou com o solo. A fig. 39A apresenta uma situação onde foi necessário realizar o reforço de fundações em prédios que possuem três pavimentos, locado sobre fundações diretas, onde a utilização de geometria que diverge da indicada em projeto e predispõem o posicionamento das sapatas e recalques expressivos para a execução. A fig. 39B mostra uma situação

que se refere à espessura apresentada pela sapata executada (5 cm) e menor que a dimensionada em projeto (60 cm).

Figura 39 Execução com geometria incorreta: casos de obras correntes.



Fonte: OLIVEIRA (2012), *apud* MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008).

Souza e Ripper (1998), também informam que formigas, cupins e outros animais ou insetos que tenham o hábito de escavar, podem ajudar a provocar o recalque diferencial. De acordo com o mesmo, esses insetos e animais podem afofar a terra onde estão assentadas as fundações superficiais, principalmente em obras de pequeno porte, ocasionando, assim, recalques diferenciais que podem gerar graves danos a estrutura e um tratamento de reparo muito caro.

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), dizem que os recalques diferenciais ocasionados com ajudas das escavações feitas por esses insetos ou animais, podem ocorrer em algumas áreas que já são existentes os vazios antes mesmo de ser realizado o assentamento das fundações, e a “movimentação sem explicação” realizada de forma acentuada em toda a extensão da construção. Já em outras situações, os vazios são formados depois de a edificação ser executada.

3.2 Danos devido aos deslocamentos das fundações

Segundo Santos (2014), até que o equilíbrio referente ao carregamento transmitido pela a fundação e o solo seja alcançado, todas as edificações estão sujeitas a deslocamentos verticais (recalques).

A ocorrência destes deslocamentos pode ocasionar falhas na estrutura, que podem ser observados através do desnivelamento de pisos, trincas e desaprumo da edificação (CAPUTO, 2012).

Teixeira e Godoy (1998) ressaltam que as patologias provocadas pelo deslocamento das fundações podem ser destacadas em três categorias:

a) Danos arquitetônicos. São os danos que podem ser observados a olho nu, que afetam a estética da construção, exemplo são as trincas em alvenarias, recalque de pisos, rompimento de painéis, fissura em vigas etc. (Teixeira e Godoy, 1998). Mas essas situações, o reparo fica a critério do dono, pois não coloca em risco a estabilidade e a segurança da estrutura (Gotlieb, 1998).

b) Danos funcionais. De acordo com Santos (2014), essas patologias afetam diretamente a utilização da construção, exemplo são problemas com o funcionamento de porta e janelas, refluxos ou rompimento de tubulações, gastos excessivos dos trilhos dos elevadores pelo desaprumo da edificação etc. Gotlieb (1998) indica que dependendo do nível alcançado pela anomalia, torna-se obrigatório a realização de reparos por prejudicar a estabilidade e segurança da estrutura.

c) Danos estruturais. Anomalias que afetam a estrutura, exemplo são os pilares, vigas e lajes (Santos, 2014). Independentemente do nível atingido pela anomalia é obrigatório a realização de reparos, pois a não realização implica em instabilidade e compromete a segurança da estrutura, podendo ocasionar em casos mais graves o colapso (Gotlieb, 1998).

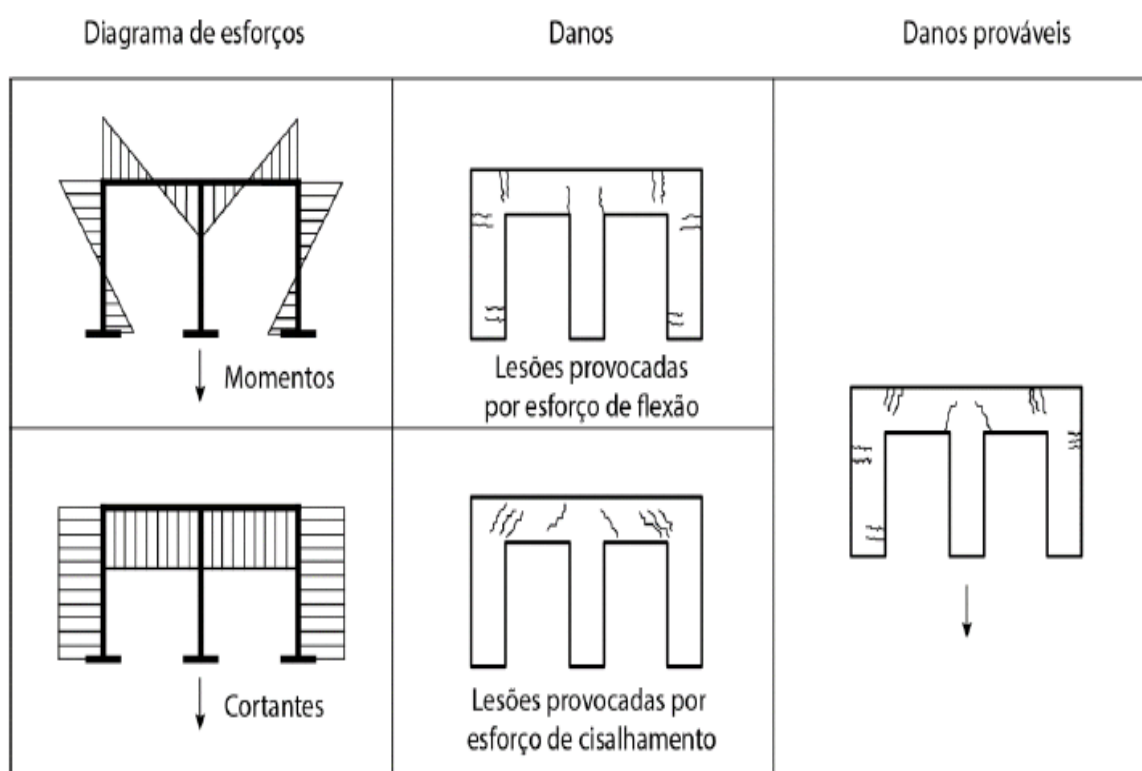
De acordo com Santos (2014), quando ocorrem recalques diferenciais nas fundações, conseqüentemente surgem fissuras nas alvenarias de fechamento e em vigas de concreto armado. A ocorrência de fissura se dá pelo fato de distorção excessiva provocado na estrutura, o que leva a uma deformação específica de

tração na alvenaria. Essa tração promove a abertura de fissuras proveniente do recalque de fundação, com um padrão de inclinação em 45° nas paredes

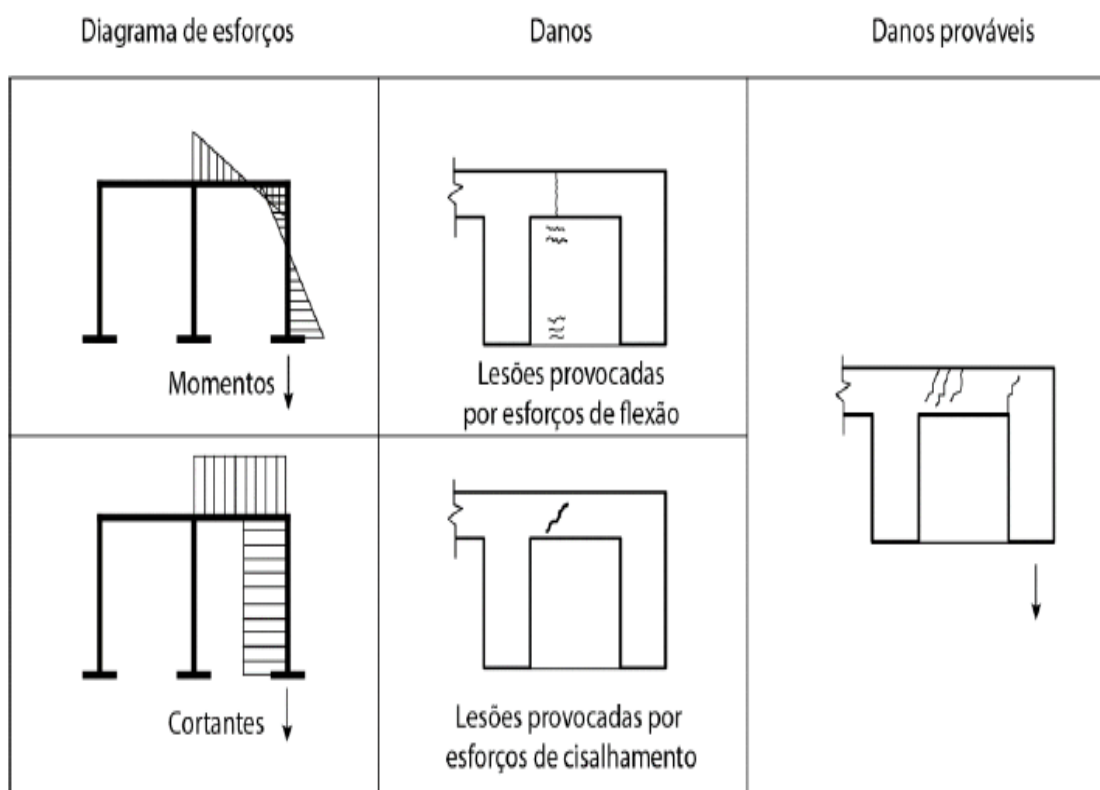
Oliveira (2012) relata que o solo é formado basicamente, por partículas sólidas, entremeadas por água, e geralmente por materiais orgânicos. Devido ao carregamento externo o solo, em maior ou menor dimensão, se deforma. Se a ocorrência desta deformação for de forma diferencial ao decorrer da extensão do plano das fundações da edificação, tensões de grande proporção serão efetuadas na estrutura da mesma, acarretando possivelmente no aparecimento de trincas.

Em estruturas de concreto armado, Milititsky, Consoli e Schnaid (2008) ressaltam que as fissuras apresentam como mostra as figuras 40 e 41.

Figura 40 Fissuras em estruturas de concreto devido à recalque no pilar central
Recalque Central



Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008).

Figura 41 Fissuras devido à recalque de pilar de extremidade**Recalque na extremidade**

Fonte: MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID (2008).

Segundo Santos (2014) a ocorrência de desaprumo em edificações se dá pelo fato de ocorrerem recalques diferenciais nas fundações. Afetando a parte estética da edificação, o desaprumo contribui também para PA um aumento de carga na estrutura, que são transmitidos para as fundações, provocando um aumento expressivo no recalque que a edificação normalmente já possui, assim em alguns casos podem atingir níveis muito crítico que podem levar a estrutura a entrar em colapso.

De acordo com Hachich (1997), caso clássico de desaprumo em edificações devido aos recalques diferenciais, são os prédios construídos na orla de Santos (SP), que tiveram suas estruturas construídas sobre fundações superficiais, que foram assentadas sobre areia. Foram previstos que as edificações sofreriam recalques devido à compressão de argila mole que está localizado a baixo da camada de areia, mas com o tempo essa argila se estabilizaria e os recalques iriam parar. Só que décadas já se passaram e até hoje muitos prédios ainda possuem recalques contínuos e poucos prédios tiveram os devidos monitoramentos dos

recalques, esse desaprumo contínuo leva ao surgimento de novas solicitações na infra e na superestrutura dos edifícios. Sendo assim não é prudente ainda continuar com a espera da estabilização dos recalques.

3.3 Causas da fissuração das fundações em concreto

3.3.1 Erros de execução

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), o segundo maior causador de problemas referentes ao comportamento das fundações está diretamente ligada à falha de execução. Para que seja alcançado o sucesso na elaboração e execução de uma fundação, não depende apenas de um bom detalhamento de subsolo, de cálculos e projetos adequados da solução a implantar, são necessárias também as especificações precisas e detalhadas referentes a materiais e procedimentos condizentes com a boa prática, utilização de processos de execução apropriada e realizada por profissionais experiente e equipamento adequado, um rigoroso acompanhamento de supervisão e controle.

Segundo a ABNT NBR 6122:2010, para o projeto de fundação superficial, a grandeza fundamental é a determinação da tensão admissível, para projetos feitos levando a consideração do coeficiente de segurança global e/ou quando forem considerados fatores parciais, a determinação da tensão resistente de projeto. Devem ser obedecidos conjuntamente pelas tensões os estados-limites últimos (ELU) e de serviço (ELS), para cada tipo de fundação isolada e/ou para os conjuntos.

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), diz que pela facilidade da execução e devido à sua grande utilização em obras de pequeno porte, as fundações superficiais, na maioria das vezes, são executadas sem que seja feito um projeto adequado, feito por pessoas sem qualificações e que não ocorrem às fiscalizações adequadas. O que gera os problemas variados e frequentes. Quando não há a realização do projeto, normalmente é feita a utilização de dados obtidos através de

obras vizinhas, ou de forma empírica oriundos de publicações onde são indicados valores para tensão admissível não condizente para solução do problema.

Souza e Ripper (2009) relatam que a forma mais lógica e ideal na etapa de execução fosse de iniciar a mesma só depois da conclusão da realização do projeto, em muitas situações isto não acontece. Conseqüentemente ocorrem adaptações e modificações no projeto para melhoria ou correção de erros não identificados antes durante a execução da obra, o que leva a possíveis erros.

Segundo Silva e Silva (2010) os erros podem ser do tipo que se apresentam de forma grosseira ou que só podem ser observados com a utilização da edificação, como problemas na hora de executar as instalações elétricas e hidráulicas. Desaprumos, devido à falta de esquadros e de alinhamento entre alvenarias, ou devido aos recalques diferenciais, desnivelamento referente ao piso, erro no caimento em piso molhado e flechas excessivas em lajes são classificados como erros grosseiros.

3.3.2 Deterioração do concreto

Caputo (2012), diz que se a água (ou solo) possui propriedades duvidosas (cheiro fétido, emissão de gases, acidez) ou presença de elementos químicos a que podem prejudicar o concreto ou o aço, devem ser realizadas análises e detalhamento químico nas amostras obtidas. Pode ocorrer a mudança do pH do concreto da fundação submersa, devido à presença de água contaminada com componentes químicos, que provocam a corrosão do aço da armadura ou referente as reações químicas com o concreto das fundações, ajudando na degradação do mesmo (Santos, 2014).

Santos (2014), diz que as mudanças de variação do nível da água, tendo como exemplo a correnteza dos rios, podem provocar a deterioração do concreto e a condução do solo adjacente à fundação.

Souza e Ripper (1998) relatam que as águas transportam partículas que causam o desgaste no concreto ou no aço das armaduras quando em contato com os mesmos.

A mudança de estado físico da água de líquido para sólido (gelo) provoca uma elevação do seu volume em até 9% (nove por cento), podendo provocar tensões entre os poros do concreto, ocasionando fissuras e degradação do mesmo (Carvalho, 2010).

Segundo Souza e Ripper (1998, p.72), a corrosão do concreto ocasionado pela lixiviação resulta na dissolução e carreamento do hidróxido de cálcio, que possui no cimento em estado sólido devido ao ataque de águas.

O concreto quanto mais poroso for, maior será o dano provocado por esses ataques. A dissolução, o carreamento e a deterioração do hidróxido de cálcio ajudam na elevação da porosidade do concreto, que com o tempo se desintegra (Santos, 2014).

As reações dos sulfatos com elemento do cimento causam a sua expansão e deterioração (Souza e Ripper, 1998). Os sulfatos são encontrados na água que geralmente recebem resíduos industriais, em águas subterrâneas em geral e em água do mar (Santos, 2014).

Oliveira (2012), diz que os cloretos estão presentes em quase todos os aditivos usados para acelerar a pega e endurecimento do cimento.

De acordo com Souza e Ripper (1998), que em dia de temperatura muito elevada, os cloretos podem ocasionar, no processo de concretagem, um endurecimento do concreto forçado, não dando tempo que seja realizado um preenchimento total das formas e aumentando também a retração do concreto, o que leva o surgimento de fissuras. Podem ocorrer também danos em aço presente em alguns elementos de fundações superficiais, aumentando o efeito de corrosão.

De acordo com Silva e Silva (2010) a reação álcalis-agregados acontece devido ao fato de o concreto ser feito a partir de agregados obtidos de rochas que possuem sulfatos solúveis. Este processo é equiparado com o de ataque de sulfato (Thomaz, 1996).

Essa reação provoca o aumento volumétrico, ocasionado pelo surgimento de um gel expansivo que é formado dentro da massa de concreto, podendo acarretar no surgimento de fissuras nas peças de concreto (Souza e Ripper, 2009).

Souza e Ripper (2009) informam que esta reação desenvolve lentamente, sendo capaz de levar vários anos para acontecer o seu aparecimento, e o principal sintoma é a aparição de fissuras desenfreada nas superfícies expostas a mesma.

3.4 Danos devido à fissuração das fundações

3.4.1 Redução da capacidade de carga ou colapso do elemento estrutural

De acordo com Berenguer (2016) foi realizado em outubro de 2004, depois que ocorreu a tragédia do prédio residencial Areia Branca situado na região metropolitana de Recife, foi levanta uma dúvida sobre a qualidade estrutural dos outros edifícios residenciais que também estão situados nessa região. Então começou a ser feito vistorias nos edifícios e foram contatadas patologias, e entre essas patologias estão a anomalias causadas pela reação álcali-agregado (RAA).

Reação álcali-agregado é de desenvolvimento lento, acontece em estruturas de concreto, gerada a partir da reação dentre alguns minerais formam os agregados e hidróxidos alcalinos, proveniente do cimento. Essa patologia afeta a resistência mecânica do concreto, ocasionando a redução na resistência a tração e compressão do concreto (Mehta e Monteiro, 2014).

Segundo Berenguer (2016) o edifício residencial situado em Jaboatão dos Guararapes (PE), teve sua construção acabada há 12 anos. Sua estrutura foi feita a partir de concreto armado, tendo seu carregamento transferido para o solo através de fundações superficiais, e o projeto estrutural usado na estrutura foi de 25 Mpa.

Berenguer (2016) segue que a construção teve início em 1998 e teve a sua execução terminada em 2002. Em 2005 foi contratada uma empresa para realizar a vistoria na qualidade da estrutura da edificação, foi observado que algumas sapatas possuíam fissuras. Inicialmente foi realizado o reparo nessas sapatas com a adição de resina epóxi rígidas nas fissuras. Mas esses reparos foram realizados sem que se tenha realizado um ensaio adequado para a identificação da possível causas do aparecimento das fissuras que foram encontrados nas sapatas.

Berenguer (2016) diz que devido à falta da descoberta de qual foi o motivo do aparecimento das fissuras nas sapatas, 9 anos depois essas sapatas voltaram a apresentar novas fissuras. Assim a empresa contratada pediu que fosse feito um ensaio de resistência a compressão nas sapatas, e depois da obtenção dos resultados e avaliando o histórico das fundações, dos fatores ambientais, e das características do edifício, a conclusão foi que a causa do aparecimento das fissuras era devido à presença da reação álcali-agregado.

A partir deste diagnostico foi realizado um ensaio geral na edificação, não foram avaliados somente as sapatas danificadas, mas toda a parte estrutural da edificação, no intuito de analisar se existem outras manifestações patológicas, para que sejam realizados os reparos adequados, os ensaios realizados foram:

- Inspeção visual;
- Avaliação da profundidade de carbonatação;
- Determinação do teor de íons cloreto;
- Resistência à compressão, através da extração de testemunhos.

A necessidade da realização dos ensaios de profundidade de carbonatação e teor de íons foram para realizar a avaliação do edifício, pois o mesmo está situado em uma área urbana a 100 metros do mar e sofre grande influência dos agentes agressivos externos, como gás carbônico e a maresia do litoral (Berenguer (2016)).

Berenguer (2016) diz que os procedimentos para a recuperação das sapatas foram:

- Escavação;
- Extração;
- Limpeza e lavagem das trincas e fissuras;
- Furação das trincas, colmatação das trincas, injeção de microcimento nas trincas e fissuras e encapsulamento das sapatas.

De acordo com Berenguer (2016) as escavações foram realizadas de acordo com a NR 18:2013 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, para realizar a segurança do ambiente de trabalho e dos funcionários envolvidos no serviço, depois veio a etapa de limpeza das sapatas e extração dos corpos de provas, a limpeza foi realizada com um jato de alta pressão de água para

melhorar a visualização das fissuras e trincas, os corpos de prova foram retirados com um equipamento chamado de serra copo e levado a laboratório para analisar se as fissuras e trincas ocorreram de fato pela RAA, a etapa seguinte é a realização da sopragem nas trinca e fissuras para a retirada da passa epóxi que foi utilizada no reparo anterior, e seguida foi feito a furação das trincas para a adição de purgadores (mangueiras plásticas transparente com diâmetro de 10 mm), que são colocadas na área que possui as trincas e fissuras, para que seja adicionada a pasta de microcimento à base de resina epóxi, fissuras e trincas que possuíam espessura menor que 10 mm era utilizado uma furadeira para aumentar a espessura da mesma, para que fosse possível a adição da resina; em fissuras e trincas com espessura maior que 10 mm foi utilizado o graute, por possuir característica de ser isento de retração, possuir rápido ganho de resistência e liberação para uso; quando passou 24 horas que já tinha sido realizado o fechamento das fissuras e trincas foi feito a lavagem das mesma com jato de alta pressão de água para a retirada de detritos excessivos e por último foi realizado o encapsulamento das sapatas, o processo foi realizado da seguinte forma:

- Furação e apicoamento da sapata de concreto. Foram realizados furos com 12,5 mm de diâmetro, a distância entre os furos era de 15 cm, e foi realizado ranhuras na superfície da sapata.
- Foi realizada a adição das barras e tela de aço. As barras possuíam diâmetro de 12,5 mm foram inseridas cerca de 30 cm nos furas que foram realizados; a tela adicionada foi a Q503 na superfície tronco piramidal fixadas com grampos.
- Foi executada uma aplicação do adesivo estrutural composto a base de resina, nas áreas superficiais de união do concreto, cerca de 30 minutos antes da concretagem;
- Foi feito a nova concretagem das sapatas.

A escolha deste método foi devido a suas vantagens que são: restringir ao máximo a expansão; resistência a infiltração devido ao alto nível de impermeabilidade e maior durabilidade referente ao esforço estrutural (Berenguer, 2016).

De acordo com Berenguer (2016) este é o método mais utilizado para o reparo referente a anomalias causadas por RAA, mas ele não é totalmente eficaz, pois algumas sapatas que já tinham sido submetidas a reparo voltaram a apresentar problemas com fissuras e trincas com o decorrer dos anos.

3.4.2 Infiltração de água

De acordo com Hussein (2013) podem ocorrer muitas patologias decorrentes do surgimento de infiltração, normalmente essas patologias ocorrem devido à falta de impermeabilização em fundações que são executadas em solos que possuem níveis elevados de umidade, essas patologias podem vir a ocorrer devido a:

- Umidade de infiltração, que é a passagem de umidade ocorrida da parte externa para a parte interna das fundações, devido a presença de trincas e fissuras;
- Umidade ascensional, que é a umidade formada pelo solo, e sua presença podem ser notadas em paredes, que teve a sua infestação decorrente da umidade ter atingido inicialmente os elementos de fundação.
- Umidade de obra, que é simplesmente a umidade presente na execução da obra, como em argamassas e concreto.
- Umidade accidental, que é o possível vazamento de água contido em tubulações situadas no solo em área próximo as fundações.

As patologias que podem vir a ocorrer no concreto da fundação podem ser a degradação do concreto, aumento da sua porosidade, aparecimento de eflorescências entre outras patologias. E no aço que forma as armaduras das fundações podem ser a sua deterioração devido ao aparecimento de ferrugem (Hussein, 2013).

4 CONTROLE, REPARO E RECUPERAÇÃO

Para garantir ou devolver à estabilidade e desempenho as estruturas que sofrem com problemas patológicos em suas fundações são necessárias a adoção de alguns procedimentos. Neste capítulo abordam-se medidas para prevenir e/ou monitorar os recalques e suas consequências e também técnicas de estabilização.

4.1 Controle de recalques e de verticalidade

Milititsky, Consoli e Schnaid (2008) dizem que quando há uma situação que pode originar recalque da edificação, ou quando há dúvida quanto ao comportamento de uma fundação, é recomendado acompanhar seu desempenho através do controle de recalque da edificação. O objetivo do controle de recalque é descobrir a velocidade de recalque da fundação e, posteriormente, estudar seu comportamento.

Segundo Caputo (2006) as medições são feitas por meio de um nível ótico de precisão, ou pelo nível de Terzaghi. É indispensável a adoção de um nível de referência (Benchmark), preliminarmente.

Santos (2014) diz que a medição dos recalques é feita mensurando o nível ótico de precisão (teodolito) entre o nível de referência e as peças de referência embutidas na estrutura. Os valores são registrados de acordo com a data, gerando o quadro de controle de recalques, o qual permite mensurar a velocidade dos recalques.

Santos (2014) também diz que para medir a carga atuante nos pilares podem ser empregados os extensômetros, que afere os encurtamentos elásticos na estrutura.

Caputo (2003) retrata que no controle de recalque não é apenas o valor máximo atingido que importa, mas também a sua evolução no decorrer do tempo.

Rebello (2008) diz que na ocorrência de recalques acima do previsto, a solução que apresenta mais praticidade é a estaca de reação ou estaca mega.

Segundo Milititsky, Consoli e Schnaid (2008) o controle de verticalidade tem o objetivo de acompanhar a inclinação do edifício. Trata-se de uma leitura periódica efetuada com aparelho topográfico de precisão, sempre nos mesmos pontos, convertendo-se em planilhas. A análise dos resultados será feita nos dias seguintes e comparadas com as leituras realizadas em datas pretéritas, sendo preferível que as leituras sejam sempre realizadas pelo mesmo operador, na mesma hora, para que não haja uma superposição de efeitos.

4.2 Estabilização de recalque

Algumas das alternativas mais utilizadas para estabilização de recalques são a injeção de cimento e o congelamento do solo, apresentadas a seguir.

Injeção de Cimento. De acordo com Caputo (2006), esta técnica consiste em injetar uma camada de cimento no terreno abaixo das fundações através de tubos galvanizados de 2" a 3" de diâmetro. Os tubos são embutidos até a cota desejada, posteriormente o cimento é injetado através do tubo de ponta aberta ou de paredes perfuradas.

Segundo Santos (2014), as injeções têm o propósito de beneficiar as características dos maciços terrosos e rochosos, aprimorando a resistência e impermeabilização.

Rebello (2008) diz que a injeção de cimento tem o objetivo de melhorar as características do solo, pois este processo visa preencher vazios e trincas que possivelmente possa existir no solo.

Congelamento do Solo. Caputo (2006) diz que devido a esta técnica ser de custo elevado, ela é somente empregada em casos difíceis de fundação em terrenos moles e saturados de água. A técnica consiste em instalar uma estação de refrigeração e fazer circular por tubos congeladores, um líquido refrigerante ou salmoura. A temperatura do solo atinge o ponto de congelamento da água presente, fazendo com que seja estabilizado o recalque da fundação.

4.3 Reforço de fundação

Segundo Caputo (2009), reforço de fundação consiste no aumento de sua profundidade ou das suas dimensões. Que se faz necessário quando se deseja realizar escavações abaixo do nível de fundações existentes ou quando uma fundação apresenta comportamento inadequado.

Hachich *et al.* (1998) dizem que quando uma fundação se mostra inadequada ou quando há um aumento no carregamento que compromete a segurança do projeto, é necessário intervir com um reforço de fundação. Que podem ser caracterizados como:

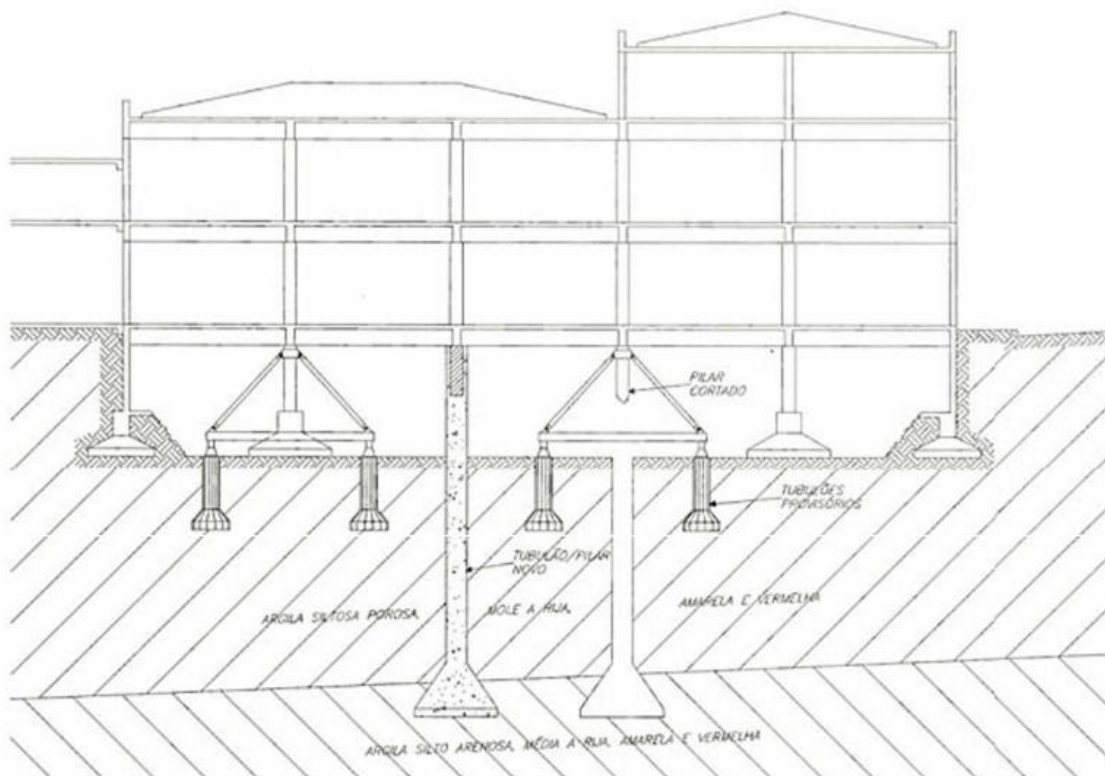
Permanentes quando visa complementar as fundações originais que apresentam mau desempenho ou quando ocorre o aumento do carregamento aplicado na fundação.

Provisórios para atender situações especiais de curta duração como, por exemplo, auxiliar na aplicação de reforço permanente.

E por fim, substituição da fundação. Hachich *et al.* (1998) dizem que neste caso o reforço não é da peça existente, pois a mesma deve ser substituída por completo e não precisa ser necessariamente do mesmo tipo da fundação original, conforme é mostrado na figura 42.

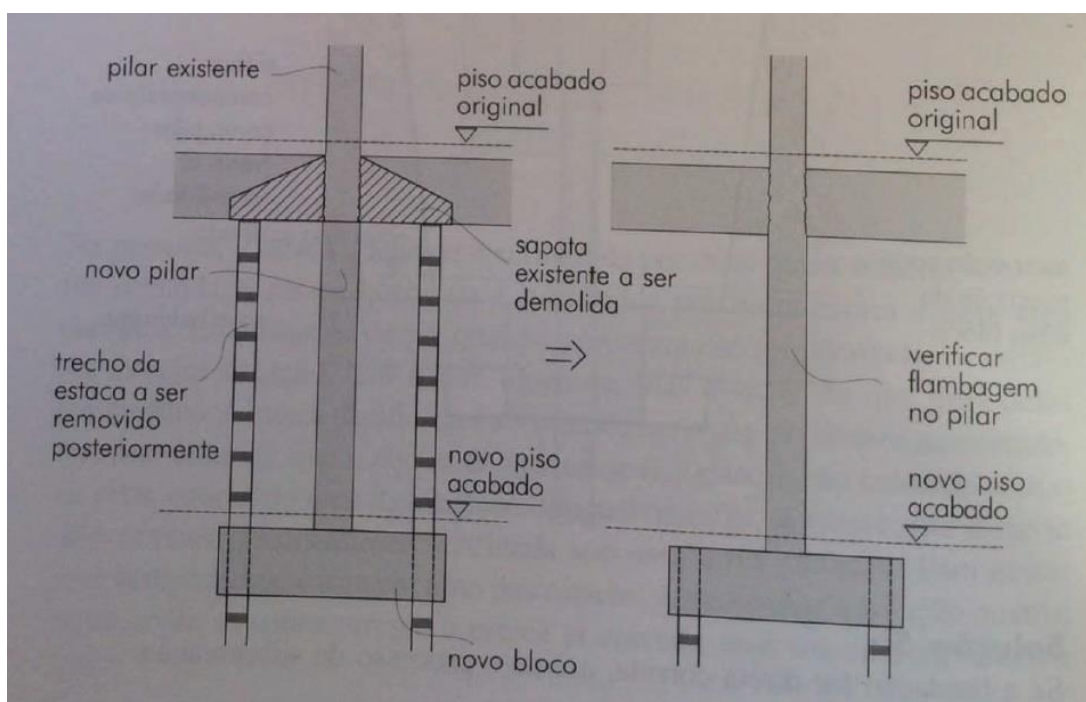
Segundo Rebello (2008), a substituição de fundações rasa para fundações profundas também é necessária quando há uma alteração arquitetônica no pé direito do pavimento térreo ou no subsolo. No caso de ser uma sapata isolada, utiliza-se estacas mega antes da retirada do solo, conforme está ilustrado na figura 43. Para os baldrames e as fundações direta corrida, utiliza-se a técnica de submuração, que consiste em rasgar o solo sob a fundação existente em faixas de 1 metro aproximadamente e fazer novo trecho de fundação no nível inferior, conforme está ilustrado na figura 44.

Figura 42 Esquema de substituição de sapatas por tubulões.



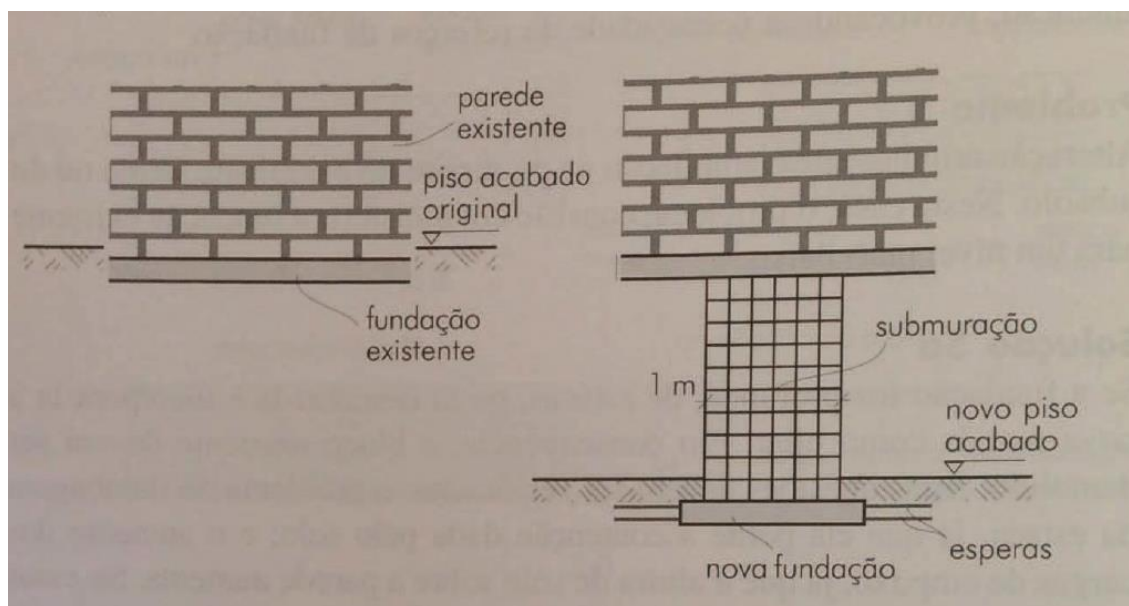
Fonte: HACHICH *et al.* (1998).

Figura 43 Sapata isolada sendo substituída por fundação profunda.



Fonte: REBELLO (2008)

Figura 44 Processo de Submuração.



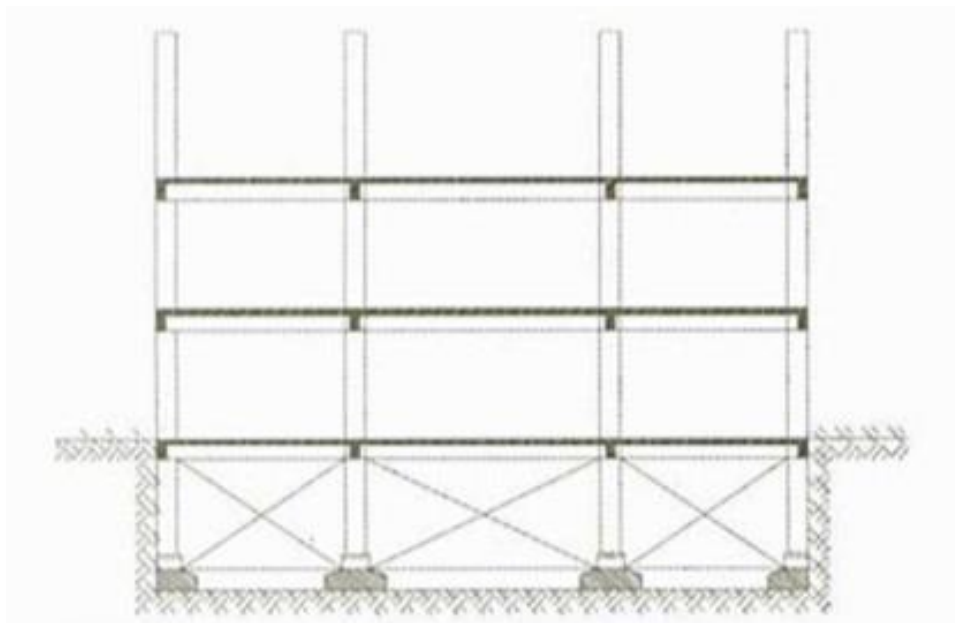
Fonte: REBELLO (2008)

Hachich *et al.* (1998) dizem que há vários métodos de reforço, e a escolha dos tipos estão condicionadas as características dos problemas, como: tipo de solo, fundação existente, urgência, nível de carregamento e espaço físico existente. Dentre os métodos existentes, para as fundações superficiais são aplicados: o reparo dos materiais; enrijecimento da estrutura; aumento da área de apoio, adição de sapatas, tubulões e estacas; melhoria nas condições do solo.

O quais são caracterizados por Hachich *et al.* (1998) da seguinte forma:

- O reparo do material é necessário quando há incidentes de agressão ao concreto ou desgaste das armaduras que formam as sapatas. Ou seja, quando os materiais que constituem os componentes de fundação estão se degradando.
- O enrijecimento da estrutura é viável quando se deseja minimizar os recalques diferenciais, no caso das fundações superficiais este método é alcançado através da inserção de peças estruturais capazes de gerar o travamento da estrutura, conforme a figura 45.

Figura 45 Enrijecimento da estrutura.



Fonte: HACHICH et al. (1998)

- O aumento da área de apoio é simplesmente aumentar o tamanho da sapata, ou seja, é a ampliação da seção em planta da sapata.
- Quando há um aumento no carregamento, uma das alternativas a ser utilizada é o aumento de sapatas. Neste caso o aumento de carga será compensado pelas sapatas adicionadas.
- A melhoria nas condições do solo é a utilização de técnicas como injeções de cimento (*Jet grouting*) para melhorar as características de resistência e compressibilidade do solo.

Em relação ao aumento de carga, Rebello (2008) diz que em virtude de o coeficiente de segurança nas fundações ser elevados, o reforço pode ser dispensado caso a nova carga não ultrapasse 20% da capacidade teórica da fundação.

4.4 Casos reais

4.4.1 Torre de pisa

4.4.1.1 *Descrição do problema e tipos de solo*

Segundo Santos (2014) de 1178 até 1272 e de 1278 até 1360 a torre de Pisa teve seu processo construtivo interrompido. Na segunda etapa de construção a torre começou a apresentar inclinação, o qual foi aumentando gradativamente até atingir 5,5 graus de desaprumo em 1993. Momento em que deram início aos processos de estabilização.

Santos (2014) diz que as três camadas de solo abaixo da Torre consisti em areia mais silte argiloso, areia marinha e areia marinha densa. Sendo os dez metros iniciais composto por areia e silte argiloso, abaixo dessas camadas há faixa de aproximadamente 30 metros de areia marinha e nos próximos vinte metros o solo é composto por areia marinha densa. Santos (2014) acrescenta que a areia marinha que compreende a camada B, é um tipo de solo que quando submetido a tensões perde muita rigidez.

4.4.1.2 *Soluções adotadas*

1º. Controle da inclinação

Segundo Santos (2014), apenas em 1911 foram iniciadas as medições precisas. E com base nessas medições foi constatado que o desaprumo aumentava progressivamente, chegando a gerar em 1990 um deslocamento de 1,5 mm/ano no topo da torre. Ainda Santos (2014), baseado nos dados coletados, foi possível apurar que o problema é maior na instabilidade de inclinação do que na capacidade de carga do solo.

Graças à instalação de piezômetro no solo, foi possível constatar uma grande variação do nível de água entre os meses de setembro e dezembro, onde a incidência de chuvas é maior, conseqüentemente ocorria também um aumento na velocidade de inclinação da torre. Santos (2014) afirma que com a utilização do equipamento foi possível observar que o lado norte da torre em relação ao lado sul, tinha o aumento do nível de água maior, já que o lado sul estava sofrendo maior carga devido a inclinação, que devido a este fator a poropressão (pressão da

formação ou pressão de poros, é a pressão que o fluido exerce no interior dos poros dos elementos porosos, como o solo e as rochas) era menor e assim contribuindo para a rotação em direção ao sul.

2º. Estabilização provisória da torre

Santos (2014) diz que em 1993 a inclinação da torre foi diminuída cerca de 0,0167 graus, devido a aplicação de um anel de concreto removível ao redor da base da torre, com uma carga de 600 toneladas de chumbo. Alguns anos depois a torre quase entra em colapso devido a uma tentativa com congelamento do solo, que fez com que a torre recalcesse ainda mais, pois o volume de água aumentou devido ao congelamento.

3º. Estabilização por escavação subterrânea

Conforme Santos (2014) descreve, em 1999 foi dado início ao processo de escavação subterrânea para estabilizar o recalque, e entre os meses de fevereiro e junho, esse processo diminuiu a inclinação da torre cerca de 0,022 graus. Este procedimento consiste em instalar tubos de extração de solo abaixo da fundação. Os tubos são integrados por uma hélice contínua no interior de outro tubo que gira em sentido contrário para contrabalancear e minimizar a vibração durante o procedimento.

Santos (2014) relata que tal procedimento se demonstrou muito eficiente e no início do ano de 2000 foram instalados mais quarenta e um tubos de extração de solo com cinquenta centímetros entre eles. No mesmo ano foi iniciada a retirada dos pesos de chumbo, sendo que no início do ano 2001 todos eles já haviam sido totalmente retirados e posteriormente o anel de concreto também foi retirado. Em junho do mesmo ano foi feita a última extração de solo e remoção do tubo, nesse período a torre havia reduzido cerca de 0,5 graus.

4º. Estabilização do nível de Água

De acordo com Santos (2014) a variação do nível de água era um dos principais fatores responsáveis pelo movimento da torre. No lado sul era 50% mais profundo em relação ao nível no lado norte. Diante desse problema foram instalados poços de drenagens interligados no lado norte da torre para excluir a variação no lençol freático e diminuir os efeitos de rotação.

Santos (2014) afirma que o processo de estabilização do nível de água fez com que a poropressão diminuísse e assim teve uma contribuição significativa para a diminuição da inclinação da torre.

Ainda Santos (2014), juntamente com a escavação subterrânea, o controle do lençol freático diminuiu a inclinação da torre cerca de 10% do valor máximo atingido. Apresentando recalque de 1 mm por ano. Apesar da inclinação mantida, hoje sua situação é estável.

4.4.2 Orla de santos

4.4.2.1 *Descrição do problema e tipo de solo*

Segundo Hachich (1997), nas décadas de 50 a 70 a maioria dos prédios da orla marítima da cidade de Santos-SP foi construída sobre fundações diretas apoiadas na camada de areia superficial. Especificamente, o edifício exemplificado por Hachich (1997), está sobre um solo com camadas de areia fina siltosa e Argila marinha siltosa.

O autor Hachich (1997) acrescenta que movimentações de corpo rígido (translação e rotação) são mais comuns na orla marítima de santos, o que ratifica a hipótese de os recalques emana de camadas profundas. Pois, a camada de areia superficial onde as fundações diretas apoiam-se, tende a absorver parte das distorções quando esta camada é mais rígida que a camadas de argila subjacentes.

4.4.2.2 *Causas prováveis*

Conforme Hachich (1997) descreve, quando submetida a grandes tensões, a argila tende a sofrer grandes variações volumétricas. Porém esse processo de adensamento pode levar anos, pois quando esse tipo de solo é saturado, ele tem que expulsar parte da água contida entre suas partículas para que ocorra a variação volumétrica. Mas devido à permeabilidade muito baixa da argila, essa expulsão de água é lenta.

Segundo Hachich (1997), um fator que pode ter deflagrado o processo de desnivelamento é a diferença de cargas que neste caso chega a um acréscimo de 6% do lado mais carregado.

Outro problema que Hachich (1997) traz, é a frequência na orla de Santos de recalques diferenciais agravados por construções vizinhas, podendo ocorrer sobre adensamento proveniente dos edifícios pré-existentes, ou por aumento da compressão proveniente de construções de edifícios posteriormente.

4.4.2.3 *Renivelamento com sobrecarga*

Segundo Hachich (1997), em um *workshop* realizado na cidade de Santos em 1996 sobre o assunto, foram apresentadas treze soluções e nove delas sugeria o uso de estacas como solução para o problema. Porém o autor acreditava em intervenções menos onerosas, como por exemplo, a utilização de módulos metálicos para aplicar uma sobrecarga.

De acordo com Hachich (1997), cada módulo especialmente fundido tinha o peso de cinco toneladas, com a forma de um paralelepípedo, esses módulos poderiam ser facilmente transportados, movidos e removidos com o uso de equipamentos usuais.

Hachich (1997) diz que os módulos devem ser enterrados junto aos pilares com menos recalque. Porém, caso haja espaço disponível os módulos não precisam ser enterrados, tornando assim o processo mais flexível, pois permite que correções (acrescentando, removendo ou relocando módulos) sejam efetuadas rapidamente sem que aja a necessidade de escavação.

Hachich (1997) acrescenta que ao longo de todo processo de renivelamento é de extrema importância o monitoramento das sobre pressões neutras, os recalques, a inclinação do edifício e as condições da estrutura.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo apresentar as principais patologias que ocorrem nas fundações superficiais e pode-se concluir que estas dizem respeito aos deslocamentos e aos mecanismos de deterioração do concreto dos elementos. Sendo assim, tem-se o recalque e as fissuras como principais patologias.

Quanto à identificação das causas e mecanismos de formação, foi constatado que os recalques são gerados principalmente devido à interação solo-estrutura, quando não é realizada a sondagem completa de solo, ou quando ela não é feita como se pede na normatização, podem ocorrer diversos casos que iram levar a fundação a entrar no processo de recalque como foi mostrado neste trabalho.

Os recalques diferenciais também promovem o aparecimento de fissuras, podendo ser na alvenaria ou em casos mais graves ocorrendo nos elementos estruturais da superestrutura. As fissuras também como foram mostradas podem ser de níveis desprezíveis, quando o único dano que causa é estético, ou em situações mais sérias essas fissuras viram trincas ou rachaduras que podem comprometer a segurança e a resistência da edificação.

Além da interação solo-estrutura, as patologias aparecem por diversos outros fatores, como a má execução dos elementos de fundação superficial, realizado geralmente por leigos e não possuindo uma vistoria por profissional especializado na área, eventos pós-conclusão da obra, onde a edificação não é utilizada de acordo com o que foi projetada, análise irregular de projetos, quando é realizado um tipo de fundação que não irá atender ao que é necessário, podendo ser pelo fato do solo ou por outros fatores.

Tanto o recalque quanto as fissuras quando não se estabilizam devem ser feitos a intervenção e reparo dos mesmos, com o intuito de restabelecer a segurança e resistência da superestrutura, para isso é de extrema necessidade a realização de uma análise geotécnica completa e realizada por empresas e profissionais de boa índole e capacitados para tal processo. O processo de intervenção sendo realizado por um profissional especializado, ele pode sugerir análises complementares em casos de dúvidas, como forma de diminuir os riscos de

falsos resultados. É sempre importante obter dados referentes às construções vizinhas, no intuito de eliminar possíveis interferências.

A execução deve ser de acordo com que está determinada em projeto, assegurando que os carregamentos da superestrutura sejam transmitidos para o solo na intensidade prevista.

Este trabalho conclui que a partir do momento que é feito a identificação das patologias que sugerem recalques de fundação é necessário que seja feito o controle do mesmo, ao longo do tempo como forma de garantir a segurança, resistência e prever o comportamento futuro da superestrutura.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120. *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6489. *Prova de carga direta sobre terreno de fundação*. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8036. *Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios*. Rio de Janeiro, 1983.
- BASTOS, P. S. S. *Sapatas de fundação*. Apostila de elementos de fundações, Bauru/SP, v.1,125p, 2016.
- BERENGUER, R. A. *RAA em estruturas de concreto armado de uma edificação residencial*. *Revista, concreto*. Editora IBRACON. São Paulo, v.83, Jul/Set 2016. Disponível em:
<<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2016/08/Revista-Concreto-IBRACON-83-Inspe%C3%A7%C3%A3o-e-Manuten%C3%A7%C3%A3o-4-1.compressed.pdf>>.
Acesso em: 07 de dezembro de 2017.
- BOTELHO, M. H. C.; CARVALHO, L. F. M. *Quatro edifícios, cinco locais de implantação, vinte soluções de fundações*. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos solos e suas aplicações*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2012.
- CINTRA, José Carlos A. AOKI, Nelson. ALBIERO, José Henrique – *Fundações Diretas, projeto geotécnico* – Editora PINI, Belo Horizonte, 1998.
- GOTLIEB, M. Reforço de fundações. In: AUTORES, V. *Fundações: Teoria e Prática*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 12.

GUSMÃO, A. D. *Desempenho de fundações de edifícios. Simpósio sobre ISE*, São Carlos, 2000. 07.

GUTIERREZ, N. H. M. *Influências de aspectos estruturais no colapso de solos do norte do Paraná*. 2005. 328p. Tese (Doutorado em Geotecnia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

HACHICH, W. *O renivelamento dos edifícios de santos. Revista Técnica*. Editora Pini. São Paulo, v.28, maio de 1997. Disponível em:

<<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/28/artigo286120-1.aspx>>. Acesso em: 16 de novembro de 2017.

HACHICH, W. FALCONI, F. F. SAES, J. L. FROTA, C. S. C. NIYAMA, S. *Fundações, Teoria e Prática*. Editora PINI, São Paulo, abril 1998.

HUSSEIN, J. S. M. *Levantamento de patologias causadas por infiltração devido à falha ou a ausência de impermeabilização em construções residenciais na cidade de Campos do Mourão - PR*. 2013. 54p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo do Mourão, 2013.

LOLLO, J. A. *Solos Colapsíveis, identificação, Comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas*. Nova ed. São Paulo: Unesp, 2008. 266p. Disponível em:

<<https://www.passeidireto.com/arquivo/23569249/solos-colapsiveis---livro>>.

Acesso em: 02 de outubro de 2017.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, C.; SCHNAID, F. *Patologia das fundações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

OLIVEIRA, A. M. *Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalques diferenciais de fundações*. 2012. 96p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

OLIVEIRA, L. M. *Acidentes Geológicos Urbanos*. 80p. Dissertação (Serviço Geológico do Paraná). Governo do estado do Paraná, Curitiba, 2010.

ORTIGÃO, J. A. R. *Mecânica dos Solos dos Estados Críticos*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

PILÓ L. B. *Geomorfologia Cárstica*. São Paulo, v. 01, n. 01, p. 88-102, 2000.

Disponível em:

<http://www.ugb.org.br/home/artigos/RBG_01/Artigo09_RBG_2000.pdf>. Acesso em: 21 de outubro de 2017.

PINTO, C. D. S. *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

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

RODRIGUES, R. A. Colapso do solo desencadeado pela elevação do nível de água. São Paulo, v. 01, n. 06, p.13-27, 2013. Disponível em:

<https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/521>. Acesso em: 15 de outubro de 2017.

SANTOS, G. V. *Patologia devido ao recalque diferencial em fundações*. 2014. 111p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014.

SILVA, C. A. SILVA, F. A. *Causas e mecanismos de formação de fissuras em concreto e alvenaria cerâmica*. 2010. 78p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2010.

SOUZA, M. F. *Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações*. 2008. 64p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, V. C. D.; RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 1998.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. D. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: AUTORES, V. *Fundações: Teoria e Prática*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 7.

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

VELLOSO, D. A. LOPES, F. R. *Fundações*. Nova Ed. São Paulo, oficina de texto 2004.