

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATOLOGIA DAS FUNDAÇÕES

Lindon Jonson Costa de Almeida

SÃO LUIS MA

2017

Lindon Jonson Costa de Almeida

PATOLOGIA DAS FUNDAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.^a MSc Carlos César Pereira Almeida

SÃO LUIS MA

2017

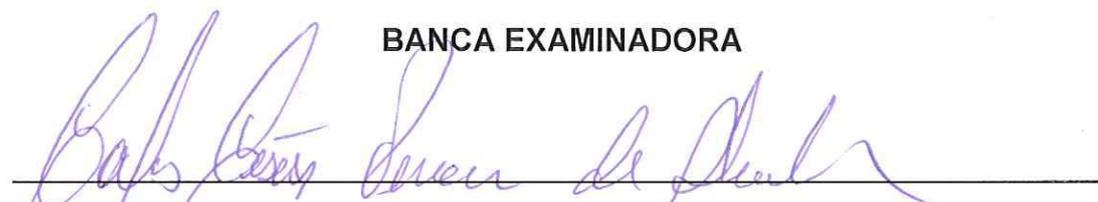
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
ENGENHARIA CIVIL

Lindon Jonson Costa de Almeida

PATOLOGIA DAS FUNDAÇÕES

APROVADO EM 30 / 06 / 2017

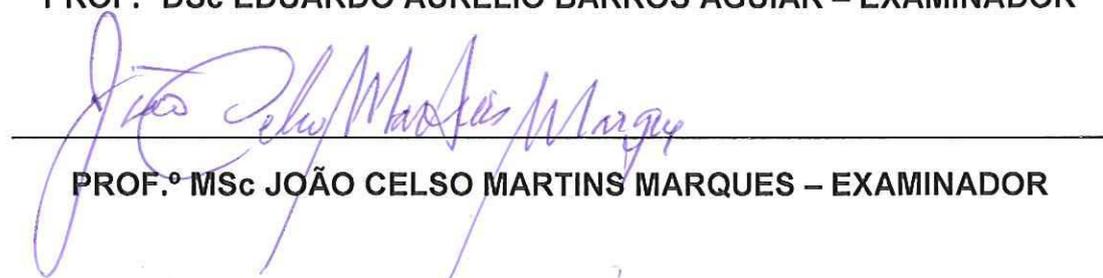
BANCA EXAMINADORA



PROF.º MSc CARLOS CÉSAR PEREIRA ALMEIDA – ORIENTADOR



PROF.º DSc EDUARDO AURÉLIO BARROS AGUIAR – EXAMINADOR



PROF.º MSc JOÃO CELSO MARTINS MARQUES – EXAMINADOR

Dedico este trabalho aos meus pais e familiares que sempre estiveram conosco me encorajando a fazer o meu melhor, mesmo dentre as dificuldades encontradas no desenvolvimento e elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a todos os meus familiares em especial meu pai e minha mãe e principalmente meu tio Antonio que sempre me apoiaram na conclusão e a todos os colegas que tive o prazer de conhecer no decorrer deste curso.

Agradeço a Prof.^a Carlos César pela atenção e orientação dada neste trabalho, pelo total empenho em fornecer todas as informações necessárias ao desenvolvimento de nossa pesquisa.

Também agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso e não foram aqui citadas.

A razão pela qual algumas pessoas acham tão difícil serem felizes é porque estão sempre a julgar o passado melhor do que foi, o presente pior do que é e o futuro melhor do que será.

Marcel Pagnol

RESUMO

Este trabalho tem em vista identificar e amostrar as principais patologias que surgem nas fundações da construção civil, além de mostrar o tipo de solo apropriado para cada tipo de fundação. A identificação das patologias das fundações durante a elaboração do projeto estrutural, nem sempre são possíveis, devido a existência de varias situações, tais como: comportamento do solo, análise do projeto, execução das fundações, ações pós-conclusão das fundações e degradação dos materiais constituintes. No decorrer deste trabalho foram explicitado cada uma destas causas, indicando os problemas decorrentes e, sempre que possível, exemplificando afim de tornar a compreensão de forma mais fácil. Os problemas presentes em nível de fundações são retratados de uma forma difícil de serem investigados anteriormente a execução, conseqüentemente esta etapa torna-se de fundamental importância para o bom funcionamento e para que não afetem os princípios básicos da durabilidade e segurança da edificação, prejudicando a obra de forma geral. Nas principais situações onde foram detectadas as patologias das fundações, ficou visível que havia uma carência de controle na execução, de sondagens do solo insuficientes, empregando fundações inadequadas para o solo existente. Observa-se a existência de uma grande necessidade de dar uma maior atenção para esta etapa tão importante da construção civil, por causa das graves conseqüências que podem ocasionar com a má execução desta fase. Este trabalho alvejou explorar as principais causas das patologias das fundações, com base em pesquisa bibliográfica, assim como mostrar as precauções a serem tomadas afim de evitá-las, reduzindo o custo final da obra e aumentando a confiabilidade desta etapa.

Palavras chave: Patologia, Fundação, Solo.

ABSTRAT

This work aims to identify and sample the main pathologies that arise in the foundations of civil construction, besides showing the type of soil suitable for each type of foundation. The identification of the pathologies of the foundations during the elaboration of the structural project are not always possible due to the existence of several situations, such as: soil behavior, project analysis, foundation execution, post-completion of foundations and degradation of materials. Constituintes. no follows from this work were explained each of these causes, indicating the problems arising and, where possible, exemplifying in order to make understanding easier. The problems present at the foundations level are difficult to be investigated prior to the execution, therefore this stage becomes of fundamental importance for the good functioning and so that they do not affect the basic principles of the durability and safety of the building, harming the Work in general. In the main situations where the pathologies of the foundations were detected, it was evident that there was a lack of control in the execution of insufficient soil surveys, employing inadequate foundations for the existing soil. There is a great need to pay more attention to this important stage of civil construction, because of the serious consequences that can result from the poor execution of this phase. This work aimed to explore the main causes of pathologies of foundations, based on bibliographical research, as well as to show the precautions to be taken in order to avoid them, reducing the final cost of the work and increasing the reliability of this stage.

Key words: pathology, foundation, soil.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Torre de Pisa, Itália.	17
Figura 2 – Edifício em Santo, São Paulo.	17
Figura 3 - Incidência das patologias de fundações em geral no Rio Grande do Sul quanto à sua origem.	19
Figura 4 – Ilustração com sondagens insuficientes.	23
Figura 5 – Número de sondagens insuficientes.	23
Figura 6 – Exemplo investigação do subsolo a uma profundidade insuficiente em relação à área afetada pela implantação da sapata.	24
Figura 7– A) Ação das raízes que exerce força sobre a estrutura; B) Ação das raízes que altera o teor de umidade e provoca movimentos no solo.	27
Figura 8- Influência da vegetação na ocorrência de fissuras.	28
Figura 9- Efeitos da inundação em solo colapsável.	29
Figura 10 – A) e B), exemplos dos danos provocados devido a variação volumétrica do solo.	31
Figura 11 - Ruptura de um pórtico causada por expansão de solos.	32
Figura 12- Fenômeno de subsidência em áreas de mineração.	33
Figura 12- Fenômeno de subsidência em áreas de mineração.	34
Figura 14 – Exemplo de subsidência devido a dissolução da camada de calcário. ...	36
Figura 15 – Esquema que explica a origem do colapso do solo em Cajamar devido ao processo de dissolução das camadas abaixo do solo.	37
Figura 16 – Consequência da execução das Fundações executadas sobre matacões.	38
Figura 17 – Fundação executado sobre matacões.	39
Figura 18 – Exemplo de adoção de um perfil de terreno otimista quando na realidade existe uma camada de argila que poderá provocar assentamentos na estrutura do prédio e, conseqüentemente, fissuras na estrutura.	42
Figura 19 – A) sobreposição das tensões. B) assentamentos nas estruturas devido a sobreposição de tensões.	44
Figura 20 – Exemplo das tensões transmitidas ao solo pelo prédio representado num programa de elementos finitos.	45
Figura 21 – Exemplo da sobreposição das tensões representadas num programa de elementos finitos.	45

Figura 22 – A Torre de Pisa apresenta uma inclinação de 5,5° devido aos assentamentos da base.	46
Figura 23 – Grupos de estacas apoiadas em camadas resistentes mas sobrepostas em solos moles, provocando no caso A) ruptura e no caso B) problemas de assentamentos.....	47
Figura 24 – Esquema de atuação do atrito negativo ao longo das estacas na vertical e com inclinação.	48
Figura 25 – Esquema de atuação do atrito negativo ao longo da estaca.	49
Figura 26 -. Condição geométrica caracterizando aterro assimétrico sobre camadas sub-superficiais de solos moles, provocando o aparecimento de solicitações horizontais atuantes nas estacas em profundidade (“Efeito Tschebotarioff”).....	50
Figura 27 – Efeito Tschebotarioff.	50
Figura 28 – Tração em grupo de estacas.....	51
Figura 29.- Comprimento de flambagem real do pilar sobre estaca isolada sem travamento nas duas direções, diferente do cálculo.....	52
Figura 30 – Quando o travamento das estacas não é feito pode originar a flexão das estacas e,consequentemente, instabilidade da estrutura.	52
Figura 31 - Flambagem de estacas esbeltas em solos moles.	53
Figura 32 -. Sistema de fundações diferentes originados por cargas diferentes, não separados por junta, provocando recalques diferenciais.....	54
Figura 33 – Efeitos do assentamento da estrutura provocado pela compactação do aterro sobre ascamadas mais frágeis.	55
Figura 34 – Níveis diferentes de carregamento sem junta.	56
Figura 35 - Uso apenas de cargas máximas em situação com momentos nas fundações.	58
Figura 36 – A) Exemplo de escavação para posterior aterro para implantação de fundações a mesma cota.	67
Figura 37 – Redução do nível freático com ajuda de bombas durante a betonagem	69
Figura 38 – Exemplo de alteração do uso de uma estrutura, onde o projeto inicial era uma escola mas foram feitas modificações para o prédio ser usado como uma biblioteca.....	73
Figura 39 – Problemas causados pela construção de novas estruturas sem junta de separação.	74
Figura 40 – Descalçamento das fundações da estrutura devido a escavações próximas.	76
Figura 41 – Impulsos provocados pela água presente no solo sobre uma estrutura.	77

Figura 42 – O rebaixamento do nível freático para construção de uma nova estrutura pode provocar patologias em estruturas vizinhas como assentamentos.	78
Figura 43– Exemplo da alteração do fundo do leito do rio devido a erosão.....	79
Figura 44 – Influência da permeabilidade do concreto no fator a/c.....	83
Figura 45 – Exemplos de estaca de concreto com degradação relacionada a ataque de sulfato.	87
Figura 46 – Taxas de corrosão de zonas de estacas de aço em ambiente marinho.	89
Figura 47 – Exemplo de aplicação de estaca metálica parcialmente cravada, em água doce muito poluída.	90
Figura 48 – Estacas de uma antiga ponte de madeira, com danos causados pela degradação.	91
Figura 49 – Influência das condições locais na degradação e ataque a estacas.....	92

INDICE DE QUADROS

Quadro 1 - resumo dos problemas típicos decorrentes de ausência de investigação para os diferentes tipos de fundações.....	21
Quadro 2 - Tipos de rolos utilizados na compactação de solos.....	63
Quadro 3 - Classificação dos solos quanto a sua aplicação em aterros.....	65

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Redução na permeabilidade da pasta de cimento (relação a/c = 0,7) com evolução da hidratação.	84
Tabela 2 – Agressividade natural segundo DIN 4030.....	85
Tabela 3 – Classificação da agressividade do ambiente na durabilidade concreto. .	85
Tabela 4 – Correspondência entre classes de agressividade e qualidade do concreto.	86
Tabela 5 - Corrosão (mm) de estacas metálicas em solos, acima e abaixo do lençol freático.	88
Tabela 6 - Corrosão (mm) de estacas metálicas em água doce e água do mar.	90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	PATOLOGIA DAS FUNDAÇÕES	16
2.1	Origem das patologias das fundações	17
3	CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO SOLO E INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO	20
3.1	Ausência de investigação.....	20
3.2	Investigação insuficiente	22
3.3	Investigação com falhas	24
3.4	Investigação inadequada dos dados do programa de investigação.....	25
3.5	Casos especiais	26
3.5.1	Influência da vegetação	26
3.5.2	Colapsibilidade	28
3.5.3	Expansibilidade.....	31
3.5.4	Zonas de mineração	33
3.5.5	Zonas cársticas	35
3.5.6	Ocorrência de matacão	37
4	ANÁLISE E PROJETO DAS FUNDAÇÕES	40
4.1	Problemas envolvendo o comportamento do solo	41
4.2	Problemas envolvendo os mecanismos de interação solo-estrutura	44
4.3	Problemas envolvendo o desconhecimento do comportamento real das fundações.....	53
4.4	Problemas envolvendo a estrutura de fundações	56
4.5	Fundações sobre aterro.....	60
4.5.1	Deformações do corpo do aterro por causa do peso próprio.....	62
4.5.2	Deformação do solo natural abaixo do aterro, devido acréscimo de tensões do peso próprio do aterro e pelas cargas da estrutura.....	64
4.5.3	Assentamento do aterro sobre lixões ou aterros sanitários	65
5	EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES.....	66
5.1	Problemas de execução em fundações superficiais.....	66
5.1.1	Problemas envolvendo o solo.....	67
5.1.2	Problemas envolvendo o elemento estrutural da fundação.....	68
5.2	Problemas de execução em fundações profundas	70
5.2.1	Problemas genéricos	70

6	EVENTOS PÓS-CONCLUSÃO DAS FUNDAÇÕES	72
6.1	Alterações no carregamento da estrutura.....	72
6.2	Movimento da massa de solo decorrente de fatores externos	74
6.3	Vibrações e choques.....	79
7	DEGRADAÇÃO DE MATERIAIS.....	82
7.1	Concreto	82
7.2	Aço	87
7.3	Madeira	91
7.4	Rochas	92
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
9	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	93
	REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

As fundações são elementos estruturais resultante da necessidade de transferência de cargas ao solo pela construção de uma estrutura. Sua capacidade de continuar desempenhando sua função pode ser comprometida por diversos fatores ao longo do tempo, desde os mais simples de identificar como os encontrados em projetos estruturais, ou aqueles que dependem de certo conhecimento sobre solo a qual serão executadas, passando pelos procedimentos de execução e também uma possível degradação dos materiais utilizados.

As patologias decorrentes das fundações não comprometem somente a segurança da estrutura como também podem resultar em demandas judiciais entre construtores e proprietários. Os problemas a nível das fundações são muito complexos de determinar uma vez que podem ter origens muito variadas e em diferentes fases da obra, para além de serem tecnicamente muito difíceis de solucionar e implicarem elevados custos adicionais, em razão de diversas situações, tais como: comportamento do solo, execução das fundações, ações pós-conclusão das fundações e degradação dos materiais constituintes. Portanto os problemas patológicos podem ter origem em qualquer uma destas fases e/ou etapas envolvidas no processo construtivo de uma edificação, onde muitas vezes estas podem ser atribuídas a um conjunto de fatores e não somente a uma falha em etapa isolada.

A patologia das fundações se resume ao estudo das causas e dos efeitos dos problemas encontrados, elaborando seu diagnóstico e correção. Na busca de soluções, após a ocorrência do problema, a etapa mais complexa refere-se à identificação das causas e mecanismos responsáveis pelo mau desempenho da estrutura.

Ao longo do trabalho serão explicada cada uma destas causas, mostrando os problemas decorrentes e, sempre que possível, exemplificando de forma que se torne mais fácil a compreensão. Porém, a identificação destas patologias precedente a execução das fundações é fundamental para o seu desempenho, segurança e durabilidade da edificação que está interagindo com a fundação. As situações em que aparecem as patologias das fundações evidenciam a falta de controle, falhas diversificadas e projetos e investigações inadequados. Por isto, a importância deste estudo que visa identificar e exemplificar as principais patologias encontradas nas

fundações da construção civil, além de demonstrar o tipo de solo adequado para cada tipo de fundação. Com isto, se observou a necessidade de maior atenção nesta fase da construção devido às situações de risco que podem submeter às edificações e alto custo de manutenção corretiva. Os trabalhos nessa área ainda são muito restritos e confidenciais, pois geralmente são ligados a falhas construtivas, portanto tem-se o receio de divulgá-los.

Este trabalho tem por objetivo demonstrar, de forma simplificada, as principais causas relacionadas às patologias de fundações, além de analisar os danos causados nas edificações assim como demonstrar como podem ser evitadas, reduzindo o custo final da obra e aumentando sua confiabilidade. Serão apresentados alguns casos reais de patologias em decorrência de recalques de fundações em diferentes tipos de edificações com o objetivo de exemplificar o trabalho teórico.

2 PATOLOGIA DAS FUNDAÇÕES

De acordo Verçoza (1991), as fundações são as responsáveis por rachaduras, fissuras ou trincas e outras lesões em prédios, o problema mais comum nas fundações é chamado recalque diferencial, o que está ilustrado nas figuras 1 e 2.

Segundo Schwirck (2005) as patologias são decorrentes das inúmeras incertezas e riscos que podem acontecer na construção e vida útil das fundações. Algumas patologias podem ser identificadas durante a na fase construtiva, o qual garante seu comportamento adequado e segurança. A fundação é um elemento de transição entre a estrutura e o solo, seu comportamento está ligado ao que acontece com o solo quando submetido a carregamento. O mesmo comportamento pode ser afetado por inúmeros fatores, iniciando por aqueles decorrentes do projeto propriamente dito, que envolve o conhecimento do solo, passando pelos procedimentos construtivos e finalizando por efeitos de acontecimentos pós-implantação e incluindo sua possível degradação.

Existem também situações nas quais os solos apresentam deformações ou variações volumétricas não provocadas pelo carregamento das fundações, podendo resultar em patologias.



Figura 1 – Torre de Pisa, Itália.

Fonte: (Google Imagens, 2014).



Figura 2 – Edifício em Santo, São Paulo, .

Fonte: (Google Imagens, 2014).

2.1 Origem das patologias das fundações

Considerando que a fundação é um elemento de transição entre a estrutura e o solo, seu comportamento está intimamente ligado ao que acontece com o solo, quando submetido a carregamento através dos elementos estruturais das fundações (Milititsky, 2008).

O sucesso ou fracasso da execução de um projeto de fundações pode depender de uma vasta gama de variações e aspectos, alguns deles considerados detalhes menos significativos.

O conhecimento de todas as possíveis patologias deve garantir uma ação mais qualificada dos diferentes atuantes na vida das fundações, desde os profissionais participantes das etapas de investigação, projeto, contratação, fornecimento de materiais, execução e fiscalização do trabalho, até os envolvidos

com atividades pós-construção, utilizando a boa prática, normalização vigente, empresas qualificadas, evitando assim o surgimento de problemas.

O estudo e identificação de uma manifestação patológica de fundações ocorre a partir da determinação das solicitações ou cargas de projeto e da adoção de um modelo de subsolo, obtido através de investigação geotécnica. Essas informações são interpretadas pelo conhecimento estabelecido sobre o comportamento do solo sob carga, ou transmissão de esforços à massa solo. Erros na determinação das cargas (como a desconsideração de momentos fletores e/ou cargas horizontais) podem acarretar a ruptura de fundações.

Schnaid et al. (2005) menciona as principais causas que originam os principais problemas em fundações; de forma geral, temos cinco fases em que os problemas podem acontecer ou ser originados:

- Caracterização do comportamento do Solo e Investigação;
- Análise e projeto das fundações;
- Execução das Fundações;
- Eventos pós-conclusão das fundações;
- Degradação dos materiais constituintes das fundações.

Ao longo do trabalho vai ser explicada cada uma destas causas, mostrando os problemas decorrentes e, sempre que possível, exemplificando de forma que seja mais fácil de compreender.

Segundo o estudo realizado no Rio Grande do Sul de 1974 a 1992, por Silva & Bressani (1994), foram analisados vários casos de obras com problemas de fundações. O resultado encontrado relata as incidências de patologias de acordo com sua origem, no estudo quanto à intervenções nos terrenos adjacentes as obras, conforme a figura 3.

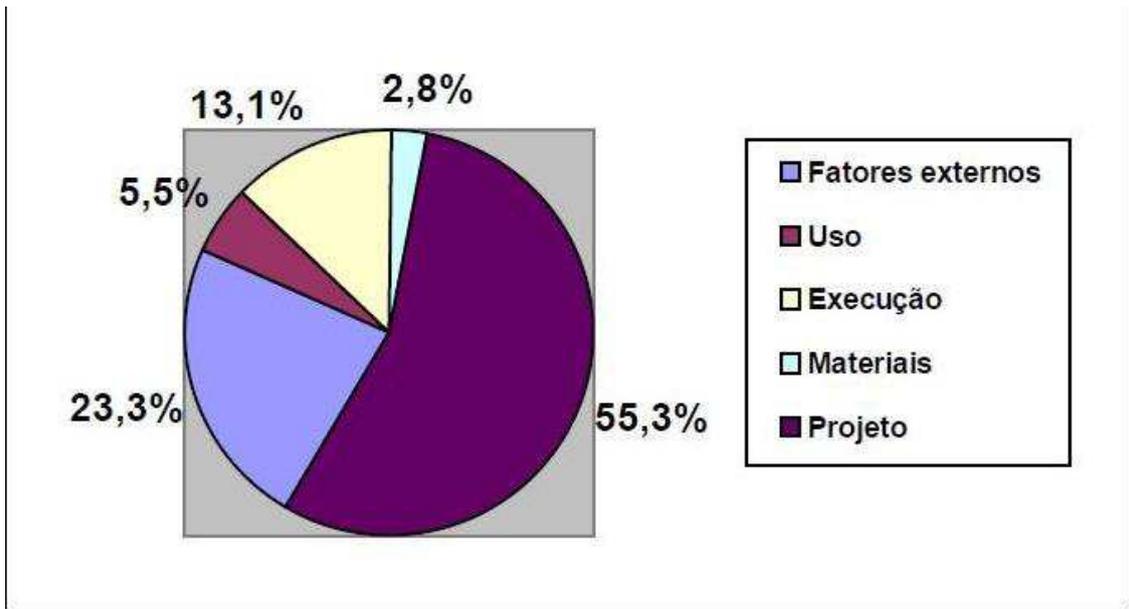


Figura 3 - Incidência das patologias de fundações em geral no Rio Grande do Sul quanto à sua origem. Fonte: (SILVA & BRESSANI, 1994, IN SCHWIRCK, 2005).

De acordo com os dados apresentados pelo gráfico da figura a grande parte das patologias nas fundações encontradas encontra-se na fase de projetos, sendo que o projetista das fundações muitas vezes não recebe informações precisas de eventos ou condições locais ou construtivas diferentes das estabelecidas como representativas do projeto.

3 CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO SOLO E INVESTIÇÃO DO SUBSOLO

A investigação do subsolo ou a ausência dela é um dos problemas que mais levam a ocorrência de manifestações patológicas nas fundações. Uma vez que o solo é o meio de suporte de todas as cargas, a sua análise e caracterização do seu comportamento é indispensável para a solução de qualquer problema que possa surgir.

A investigação deve ser acompanhada por um engenheiro experiente na área, que seja capaz de identificar os problemas que possam surgir e levar a uma instabilidade da estrutura. Sabemos que falta de caracterização dos solos é o responsável pela maior parte dos problemas nas fundações, que é o resultado de uma investigação insuficiente ou com falhas, da má interpretação dos resultados da investigação ou da sua simples ausência.

Segundo Milititsky *et al.* (2005), Partindo do pressuposto que as fundações são os elementos estruturais que transmitem as cargas para o solo seu comportamento está inteiramente ligado com o que acontece com o solo, portanto umas das principais consequências da origem desta patologia está vinculado a uma ausência de investigação do subsolo, patologias decorrentes de incertezas quanto às condições do subsolo podem ser resultado de: investigação insuficiente, investigações com falhas, interpretação inadequada dos dados do programa de investigação e casos especiais.

3.1 Ausência de investigação

A ausência de investigação é observada principalmente em obras de pequeno e médio porte, sendo que a principal causa desta ausência geralmente são motivos econômicos, custo do processo e o orçamento da obra, a não investigação do subsolo é uma prática inaceitável onde o construtor assume o risco de manifestações de patologias na execução da obra. A ausência completa da investigação é o motivo da aplicação de soluções inadequadas para a fundação. O que está de acordo com (Schnaid *et al.*, 2005) que afirma a ausência de investigação é um problema típico de obras de pequeno porte e por vezes também é observado

em obras de médio porte; a principal causa da ausência de investigação, geralmente, são motivos econômicos. Muitas vezes são planejadas obras sem qualquer caracterização dos solos, apenas tendo como base estudos realizados para construção de outras obras do mesmo gênero próximas do local de onde vai ser executado. A ausência de investigação é uma prática inaceitável e que aumenta os riscos de surgimento de problemas estruturais; é do bom senso do engenheiro realizar um estudo sobre as principais características geológicas-geotécnicas do solo.

Logeais (1982) no seu estudo sobre os problemas nas fundações em França, conclui que em mais de 80% dos casos onde se verifica um mau desempenho das fundações em obras de pequeno e médio porte, deve-se à total ausência de investigação do subsolo e como consequência, a adoção de soluções estruturais inadequadas ao solo onde vão ser implantadas; o Quadro 1 apresenta os principais problemas que decorre da ausência de investigação.

Quadro 1: resumo dos problemas típicos decorrentes de ausência de investigação para os diferentes tipos de fundações.

TIPO FUNDAÇÃO	DE PROBLEMAS TÍPICOS DECORRENTES
Fundações diretas	<ul style="list-style-type: none"> • Tensões de contato excessivas, incompatíveis com as reais características do solo, resultando em recalques inadmissíveis ou rupturas; • Fundações sobre solos compressíveis sem estudo de recalques, resultando grandes deformações; • Fundações apoiadas em materiais de comportamento muito diferente sem junta, ocasionando o aparecimento de recalques diferenciais; • Fundações apoiadas em crosta dura sobre solos moles, sem análise de recalques, ocasionando a ruptura ou grandes deslocamentos das fundações.

Fundações profundas	<ul style="list-style-type: none"> • Estacas tipo inadequado ao subsolo, resultando mau comportamento Geometria inadequada, comprimento ou diâmetro inferiores ao necessários; • Estacas apoiadas em camadas resistentes sobre solos moles, com recalques incompatíveis com a obra; • Ocorrência de atrito negativo não previsto, reduzindo a carga admissível nominal adotada para a estaca.
---------------------	--

Fonte: Milititsky *et al.* (2005)

3.2 Investigação insuficiente

Algumas vezes mesmo sendo feita a execução da sondagem no terreno, a mesma pode se mostrar inadequada ou insuficiente para a determinação das características essenciais para a concepção do projeto e execução das fundações e diagnosticar problemas que possam afetar a fundação e conseqüentemente a estrutura por completa. Dentro deste tópico podem-se destacar os casos típicos de investigação insuficiente: que conforme Soares (S.D), os problemas encontrados em uma investigação insuficiente ou inexistência de sondagem são decorrentes dos seguintes itens e ilustradas nas figuras 4 e 5:

- Número insuficiente de sondagens ou de ensaios (área extensa ou subsolo variado);
- Profundidade de investigação insuficiente;
- Propriedade de comportamento não determinada por necessitar de ensaios especiais (expansibilidade, colapsividade);
- Situações com grande variação de propriedades.

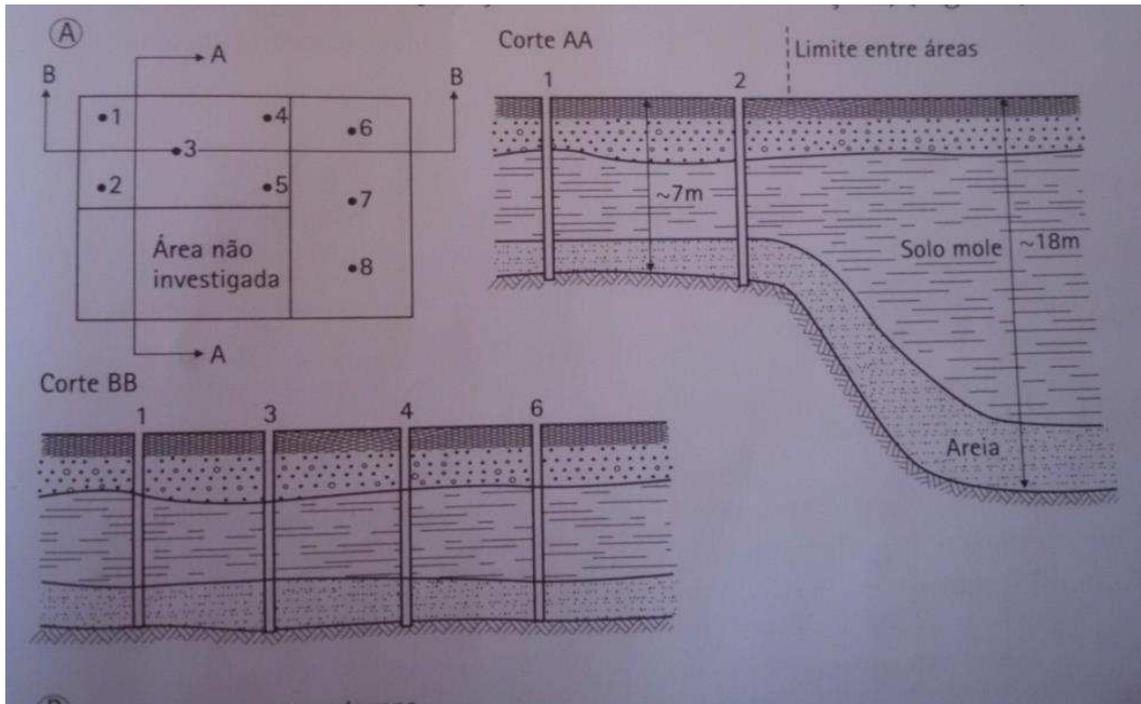


Figura 4 – Ilustração com sondagens insuficientes. Fonte: Milititsky *et al.* (2005).

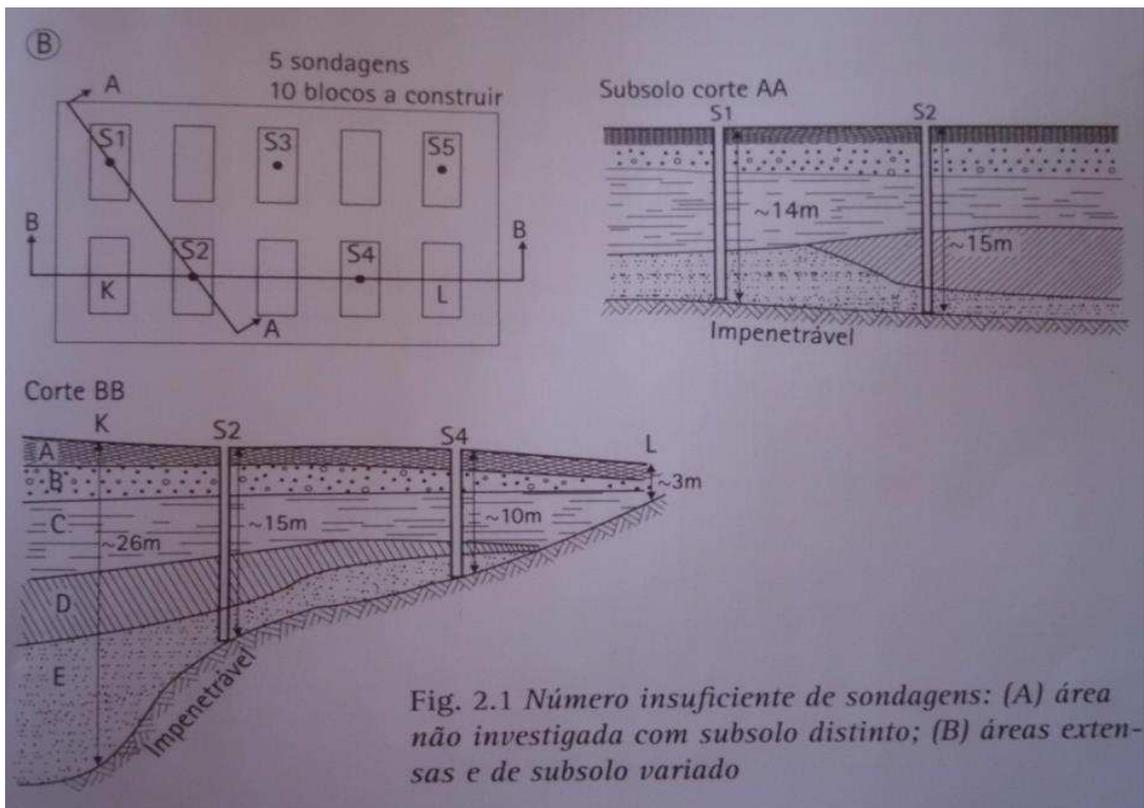


Fig. 2.1 Número insuficiente de sondagens: (A) área não investigada com subsolo distinto; (B) áreas extensas e de subsolo variado

Figura 5 – Número de sondagens insuficientes. Fonte: Milititsky *et al.* (2005).

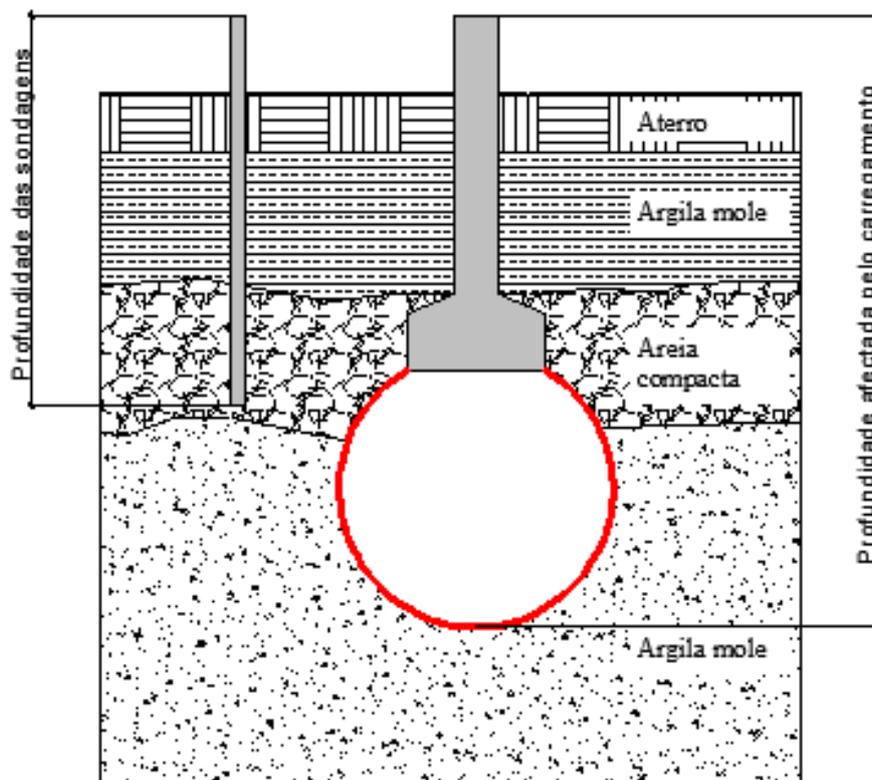


Figura 6 – Exemplo investigação do subsolo a uma profundidade insuficiente em relação à área afetada pela implantação da sapata (Modificado, Schnaid et al., 2005).

3.3 Investigação com falhas

No processo de investigação geotécnica, muitas vezes podem ocorrer erros e/ou falhas que levam ao comprometimento dos resultados obtidos utilizados para elaboração do projeto, afetando assim o bom funcionamento estrutural da nossa edificação.

Segundo Schnaid et al (2005) na realização das sondagens é relativamente comum, erros na localização do local da obra, quando são executadas sondagens em locais fora do perímetro de obra e que não apresentam informações importantes para o projeto, erros de localização incompleta, quando não é definido o local exato da obra e ao fazer o estudo do subsolo poderá ficar zonas por investigar. Outros erros comuns nas sondagens é a adoção de procedimentos indevidos ou ensaios não padronizados, uso de equipamento defeituoso ou fora de validade, equipamento não calibrado, falta de nivelamento dos furos efetuados, má descrição dos solos,

entre outros. Neste contexto também podemos integrar os procedimentos fraudulentos na geração de resultados, por exemplo, alterações nos resultados, furos de sondagens não realizados no entanto, são apresentados os resultados dos mesmos, etc.

Estas falhas concertiza originarão problemas durante a execução das fundações, devido a diferença da caracterização geológica geotécnica do solo obtidos nas sondagens e estimadas nos projeto a realidade encontrada na obra durante a execução; os problemas mais comuns são comprimentos de estacas diferentes dos projetados, presença de rochas em oposição, presença ou ausência de água no subsolo, tipos de solos e espessuras de camadas não descritas nas sondagens, etc. Para evitar este tipo de problemas, o ideal será contratar empresas especializadas e com experiência na área, claro que todos os trabalhos que forem executados deverão sempre ser fiscalizados pela empresa contratante.

3.4 Investigação inadequada dos dados do programa de investigação

Uma análise inadequada do solo pode levar a interpretação e obtenção de valores não representativos gerando sérios problemas, os quais podem provocar um mau desempenho nas funções das fundações.

A adoção de valores que não representam a realidade dos resultados ou ausência da interpretação dos problemas podem resultar no desempenho inadequado das fundações; por exemplo: presença de rochas no subsolo que faz aumentar os valores de resistência à penetração, mas que não aumenta a resistência do solo; valores muito baixos em argilas saturadas indicam a possibilidade de ocorrência de atrito negativo em estacas; solos que tornam-se instáveis na presença de água, por exemplo, os solos porosos tropicais com valores baixos no ensaio NSPT indica a possibilidade de instabilidade quando saturados (Milititsky e Dias, 1986). É de realçar que nas obras de maior dimensão e complexidade deve-se fazer o cruzamento entre os dados obtidos no campo e os dados obtidos no laboratório para fazer uma comparação de dados e diminuir as probabilidades de ocorrência de erros na interpretação dos resultados.

3.5 Casos especiais

Algumas vezes as investigações podem ser acrescidas de ocorrências especiais que são de difícil identificação e podem originar sérios problemas nas fundações; por exemplo, influência da vegetação nas fundações, solos expansivos, solos colapsíveis, materiais cárnicos, regiões de mineração, entre outros, que podem resultar em patologia de difícil reparação e elevados custos acrescidos. Outra possível ocorrência é a de colapso dos solos provocada pela extração de água ou combustíveis fósseis do subsolo.

3.5.1 *Influência da vegetação*

A presença de vegetação nas proximidades das construções pode influenciar no bom funcionamento das fundações através da modificação do teor de umidade do solo ou interferência física das raízes.

As raízes da própria vegetação têm a propriedade de extrair água do solo para garantir a sua sobrevivência. Em consequência, a umidade do solo é alterada de forma significativa, em comparação com a umidade que teria se não existissem tais raízes; esta alteração da umidade dos solos causa, por sua vez, alterações no volume do solo em relação inversa com a sua permeabilidade, fato pelo qual os solos de origem argilosa são os mais afetados. Assim, as fundações apoiadas sobre os solos afetados sofrem movimentos que podem ser verticais ou, eventualmente, horizontais (Palmar,2003).

As árvores, de acordo com o tipo de espécie, alongam suas rede de raízes primárias e secundárias até a quarta ordem; são estas raízes que estão encarregadas pela retirada da água e os nutrientes do solo.

A profundidade das raízes varia dependendo da espécie em estudo, o tamanho da árvore e a profundidade do nível freático. Estas desenvolve-se entre a superfície e a posição do nível freático, geralmente, não ultrapassando os 6 m de profundidade, nos casos em que a água é abundante, as raízes são superficiais, no caso de escassez, as raízes atingem estratos mais profundos, as raízes podem crescer até 20 mm por dia em busca de água e nutrientes.

Quanto a sua extensão as raízes estendem-se lateralmente de forma a reproduzir a sombra da sua folhagem, não um critério padrão, sendo que varia de

espécie para espécie, muitas podem chegar a uma extensão até uma vez e meia a altura da árvore, outras prolongam-se até uma vez e meia o diâmetro atingido pela folhagem.

O consumo de água depende do tamanho, da espécie, do clima, da temperatura, do vento, entre outros; a quantidade consumida por uma árvore esta fixada em centenas de litros por dia.

Sendo assim podemos afirmar que alguns dos principais problemas relacionados com a presença de vegetação nas proximidades de uma edificação são;

- Assentamentos: as árvores causa uma redução do teor de umidade, o que em solos argilosos pode provocar a redução do volume e, conseqüentemente, assentamentos estruturais .
- Levantamento: ocorre quando há equilíbrio solo-vegetação, e com a retirada subita da vegetação, faz com que aumente do teor de umidade provocando um aumento do volume do solo que acaba por mover a estrutura.

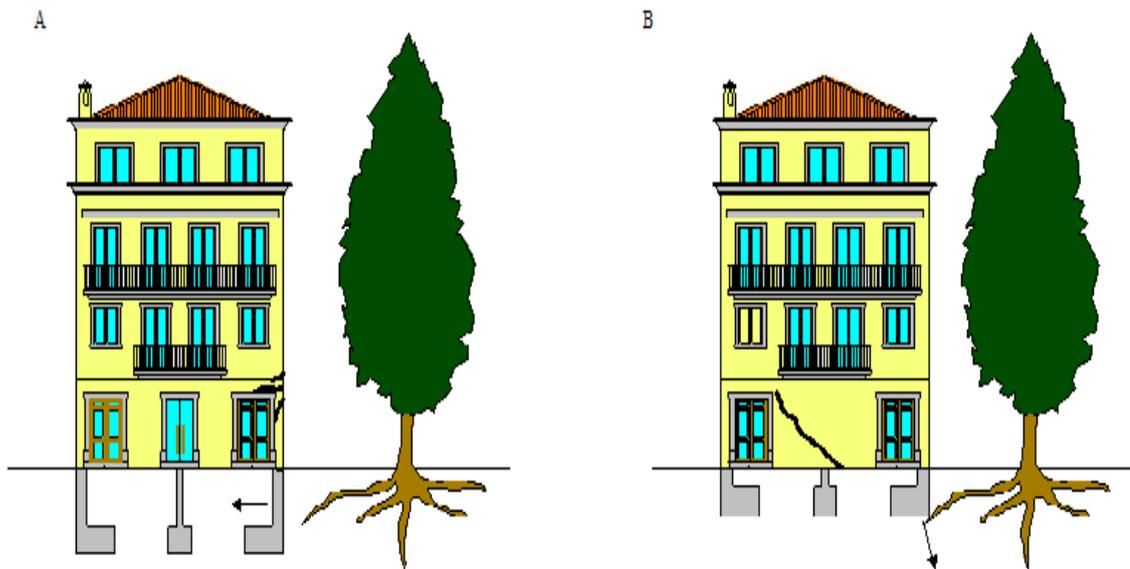


Figura 7– A) Ação das raízes que exerce força sobre a estrutura; B) Ação das raízes que altera o teor de umidade e provoca movimentos no solo (Modificado, Schnaid et al., 2005).

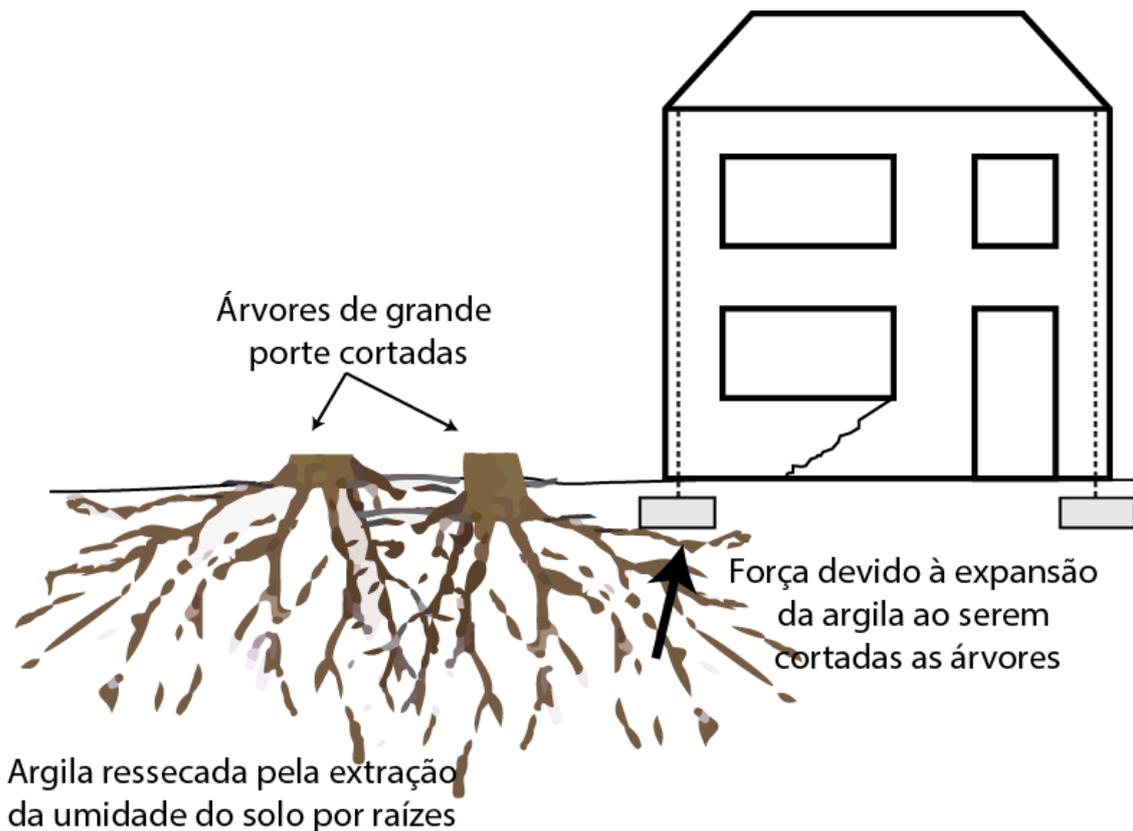


Figura 8 - Influência da vegetação na ocorrência de fissuras. Fonte: (MILITITSKY, CONSOLI e SCHNAID, 2008).

Diante disto podemos adotar algumas medidas preventivas como:

- Controle de espécies agressivas e substituição das árvores que podem causar problemas nas edificações, pavimento;
- Poda contínua das árvores para manter a folhagem num tamanho adequado ao espaço disponível;
- Corte moderado das raízes das árvores que invadem os pavimentos;
- Distribuição moderada de água, especialmente em estações mais secas, de forma a não criar desequilíbrios no sistema solo-vegetação.

3.5.2 Colapsibilidade

Os solos colapsíveis são solos não saturados encontrados em diversas regiões do Brasil, que apresentam uma brusca variação de volume quando submetido à inundação e a um determinado estado de tensão. Este tipo de solo quando inundado apresenta grande deformação e perda de resistência.

Este solo se caracteriza por possuir uma estrutura porosa e instável entre partículas, que é cimentada ou enrijecida de alguma maneira. A estrutura se conserva assim, até que ocorra umedecimento ou mesmo inundação, o cimento se torna brando e a estrutura colapsa. Visto que a capacidade de carga de uma fundação direta apoiada em solo colapsível varia significativamente com a sucção matricial do solo, é importante que esta variabilidade seja considerada na análise de segurança e confiabilidade de projetos de fundações apoiadas em solos colapsíveis. Senão esses solos sofrem um rearranjo das partículas devido ao aumento da umidade e conseqüentemente uma redução de volume – recalque por colapso. Os recalques por colapso podem causar danos à estrutura das edificações, desde os mais simples, como trincas, aos mais problemáticos, como as rachaduras e desabamentos, quando suas fundações estão apoiadas nas camadas superficiais do solo, ou seja, quando são utilizadas fundações diretas.

Schnaid et al. (2005) acrescenta que a ocorrência de acidentes de maiores proporções por colapso da estrutura do solo está normalmente associada a vazamentos de água de canalizações pluviais ou redes de esgotos, reservatórios, piscinas, neste tipo de situações a água é libertada no terreno em grande quantidade, ocasionando variações no teor de umidade e originando o colapso do solo.

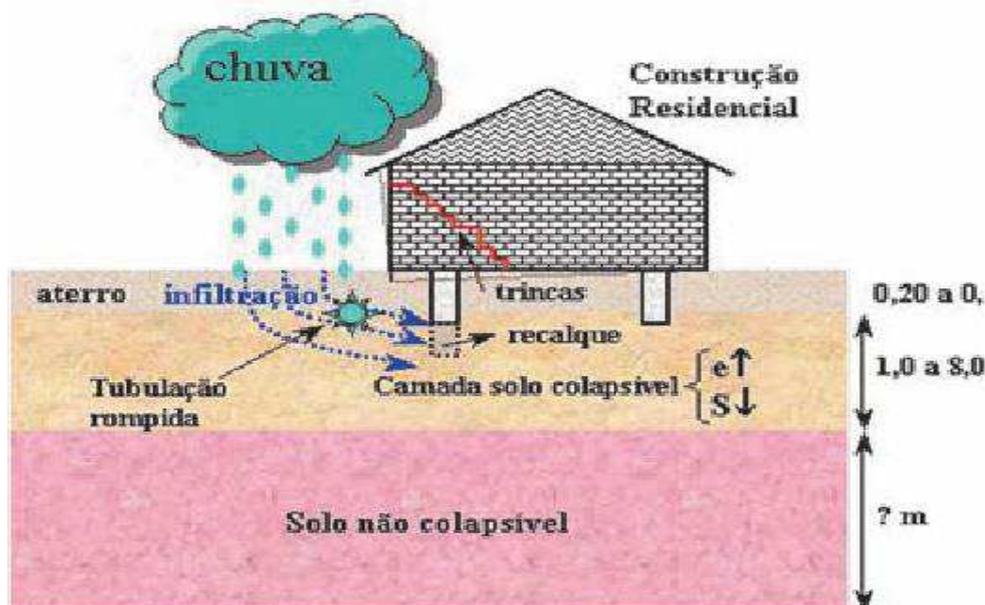


Figura 9 – Efeitos da inundação em solo colapsível .

Sultan (1971) citado por Rodrigues (2003) refere os comportamentos dos solos colapsíveis:

- Alguns solos colapsíveis ao aumentar o grau de umidade sofrem colapso instantâneo, isto pode ser verificado em formações superficiais e formações profundas;
- Alguns solos podem sofrer o colapso após o rebaixamento do nível freático, ao ser retirada água do solo;
- Alguns solos sofrem expansão após saturação, quando aplicadas cargas externas, estes sofrem assentamentos substanciais, devido a presença de materiais altamente expansivos (montmorilonita);
- Depósitos de areis de origem eólica, ao ser aplicadas uma carga, apresentam uma diminuição da velocidade de assentamento;
- Alguns solos arenosos não recuperam a porção de volume perdido durante o colapso;
- Alguns solos argilosos recuperam parte do volume perdido durante o colapso, mesmo que ainda se encontrem sob a ação da carga que provocou o colapso.

Os problemas devido a ocorrência destas variações volumétricas podem ser evidenciado por fissuras nas construções, ruptura de aterros, deslizamento de taludes, danos estruturais de pavimentos, deslizamento de túneis, deformação excessiva do solo compactado, colapso diferenciado nas fundações, entre outros. A identificação de solos colapsíveis é de extrema importância para o desenvolvimento de projetos geotécnicos e ambientais, seguros e otimizados.

A)



B)



Figura 10 – A) e B), exemplos dos danos provocados devido a variação volumétrica do solo (Apontamentos da disciplina de Fundações [1]).

3.5.3 *Expansibilidade*

Solos expansivos são solos não saturados, que quando sujeito a modificações no seu teor de umidade variam seu volume (aumenta ou diminui) sendo este fenômeno associado a presença de argilo-minerais expansivos em solos argilosos. Portanto, seu comportamento é variável e provoca problemas especialmente em fundações superficiais, pois no período de seca, estes solos geralmente se encontram com uma elevada retração, o que acaba lhe conferindo uma resistência relativamente alta, dificultando sua escavação, e no o período de aumento do teor de umidade (períodos chuvosos, infiltração de água decorrente de vazamentos, etc.), esses solos podem experimentar valores de expansão bastante expressivos.

A expansão de um solo de fundação é capaz de provocar danos estruturais às construções sobre ele apoiadas, principalmente as mais leves, com custos de recuperação geralmente de proporções elevadas. A identificação e compreensão dos fatores que causam a ocorrência da expansividade destes solos é de grande

importância a fim de se tomar medidas que reduzem a ação ou anule os efeitos negativos.

Da Silva (2003) acrescenta que um solo expansivo ou potencialmente expansivos aos solos não saturados, que quando sujeitos a alterações do teor de umidade variam o seu volume (aumenta ou diminui), sendo este fenômeno associado a presença de argilo-minerais particularmente montmorilonita e illitas. Os fatores que influenciam a expansão dos solos podem ser de dois tipos, intrínsecos e extrínsecos. Os intrínsecos estão relacionados com o solo, estrutura do solo, composição mineralógica, textura, etc. Os fatores extrínsecos estão relacionados com causas externas como o clima, a hidrologia, a vegetação, etc.



Figura 11 - Ruptura de um pórtico causada por expansão de solos – Município de Poço Verde – SE (Cavalcante et al., 2006).

Uma vez que é difícil controlar as infiltrações de água no solo, o controle de variações de umidade não é tão simples, podendo está se deslocar vertical e horizontalmente abaixo das fundações provocando alterações nos níveis de sucção, e conseqüentemente de volume, por movimentos alternados de expansão e retração. São inúmeros os fatores que produzem variações de umidade, podendo ser necessário intervir ou controlar os efeitos produzidos. Variações sazonais no nível do lençol freático, regime de chuvas e presença de vegetação podem

determinar a ocorrência de patologias. Peck et al. (1974) citado por Schnaid et al. (2005) define três tipos de medidas para controlar o fenômeno da expansibilidade:

- Isolar a estrutura dos solos expansivos através de materiais indeformáveis que são sujeitos às forças de expansão que os comprimem, mas estas forças não são transmitidas a estrutura, esta solução minimiza os efeitos da expansão, mas não os elimina por completo, por isso esta medida deverá ser acompanhada por outras soluções da engenharia;
- Equilibrar as forças de expansão, através de aterros de material inerte sobre o solo, o peso da camada de aterro equilibra as forças de expansão;
- Eliminar os efeitos da expansibilidade através de agentes alcalinos como a cal, que neutralizam os efeitos da expansão.

3.5.4 Zonas de mineração

No Brasil o problema das construções em região com atividades de mineração tem abrangência limitada no Brasil, pelo pequeno número de situações onde esta condição ocorre. Na Europa, nos EUA e no Canadá há uma abrangência maior, pela existência de inúmeras situações onde a extração de minérios ocorre em pequena profundidade, com túneis, galerias e “salões” escavados e abandonados.

As regiões com ocorrência de mineração subterrânea no Brasil, são localizadas especialmente em Minas Gerais e Santa Catarina. Usualmente, nas regiões com extração de carvão ou minérios a pequena profundidade acaba acontecendo o fenômeno de subsidência em áreas mais ou menos limitadas, caracterizando a instabilidade das escavações subterrâneas. A figura abaixo ilustra este tipo de ocorrência.

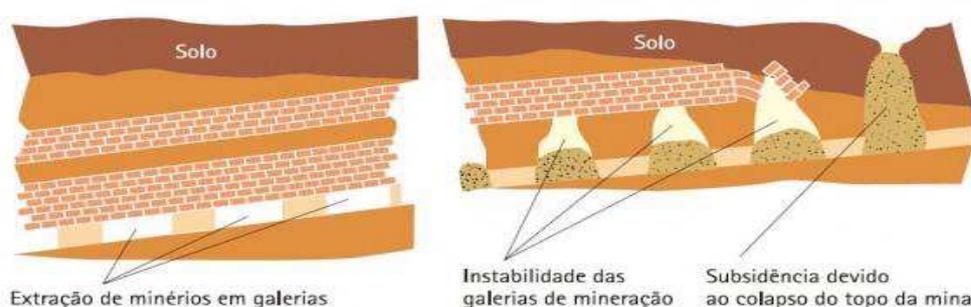


Figura 12- Fenômeno de subsidência em áreas de mineração. (Retirado do livro Patologia das Fundações 2ª edição)

Michael J. Tomlinson em seu livro *“Foundation design and construction”* apresenta situações típicas desse problema, com a possibilidade de implantação das fundações apoiadas sobre o topo das galerias, quando a condição de estabilidade pode ser garantida, ou abaixo da cota inferior, quando tal situação não pode ser assegurada.

Exemplo da última situação foi encontrado em projeto de fundações de prédio em Santa Catarina. Os perfis de sondagem resultantes do programa especial de reconhecimento, onde foram utilizadas sondagens mistas em solo e rocha, caracterizaram, abaixo da camada de solo superficial, a ocorrência de maciço rochoso brando com galerias (material de recuperação nula), com reaterros parciais. Para este caso foram projetadas fundações do tipo tubulão, assentes no nível da base das galerias na região, veja imagem abaixo:

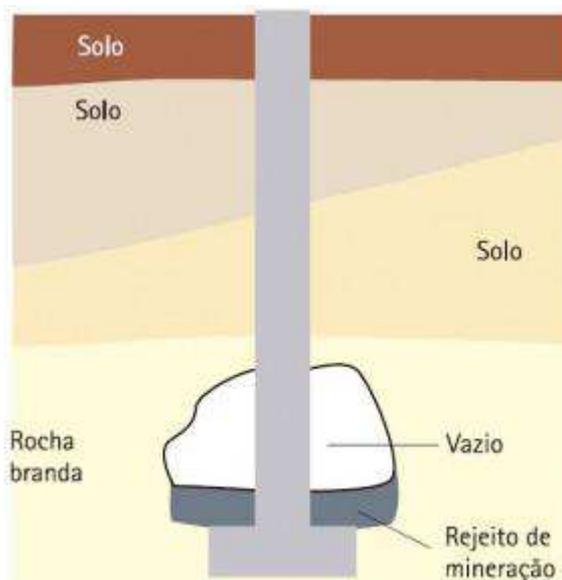


Figura 13- Fundação do tipo tubulão assente no nível da base de galeria na região de mineração em Santa Catarina. (Retirado do livro Patologia das Fundações 2ª edição)

A adoção de cota superior de apoio das fundações não teria garantia de estabilidade pelas condições verificadas de ocorrência. Como carregamento atuante nas fundações, foram consideradas, além das cargas da estrutura, o efeito de eventual instabilidade do solo localizado acima da cota de implantação, na forma de atrito negativo ao longo do fuste dos tubulões.

No projeto de estruturas em áreas de mineração, o primeiro problema a ser enfrentado é a identificação precisa das ocorrências enterradas, não só no que se refere à posição como também à profundidade.

Quando existentes, as plantas das mineradoras são imprecisas e servem geralmente como indicação preliminar para direcionar as investigações, não devendo ser consideradas confiáveis para tomada de decisões importantes referentes às possibilidades de ocorrência do problema.

A topografia utilizada na locação das galerias, com dificuldades evidentes de transferência de coordenadas da profundidade para a superfície, o fato de que na época da implantação das minas não existe a malha urbana no local e as alterações não registradas nos processos de extração e sua geometria fazem com que os registros não informem com segurança a verdadeira posição e condições das escavações realizadas.

Assim, é importante, na etapa de projeto, realizar uma investigação detalhada das possíveis ocorrências na área por meio de sondagens geofísicas, para direcionar a amostragem até a profundidade adequada de investigação.

3.5.5 Zonas cársticas

As zonas de carstics se na presença de rochas compostas por carbonato de cálcio e magnésio, geralmente conhecida como rochas calcárias, que devido há esses materiais serem solúveis em água, nesta zona pode ocorrer o fenômeno da carsificação um processo físico que consiste na dissolução de rochas comandada pela percolação de águas subterrâneas e provindas da superfície, de caráter necessariamente ácido, por conter ácido carbônico e/ou ácidos da decomposição de matéria orgânica. Conseqüentemente, o processo de dissolução nas rochas carbonatadas cria cavidades em seu interior.

Pode ocorrer ainda que uma camada rochosa superficial constituída por sedimentos não solúveis e solos residuais, e embaixo desta por existir ou surgir uma cavidade este modelo pode dar aos projetistas de fundações uma falsa impressão de segurança. Neste contexto, os colapsos de solo e rocha e as subsidências, são decorrentes do estágio de evolução do modelado cárstico e do grau de dissolução da rocha, ligados à evolução de cavidades no subsolo que podem trazer riscos e prejuízos econômicos e até mesmo perdas de vidas humanas, quando estas áreas são ocupadas.

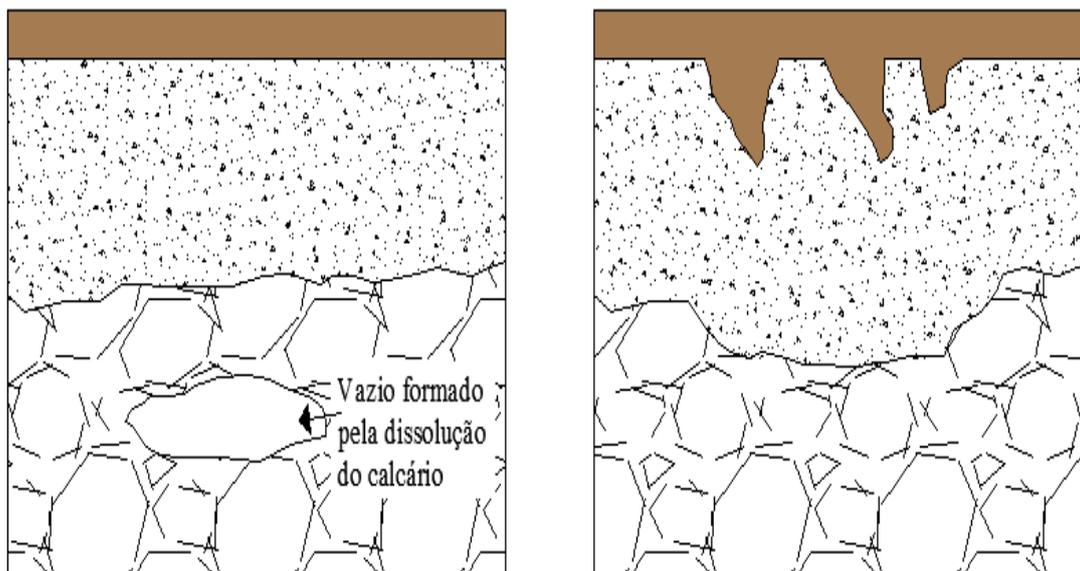


Figura 14 – Exemplo de subsidência devido a dissolução da camada de calcário (Modificado, Schnaid et al.,2005).

Rodrigues dos Santos (2002) cita exemplos de desastres ocorridos devido a ação da carsificação, entre eles o ocorrido a 12 de Agosto de 1986; o bairro Lavrinhas, em Cajamar, município integrante da Região Metropolitana de São Paulo, foi afetado por fenômenos de colapso e subsidência de grandes proporções, com especial impacto devido ao fato de ocorrerem em plena área urbana. Cerca de 60 dias após os primeiros sinais, na principal área atingida três casas haviam sido engolidas numa cratera com cerca de 30 metros de diâmetro e 15 metros de profundidade, enquanto assentamentos e fissuras afetaram dezenas de outros imóveis até distâncias de 400 metros do local. A Figura 15 esquematiza o modelo interpretativo dos fenômenos ocorridos em Cajamar.

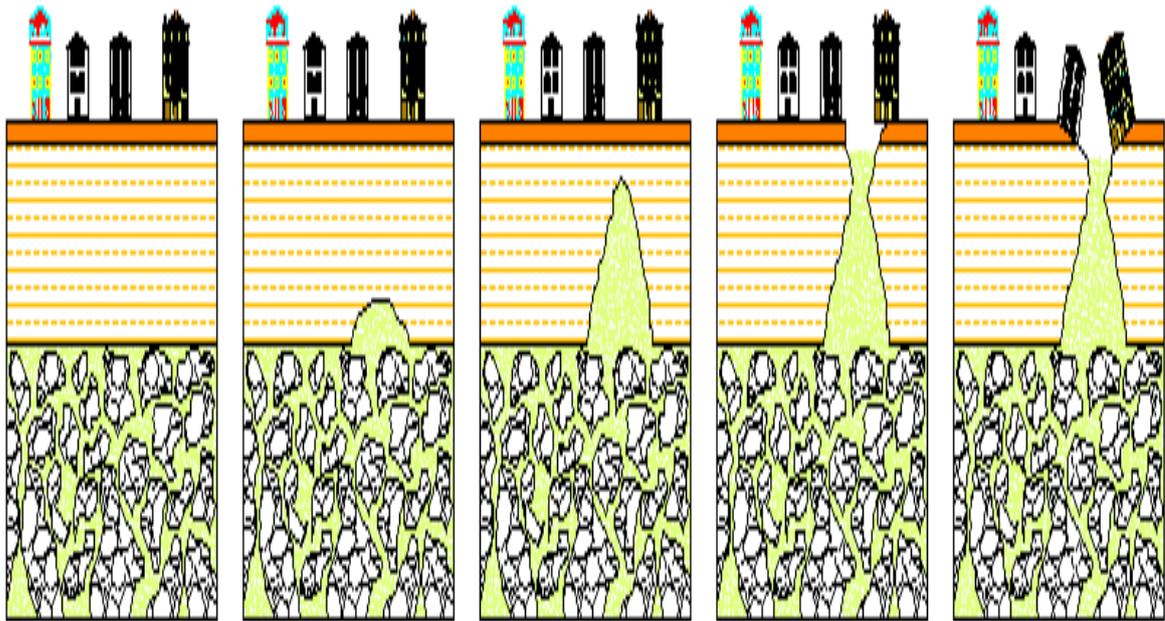


Figura 15 – Esquema que explica a origem do colapso do solo em Cajamar devido ao processo de dissolução das camadas abaixo do solo (Apontamentos da Disciplina de Geologia 1).

Em locais onde existe a possibilidade de ocorrência de rochas calcárias é necessária uma investigação geológica e geotécnica detalhada, para um projeto de fundações seguro e eficaz, incluindo fotografias aéreas para o reconhecimento da região, seguidas de ensaios geofísicos, medidas de condutividade electromagnéticas e, finalmente, sondagens rotativas (Wyllie, 2002, citado por Schnaid, 2005).

3.5.6 Ocorrência de matacão

A existência de matações são problemas que ocorrem com certa frequência em obras de fundação. Matações são grandes blocos rochosos que ainda não sofreram a decomposição completa, arredondados, de dimensões variáveis, alojados no rególito ou sobre ele, que são originados do intemperismo diferencial da rocha, ou por meio de movimentos de massa que resultam na deposição dos blocos superficialmente ou abaixo dela. As áreas com presença de blocos de rocha devem receber uma atenção especial, pois consequência deste problema é a adoção de uma fundação inadequada (figura 16) e, em muitos casos, levam a situações de recalques e fissuras das estruturas da edificação.

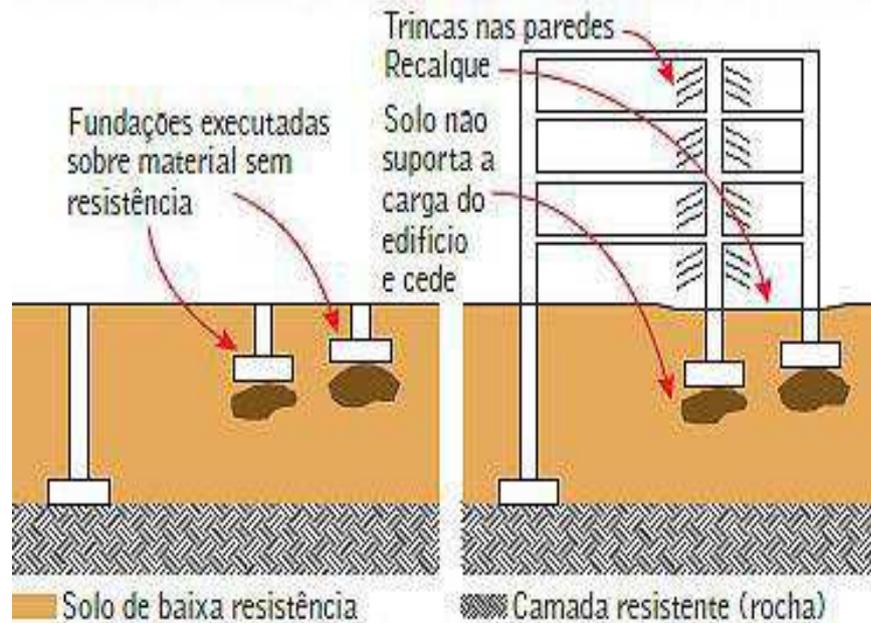


Figura 16 – Consequência da execução das Fundações executadas sobre matacões. Fonte: <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/41/artigo239476-1.aspx>, (2017)

Durante a execução de ensaio de sondagem para o reconhecimento do perfil do solo, o local do furo poderá coincidir com um bloco de rocha; Quando o matacão possui dimensões muito grandes o furo deve ser deslocado conforme NBR8036/1983. Caso acusar rocha novamente, deve-se aumentar a distância para realização de outro furo e se houver outra coincidência e outro matacão for encontrado a interpretação do perfil será feita erroneamente e a escolha de fundação e dimensionamento estarão prejudicados. Esta situação também pode ocorrer por falta de investigações suficientes.

Schnaid et al. (2005) refere que quando o número de sondagens executadas na fase de investigação é insuficiente, os blocos de rochas podem ser confundidos com o perfil de uma camada resistente, induzindo a soluções construtivas incompatíveis com o perfil real do solo (Figura).

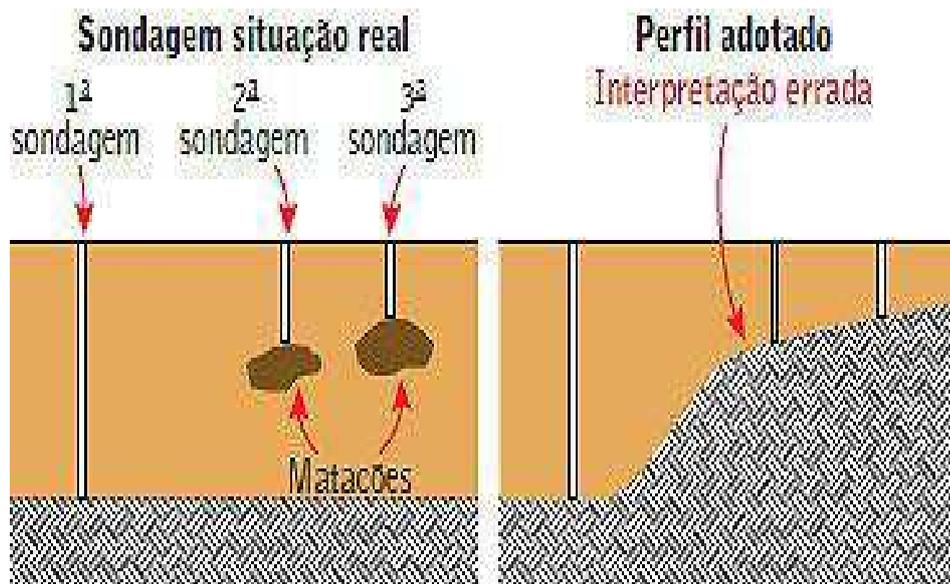


Figura 17 – Fundação executado sobre matacões.

Fonte: <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/41/artigo239476-1.aspx>, (2017)

Na execução de fundações diretas (sapatas ou tubulões), a presença dos matacões prejudica a implantação destes elementos, isto se torna um grande problema, pois sua execução será dificultada, geralmente com a remoção de parte do bloco; nas fundações profundas, a presença de matacões pode resultar em elementos apoiados de forma não segura. Os matacões tem que ser ultrapassados e as fundações, assentadas em uma camada consistente.

4 ANÁLISE E PROJETO DAS FUNDAÇÕES

Um projeto de fundações é calculado a partir da determinação das solicitações do projeto e da adoção de um modelo de subsolo que só pode ser adotado através de ensaios de prospecção ao subsolo. Todas as informações são interpretadas e é feito o estudo do comportamento do solo sob a ação das cargas e a transmissão dos esforços ao solo (Schnaid et al., 2005).

Para a realização de um projeto de fundações é necessário definir qual o tipo de fundação a utilizar; são diversas as variáveis a serem consideradas para a escolha do tipo de fundação. Numa primeira etapa, é preciso analisar os critérios técnicos que condicionam a escolha por um tipo ou outro de fundação.

Os principais elementos necessários a serem considerados para o desenvolvimento de um projeto de fundação são:

- **Topografia da área:**
 - Dados sobre taludes e encostas no terreno, ou que possam atingir o terreno;
 - Necessidade de efetuar cortes e aterros;
 - Dados sobre erosões, ocorrência de solos moles na superfície;
 - Presença de obstáculos, como aterros com lixo ou blocos de rocha.
- **Características do solo:**
 - Variabilidade das camadas e a profundidade de cada uma delas;
 - Existência de camadas resistentes ou compressíveis;
 - Compressibilidade e resistência dos solos;
 - A posição do nível freático.
- **Dados da estrutura a construir**
 - Tipo e uso que terá a nova obra;
 - Sistema estrutural;
 - Cargas (ações na fundação).
- **Dados sobre construções vizinhas**
 - Tipo de estrutura e fundação;

- Número de pavimentos, carga média por pavimento;
- Desempenho das fundações;
- Existência de subsolo;
- Possíveis conseqüências de escavações e vibrações provocadas pela nova obra.

Nesta fase os problemas decorrentes segundo Schnaid et al. (2005) podem ser classificados como:

- Problemas envolvendo o comportamento do solo – onde as patologias são causadas pelo solo;
- Problemas envolvendo os mecanismos de interação Solo-Estrutura – problemas causados pela relação entre o solo e a estrutura;
- Problema envolvendo o desconhecimento do comportamento das fundações – cada tipo de fundação interage com as cargas de forma específica o que afeta o comportamento da estrutura;
- Problemas relativos a estrutura de fundação – problemas causados pelo projeto ou detalhes estruturais do projeto;
- Fundações sobre aterros – neste caso vão ser avaliados os problemas intrínsecos ao projeto de fundações sobre aterros.

4.1 Problemas envolvendo o comportamento do solo

São vários problemas que envolvem o comportamento do solo, que são originados devido a uma péssima avaliação do desempenho e estimativa de parâmetros do solo; estes critérios só devem ser avaliados por profissionais especializados e experientes.

Exemplos de algumas das patologias mais comuns são apresentados por Schnaid et al. (2005):

- Adoção do perfil do terreno otimista.

A adoção do perfil do terreno otimista é feito sem a caracterização de todas as situações representativas do subsolo, como a localização das camadas menos resistentes ou compressíveis, e existência de lençol freático, muitas vezes o perfil do subsolo é caracterizado apenas por três perfis de sondagem (Figura 18). Um exemplo típico desta patologia acontece quando são realizadas três sondagens ao subsolo em que em duas das sondagens obtemos a profundidade específica de projeto e a outra sondagem indica que temos uma situação especial, não é feito mais nenhuma sondagem e o projeto de fundações é feito com base nas primeiras duas sondagens.

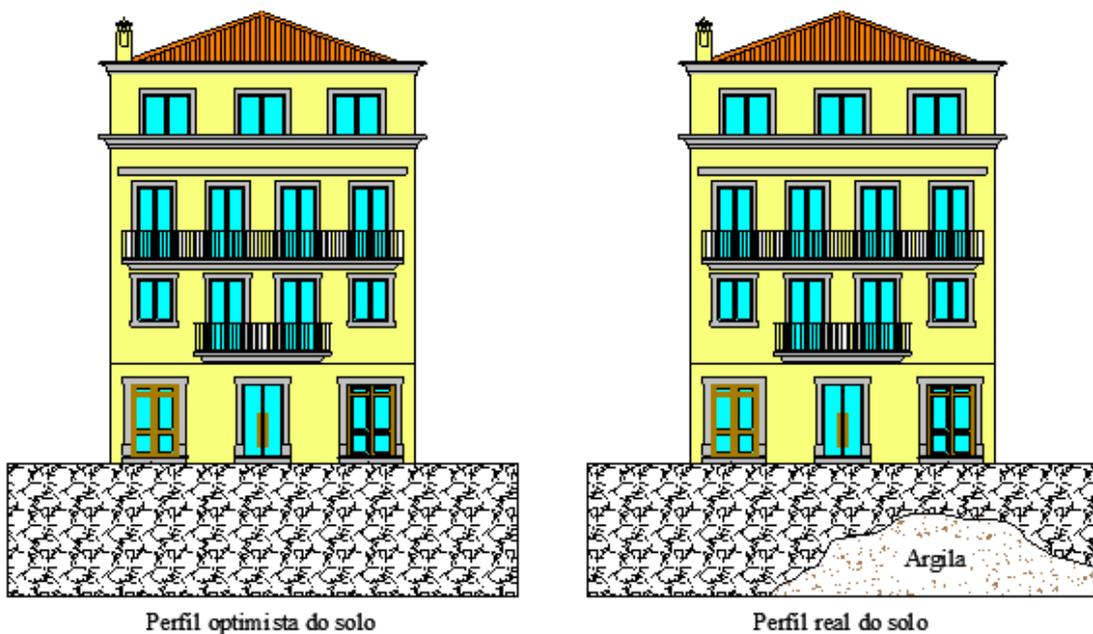


Figura 18 – Exemplo de adoção de um perfil de terreno otimista quando na realidade existe uma camada de argila que poderá provocar assentamentos na estrutura do prédio e, conseqüentemente, fissuras na estrutura (Modificado, Schnaid et al., 2005).

- Representação inadequada do comportamento do solo.

A representação inadequada do comportamento do solo ocorre quando são usadas correlações empíricas ou semi-empíricas que não são aplicáveis no tipo de solo em questão. Acontece devido a determinação de tensões admissíveis do solo

com base em ensaios SPT para grandes áreas ou pela extrapolação da correlação de materiais com comportamentos distintos.

- Erros na estimativa das propriedades de comportamento do solo.

Dois exemplos típicos deste tipo de erro:

- Estimativa da resistência ao corte em condições não drenadas de depósitos de argila mole através de ensaios SPT, cujos valores de penetração podem ser iguais ou próximos de zero, ou seja, os valores obtidos de penetração não podem nem devem ser utilizados na previsão da magnitude da resistência ao corte;
 - Extrapolação da penetração de rochas alteradas para posterior estimativa da tensão admissível ou resistência de ponta no caso de fundações profundas.
- Adoção de fundações inadequadas.

Adoção de fundações inadequadas para o tipo de solo específico, como estacas cravadas em solos instáveis ou em presença de água, fundações em solos expansivos ou solos com probabilidade de colapso sem qualquer tipo de cuidados especiais.

- Remoção de camadas resistentes.

Um exemplo típico acontece quando são implantadas fundações em solos com depósitos de argilas moles, onde a camada superior destes depósitos é, geralmente, mais resistente, ao executar as fundações removem a camada superior, conseqüentemente o solo tem menos capacidade de suporte o que poderá provocar maiores assentamentos estruturais.

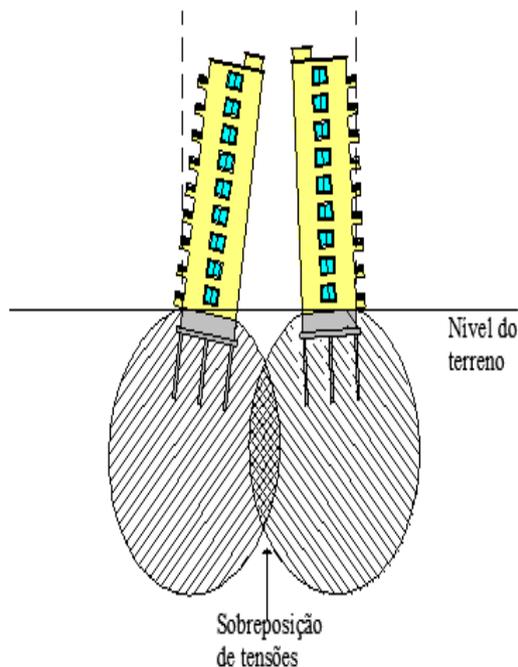
4.2 Problemas envolvendo os mecanismos de interação solo-estrutura

Alguns dos problemas mais comuns relacionadas com a interação solo estrutura é apresentado por Schnaid et al. (2005):

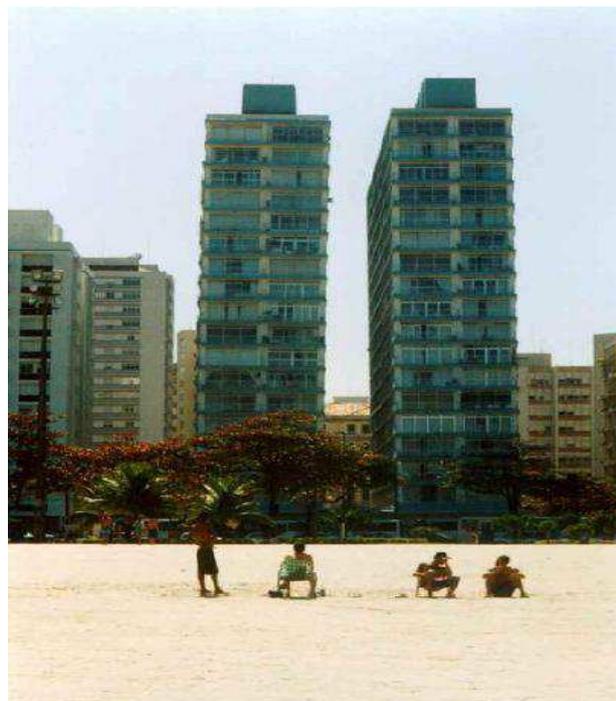
- Transferência de cargas ao solo.

Quando uma fundação transfere carga ao solo e esta transferência é considerada de forma isolada, mas a existência ou implantação posterior de outra estrutura em volta da mesma acaba por alterar a sollicitação de tensões na massa de solo, esta alteração dos esforços levam ao acontecimento de um fenômeno conhecido como sobreposição de esforços; esta concentração de esforços pode provocar o assentamento das estruturas. (Figura 19) é um exemplo característico deste fenômeno.

A)



B)



Figuras 19 – A) sobreposição das tensões. B) assentamentos nas estruturas devido a sobreposição de tensões (Modificado Schnaid, 2006).

Diante disto Schnaid et al. (2005), realizou uma simulação utilizando um programa de elementos finitos, para observar o efeito e aumento das tensões que são originadas na sobreposição, onde podemos ter uma compreensão do quanto este fenômeno pode causar assentamentos na estrutura com surgimento de fissuras e trincas ou ate mesmo levando-a ao desmoronamento por inteira, devido a esse acréscimo de tensões; no primeiro caso, temos um prédio isolado que transmite cargas ao solo (Figura 20); no segundo caso, temos dois prédios próximos e pode-se observar que as tensões transmitidas ao solo aumentaram significativamente (Figura 21).

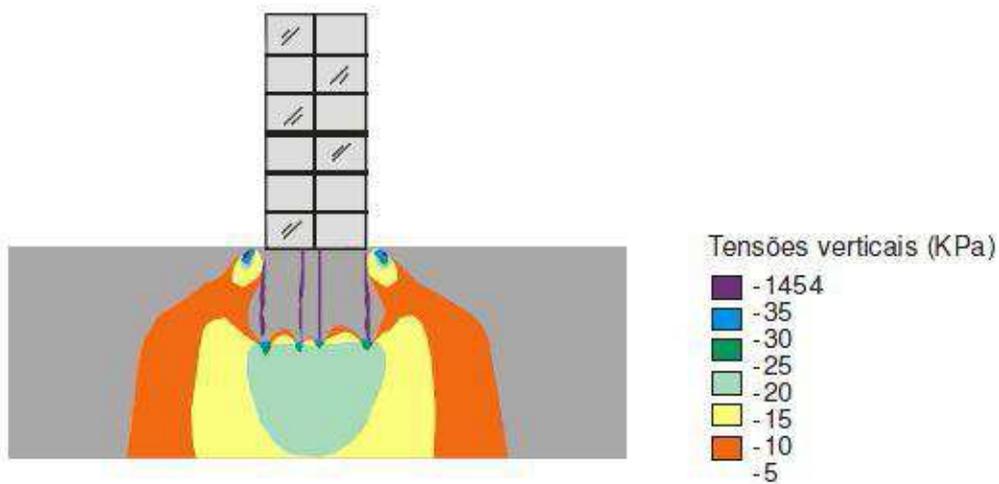


Figura 20 – Exemplo das tensões transmitidas ao solo pelo prédio representado num programa de elementos finitos (Schnaid et al., 2005).

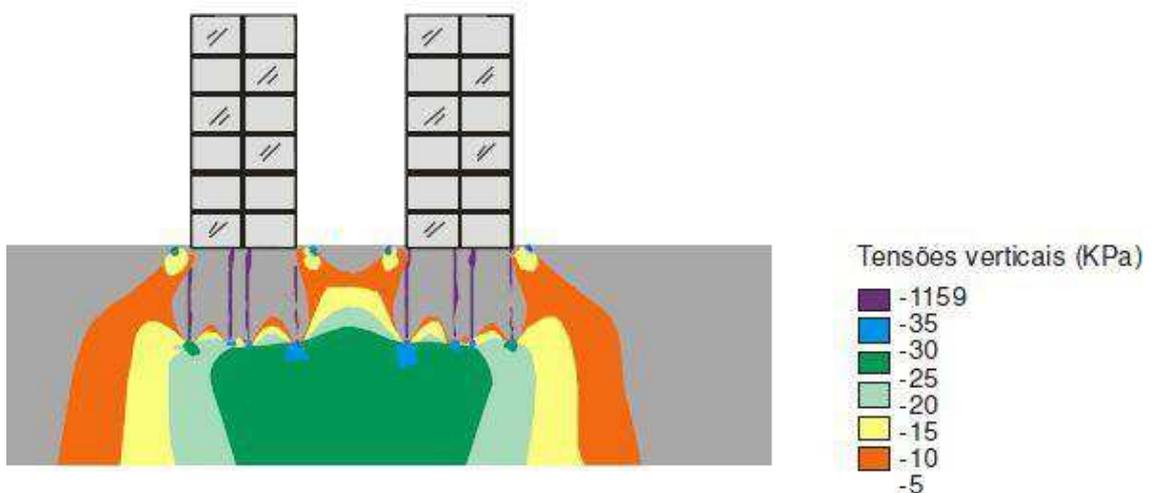


Figura 21 – Exemplo da sobreposição das tensões representadas num programa de elementos finitos (Schnaid et al., 2005).

As estruturas podem ser afetadas quando for assentada em um solo que não tem capacidade de carga resistente suficiente para suportar as cargas que são transmitidas; o caso mais clássico desta patologia é sem dúvida o da Torre de Pisa em Itália. Sua construção foi iniciada em 1173, e terminada em 1350; desde o início, a torre apresentou assentamentos maiores de um lado que de outro, que levaram-na a inclinar-se (Figura 22).

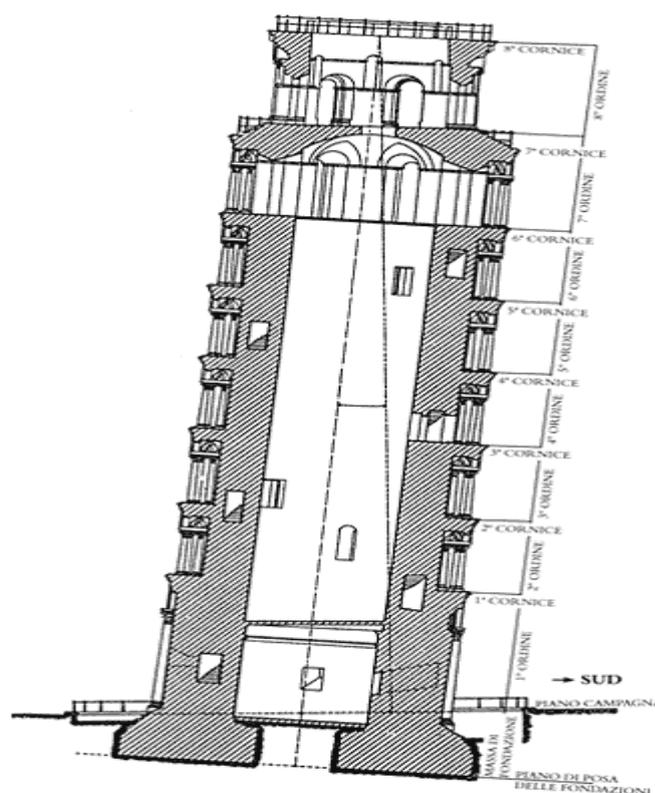


Figura 22 – A Torre de Pisa apresenta uma inclinação de 5,5° devido aos assentamentos da base (LMC, 2009).

- Estacas apoiadas em camadas pouco espessas e sobrepostas em camadas frágeis.

Um exemplo deste tipo de problema é a existência de um grupo de estacas apoiadas em camadas resistentes de pouca espessura, que se encontram sobrepostas em camadas argilosas moles, pode ocorrer da camada resistente aonde esta apoiada a fundação vir a ruína em casos onde é desconsiderada a camada de solo mole abaixo da ponta das estacas na análise de capacidade de

suporte devido a compressão desta última que não suporta as cargas (Figura 23). Outra patologia deste gênero verifica-se nos casos onde somente se calcula a capacidade de carga, sem analisar os assentamentos que podem surgir devido a compressão da camada de argila mole (Schnaid et al., 2005).

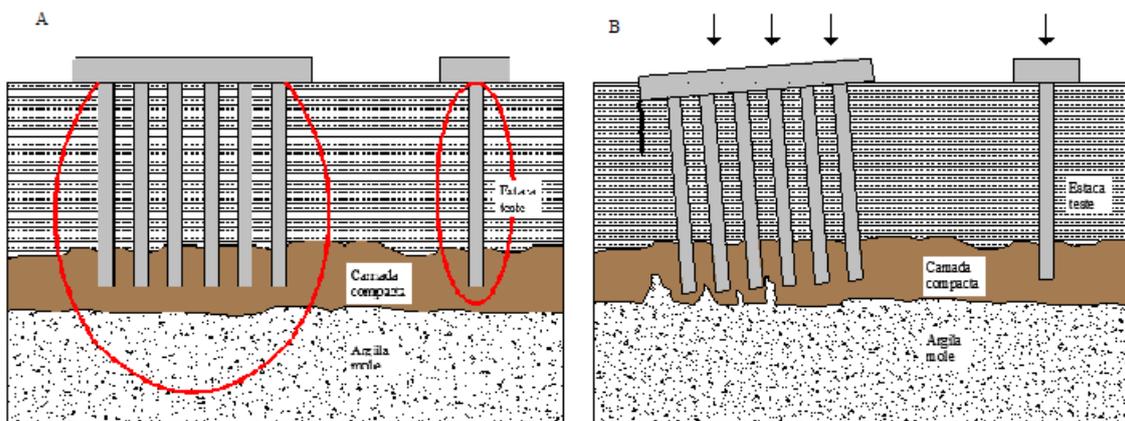


Figura 23 – Grupos de estacas apoiadas em camadas resistentes mas sobrepostas em solos moles, provocando no caso A) ruptura e no caso B) problemas de assentamentos (Schnaid et al., 2005).

- Projeto de estacas para pilares adjacentes resultando em estacas muito próximas, sem a consideração dos efeitos de sobreposição.
- Não consideração do atrito negativo em estacas.

O problema designado como atrito negativo pode ocorrer quando uma estaca é cravada numa camada de solo compressível, ocasionadas em maior intensidade em solos provenientes de aterro sobre solos moles, rebaixamento do lençol freático. O deslocamento das camadas de solo em relação ao corpo da estaca provoca um carregamento na fundação e não de resistência às cargas do solo. No caso das estacas verticais, esse atrito é um acréscimo na carga axial proveniente do assentamento da camada compressível; no caso das estacas inclinadas pode surgir também esforços de flexão na estaca (*Efeito de Tschebotarioff*) (Figura 24). A adoção de valores obtidos através do simples cálculo de capacidade de carga da estaca, com toda a parcela de atrito considerada como contribuinte, conduz a valores superdimensionados e inseguros de capacidade de carga.

Segundo Alonso (1989) citado por Guimarães (2003) algumas das causas do surgimento de atrito negativo entre elas:

- Perda de resistência da camada compressível provocado pela cravação das estacas
- Assentamento da camada compressiva causado por uma sobrecarga devido a execução de um aterro;
- Assentamento de solos sub-consolidados em função do peso próprio.

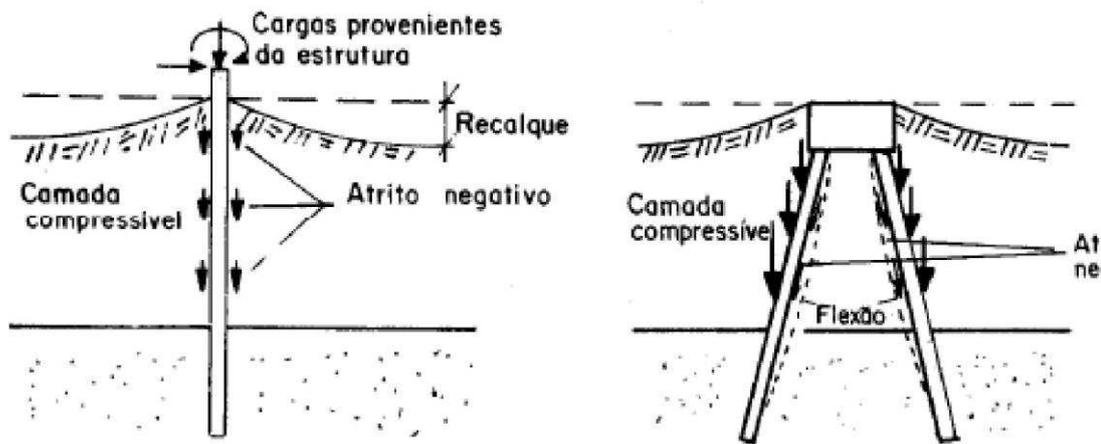


Figura 24 – Esquema de atuação do atrito negativo ao longo das estacas na vertical e com inclinação (Alonso 1989, citado por Guimarães, 2003).

O atrito negativo pode provocar assentamentos, proveniente de cargas excessivas aplicadas sobre a terraplanagem ou da execução de aterros ao redor da obra. Os assentamentos que vem destes preenchimento somados aos do estrato de terreno compressível subjacente que produzem forças de atrito ao longo de toda a estaca, cuja resultante tem uma componente vertical dirigida para baixo (Figura 25).

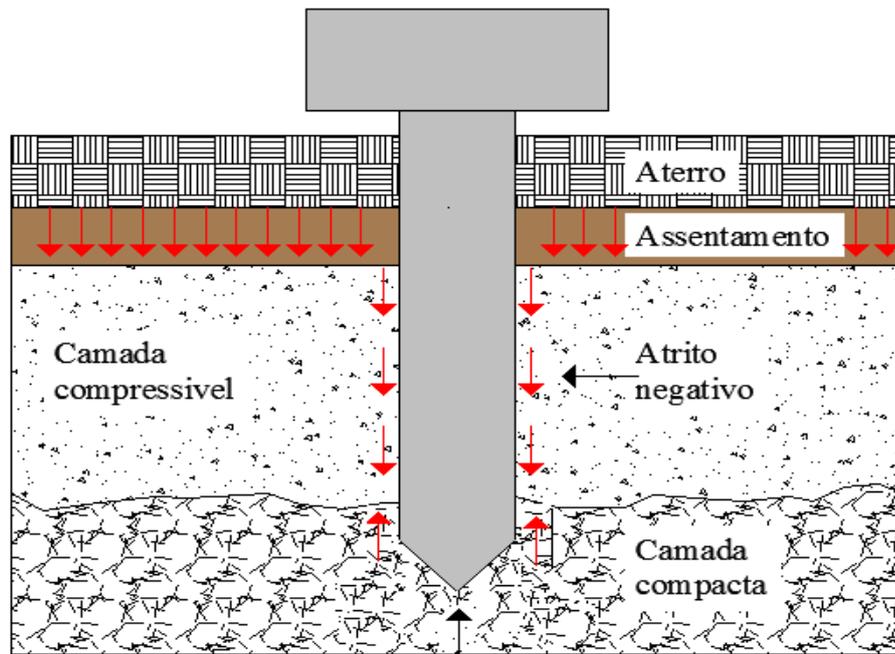


Figura 25 – Esquema de atuação do atrito negativo ao longo da estaca (Modificado, ASEFA).

- Efeito de Tschebotarioff.

A cravação de estacas em locais onde existem aterros assimétricos, não levado em consideração no cálculo, apoiados em camadas de solo mole provoca esforços adicionais nas estacas, uma vez que o aterro é assimétrico vai comprimir de forma diferente a camada mais frágil do solo e esta compressão vai criar esforços horizontais que vão atuar nas estacas em profundidade o que pode levar ao mau desempenho da fundação; este fenômeno é conhecido como o “*Efeito de Tschebotarioff*”.

Fazer tratamento de solo mole próximo a estruturas existentes é uma tarefa que exige muito cuidado e atenção. Precisamos entender que este tipo de solo quando submetido a cargas, como por exemplo, um aterro, o movimento de recalque não é apenas na vertical, para baixo. Existe o deslocamento horizontal que exerce forças muito grandes de arrastes que podem danificar ou destruir as fundações das obras próximas.

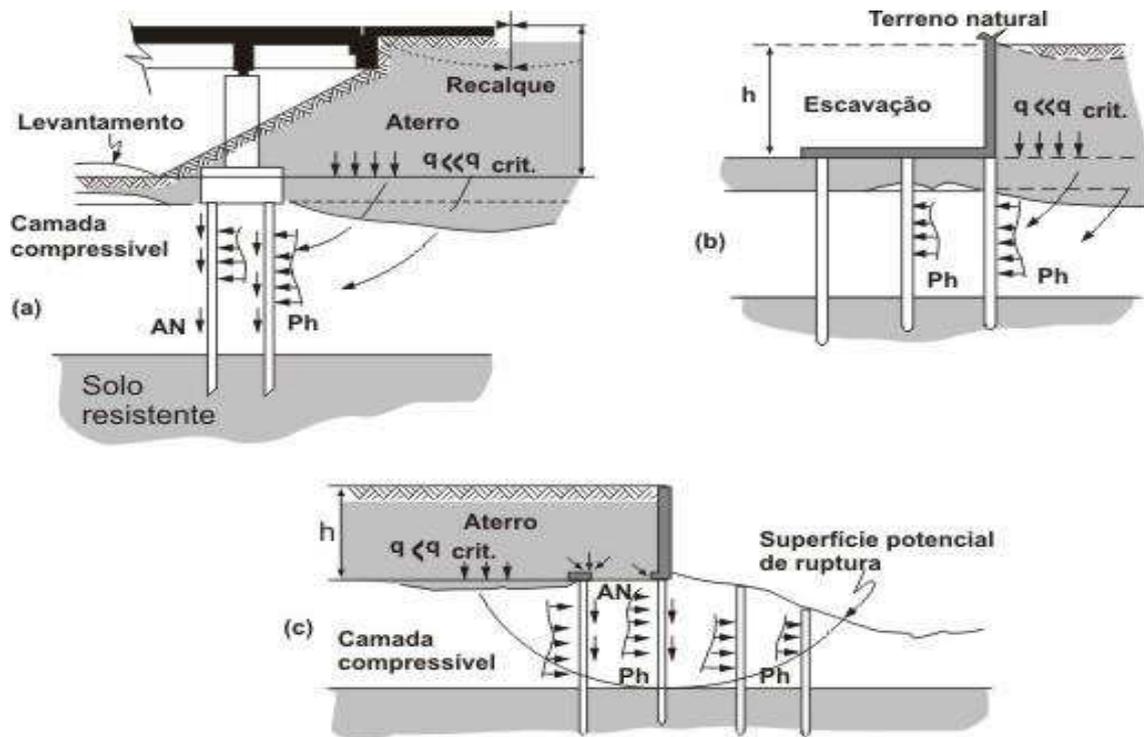


Figura 26 - Condição geométrica caracterizando aterro assimétrico sobre camadas sub-superficiais de solos moles, provocando o aparecimento de solicitações horizontais atuantes nas estacas em profundidade ("Efeito Tschebotarioff").

A existência de camada compressível de solo, o movimento da camada, provocado por cargas verticais assimétricas, afeta o comportamento das estacas que atravessam essa camada. Conforme a Figura 27, as cargas verticais assimétricas podem ser provocadas por aterro (a) ou por escavação (b).

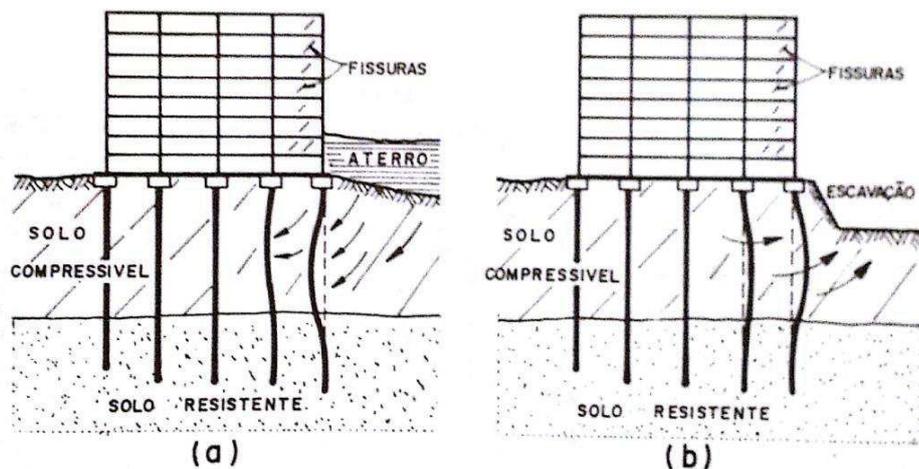


Figura 27 - Efeito Tschebotarioff. Fonte: (ALONSO, 1991).

- Cálculo da tração de um grupo de estacas.

Cálculo de tração de grupo de estacas a partir da soma das cargas de ruptura das estacas consideradas individualmente, resultando valores superiores ao real, uma vez que a soma da tração em grupo é inferior a soma individualizada de cada estaca (Figura 28) (Schnaid et al., 2005).

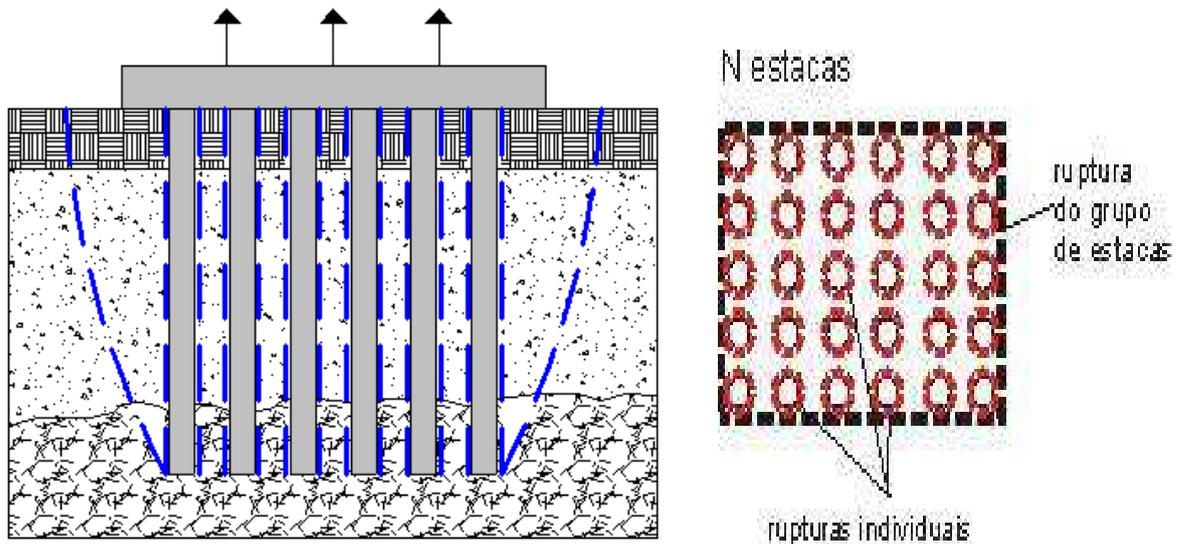


Figura 28 – Tração em grupo de estacas (Modificado, Schnaid et al., 2005).

- Falta de travamento no topo das estacas.

A implantação de estacas em solos com camadas superficiais de baixa resistência é necessário fazer o travamento no topo das estacas. Quando o travamento não é feito, a estaca tende a deformar resultando em comprimentos de flambagem maiores que os considerados para os pilares, criando instabilidade na estrutura (Figura 29).

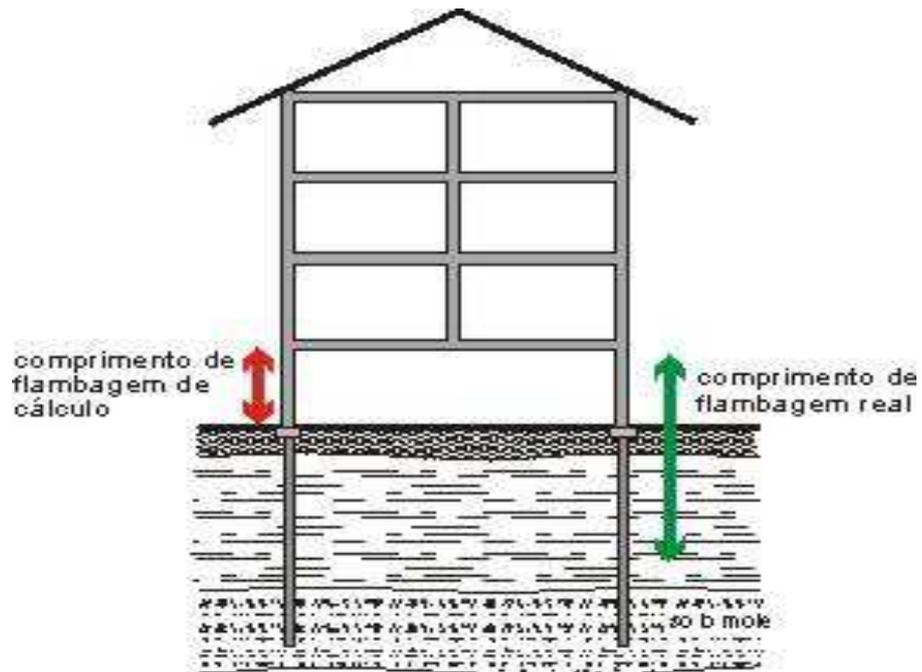


Figura 29.- Comprimento de flambagem real do pilar sobre estaca isolada sem travamento nas duas direções, diferente do cálculo.

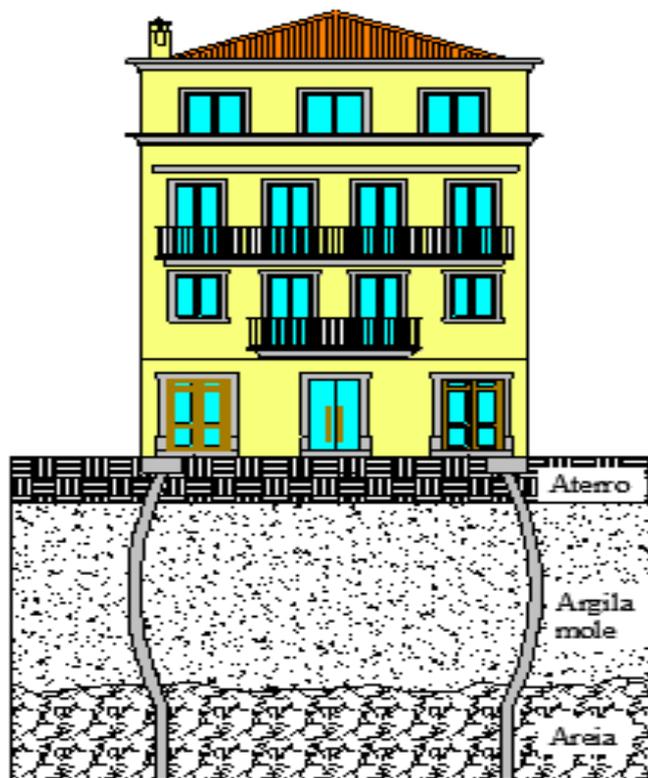


Figura 30 – Quando o travamento das estacas não é feito pode originar a flexão das estacas e,consequentemente, instabilidade da estrutura (Modificado, Schnaid et al., 2005).

Muitas vezes acontece também utilização de cargas de trabalho nominais das estacas sem verificação de flambagem, no caso de estacas muito esbeltas implantadas em solo com baixa resistência podem surgir grandes deformações (Figura 31). Nestas condições pode ocorrer o fenômeno de instabilidade por flambagem, usualmente não considerado em peças totalmente enterradas.

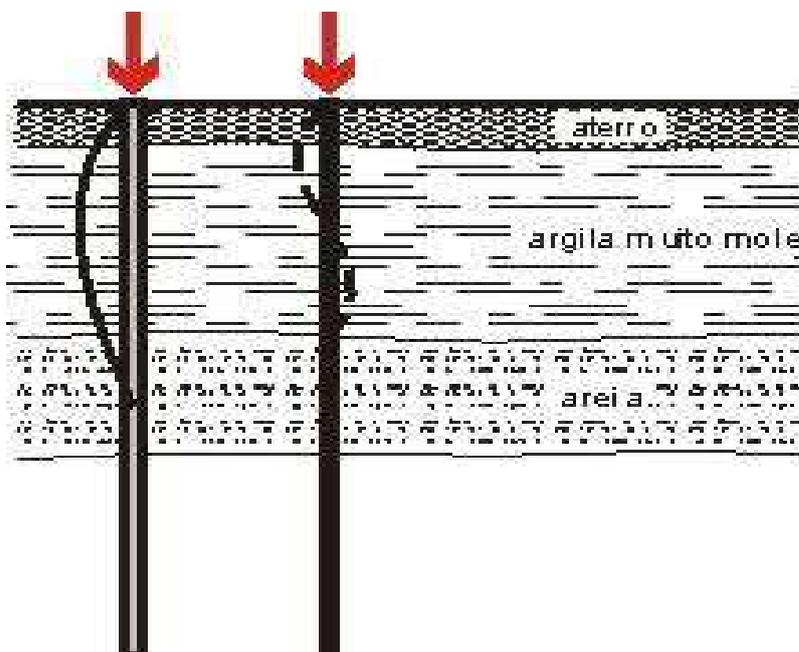


Figura 31 - Flambagem de estacas esbeltas em solos moles.

4.3 Problemas envolvendo o desconhecimento do comportamento real das fundações

Algumas das patologias mais comuns de problemas que envolvem o comportamento real das fundações segundo Schnaid et al. (2005) são:

- Sistemas de fundações diferentes na mesma estrutura.

Adoção de sistemas de fundações diferentes na mesma estrutura, devido a características de variação de cargas, ou variabilidade de profundidade das camadas resistentes do sub-solo, ou condições locais restritas de acesso, sem que haja qualquer tipo de junta de dilatação a separar uma vez que cada fundação tem o

seu próprio comportamento, este tipo de situações provoca assentamentos diferenciais e danos na estrutura (Figura 32).

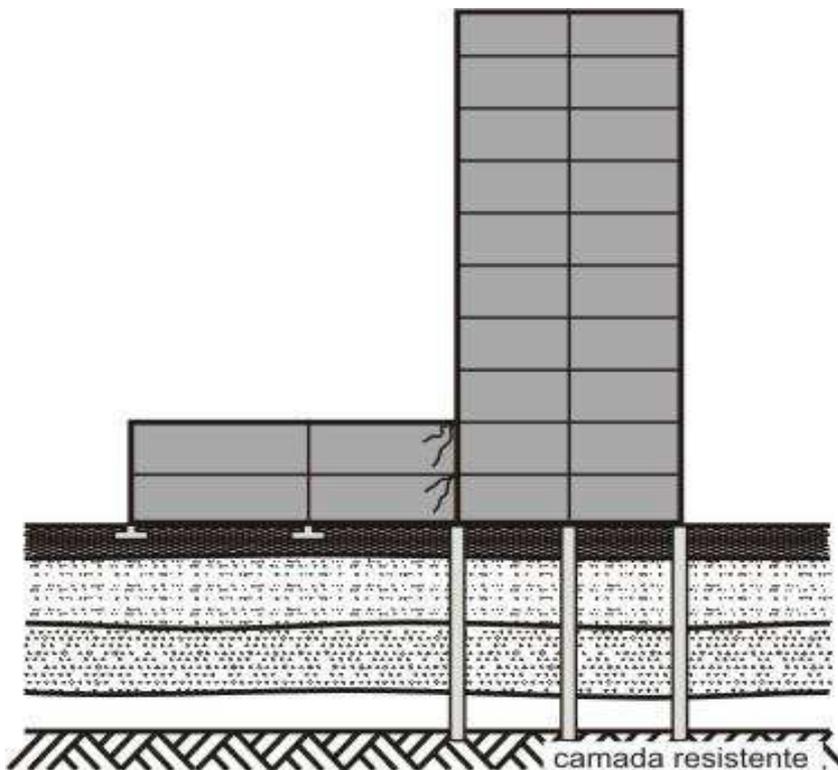


Figura 32 -. Sistema de fundações diferentes originados por cargas diferentes, não separados por junta, provocando recalques diferenciais.

- Adoção de fundações profundas em solos com aterros compactados assente em camadas compressíveis, que suportam a estrutura interna.

A ocorrência deste tipo de problema é comum em construção de pavilhões onde se opta pela adoção de fundações profundas para as cargas da estrutura, com presença de aterros compactados assentes sobre camadas compressíveis, sendo os elementos internos da estrutura do pavilhão assentes sobre o piso, apoiado diretamente no aterro. O aterro provoca adensamento das camadas compressíveis e conseqüentemente assentamento em todas as instalações executadas no aterro, deformando o piso, as paredes e outras estruturas apoiadas no piso, com o aparecimento de trincamento ou deformações indesejáveis, como exemplificado na Figura 33.



Figura 33 – Efeitos do assentamento da estrutura provocado pela compactação do aterro sobre as camadas mais frágeis (Schnaid, 2006).

- Deslocamento em estacas de grande seção.

Temos que ter em mente que os deslocamentos de uma estaca de grande seção e proporcional ao seu diâmetro, logo a presença de estacas em uma mesma estrutura com diâmetros diferenciados pode vir a provocar recalques diferenciais. Em certas situações acaba por se adotar valores como se fossem seguros de resistência da estaca esquecendo as vezes os deslocamentos, mas que provocam assentamentos incompatíveis com o bom funcionamento da estrutura.

- Carregamentos assimétricos numa estrutura, com fundações sem junta de separação.

A existência de carregamentos desiguais em uma mesma estrutura, são comuns em obras como torres que apresentam cargas elevadas e a região circundante com a presença de carregamentos muito inferiores, mas ambas com o mesmo tipo de fundação, sem juntas de comportamento ou com pilares apoiados

nas mesmas fundações, causando assentamentos diferenciais e fendas em toda a estrutura (Figura 34).

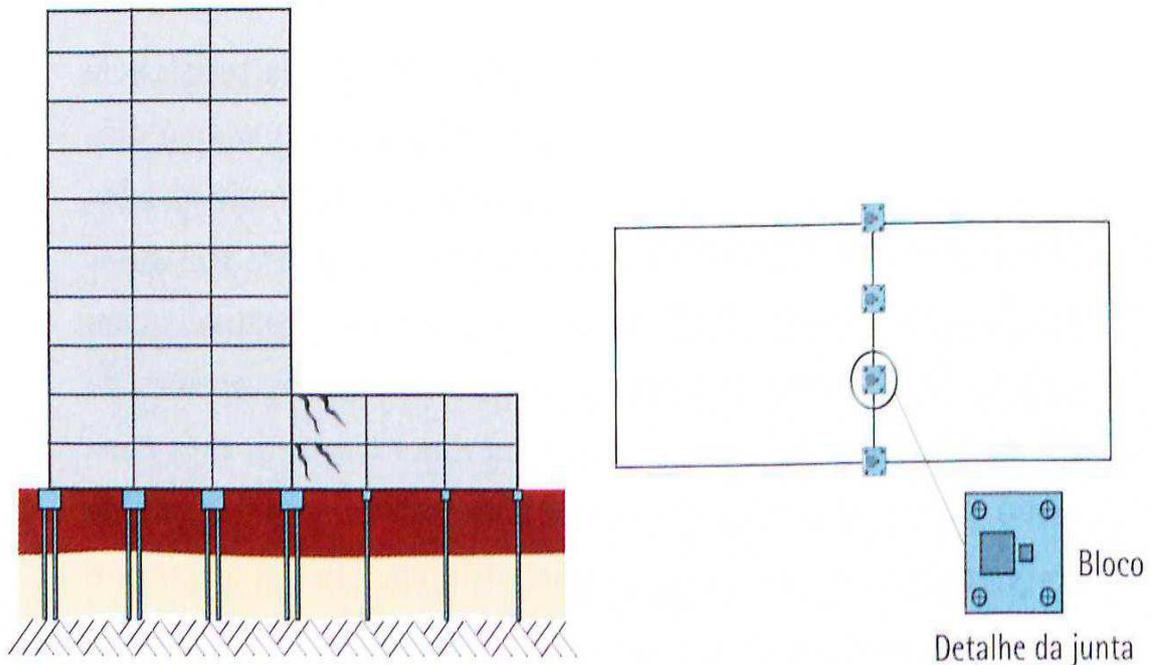


Figura 34 – níveis diferentes de carregamento sem junta. (MILITITSKY, CONSOLI e SCHNAID, 2008).

4.4 Problemas envolvendo a estrutura de fundações

Podemos citar como as principais causas de patologias envolvendo a estrutura de fundações:

- Determinação errada das solicitações atuantes nas fundações.

Excesso de carga transferida a cada elemento de fundação devido ao erro na determinação das cargas que atuam nas fundações, está intimamente associado a obras de pequeno porte, pois estas possuem um controle menos rigoroso e quase não é feita sua fiscalização, ou engenheiros projetistas com pouca experiência de

trabalho em situações especiais, tais como estruturas pré-moldadas, obras de arte, indústrias, silos, torres altas, estruturas submetidas a efeitos dinâmicos ou choques.

- Fundações projetadas tendo em conta só a carga atuante.

Este tipo de problema ocorre quando as estruturas são projetadas tendo em consideração apenas as cargas que vão atuar durante o período útil da estrutura, mas não tem em consideração situações de sobrecargas variáveis que podem atuar por tempo indefinido na estrutura o sobrecargas acidentais que apesar de terem uma baixa probabilidade de ocorrência elas existem e podem sempre afetar a estrutura. Essas sobrecargas que se sobrepõem a carga atuante podem acontecer no decorrer do processo construtivo como, por exemplo, durante a montagem de elementos estruturais podem sobrecarregar as sapatas da estrutura.

Muitas vezes em obras de grande altura fazemos a submissão a efeitos críticos de carga atuante, onde não se considerou os carregamentos das cargas acidentais de vento e subpressão podendo prejudicar a fundação, por isso é necessário a verificação não somente para as carga atuantes máximas, mas a todas as possibilidades de ocorrências.

- Erros de consideração das cargas.

Este erro é decorrente da falta de cálculos de máximo e mínimo para cargas atuantes, ou seja, cálculo do projeto da estrutura é feito levando em consideração somente as cargas máximas atuantes sem considerar as cargas mínimas, como o cálculo do projeto foi baseado nas cargas máximas ele nos dar uma sensação de segurança estrutural, há casos em que não é bem assim, por exemplo, o dimensionamento de um reservatório metálico elevado, as fundações são projetadas apenas tendo em conta as cargas máximas, o que acontece só quando o reservatório se encontra cheio, mas quando o reservatório está vazio e sob efeito da ação do vento, acarretando em resultantes negativas podendo provocar esforços de tração nas fundações e como estas não foram projetadas para esse tipo de esforço o seu funcionamento poderá ser afetado.

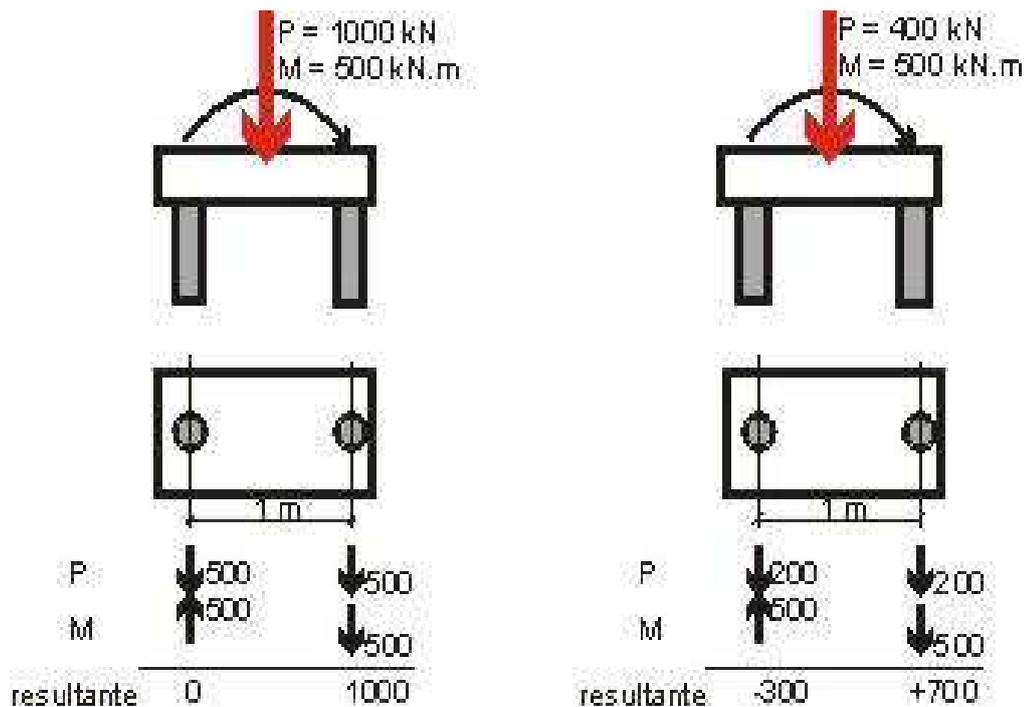


Figura 35 - Uso apenas de cargas máximas em situação com momentos nas fundações.

- Erros de dimensionamento de elementos estruturais nas fundações.

Os problemas de mal dimensionamento de elementos estruturais das fundações, tais como vigas de equilíbrio, dimensões das sapatas, estacas mal dimensionadas com cargas horizontais inadequadamente armadas, calculo de vigas de rigidez consideradas como vigas contínuas, resultando solicitações equivocadamente distribuídas provocar esforços adicionais a estrutura causando graves patologias.

- Ausência de armaduras secundárias.

As armaduras secundárias têm como função:

- ✓ Assegurar um bom desempenho das armaduras principais;
- ✓ Auxiliam as malhas de armaduras em sua rigidez;
- ✓ Controlam a fendilhação;
- ✓ Garantem a ligação entre as partes de elementos que tem tendência a destacar-se.

A ausência de armaduras secundárias em estruturas de concreto armado tracionadas provoca a abertura de fissuras nestes elementos, principalmente nas sapatas, estacas e vigas de fundação. No cálculo das estruturas deve levar em consideração a verificação de fissuração do concreto (ABNT NBR 6118, 2014), ou seja, o cálculo das armaduras secundárias, sua presença é muito importante porque estes elementos encontram-se num ambiente agressivo, em contato com o solo e outros agentes que podem provocar a rápida degradação destes elementos.

- Falta de equilíbrio de esforços.

Presente em soluções estruturais na qual não se verifica o equilíbrio dos esforços atuantes, passando a ser suportados pela estrutura, Um exemplo típico é a escolha de uma solução estrutural na presença de esforços horizontais onde estes não são equilibrados pelas fundações, pois supõe erradamente que estes suportados pela estrutura apoiada nas fundações, o que pode provocar o surgimento de patologias e afetar o bom funcionamento estrutural.

- Má ligação entre elementos estruturais.

A má ligação entre elementos estruturais ou falta de detalhamento estrutural adequado, tais como a ausência dos pormenores da ligação da armadura entre elementos como por exemplo a ligação da armadura de estacas tracionadas ao bloco de coroamento, pré-moldadas de concreto e metálicas, resultando em ausência de transferência de carga às fundações, detalhamento de recobrimento insuficiente para a situação (ABNT NBR 6118, 2014). Este tipo de patologias provoca degradação dos elementos especialmente em ambientes agressivos e condiciona o bom funcionamento estrutural a longo prazo.

- Adoção de armaduras pouco eficazes.

Algumas vezes a utilização de armaduras nos elementos de fundação pode acabar levando a problemas patológicos; por exemplo, adoção de armaduras muito carregadas ou complexas pode provocar dificuldades construtivas como má

execução, ausência de recobrimento, entre outros; a presença destas situações prejudica todos os elementos estruturais especialmente as fundações profundas por se encontrarem em ambientes mais agressivos.

4.5 Fundações sobre aterro

Segundo Logeais(1982) três aterros são particularmente perigosos :

- Os aterros recentes
 - Os aterros de espessura variável
 - Os aterros sobre terrenos compressíveis ou instáveis.
-
- Os aterros recentes

Mesmo se foram compactados por camadas regulares, na altura da sua execução, os aterros não adquiriram o seu assentamento definitivo e, naturalmente, assentam. Podem ser citados numerosos exemplos de desordens provocadas pela construção de obras sobre aterro; mencionaremos apenas alguns entre os mais característicos.

- Os aterros de espessura variável

Todos os aterros, já dissemos, assentam, e todas as pessoas aceitam que quanto maior é a espessura do aterro, mais importante será o assentamento. Se tivermos que construir sobre aterros de espessura variável, devemos considerar que os assentamentos diferenciais não são negligenciáveis. Teremos que estudar não somente a rigidez da obra a construir, mas ainda a estabilidade do conjunto.

- Os aterros sobre terrenos compressíveis ou instáveis

São terrenos que tem como características sua pouca aptidão para receber construções, é o caso de antigos terrenos alagadiços ou de planície aluvionar dos cursos de água. Então para proteger o terreno contra as inundações e para entregar uma plataforma conveniente aos utilizadores, faz se necessário aterrar com espessuras por vezes importantes. Frequentemente, é verdade, este aterros foram

feitos com grande cuidado, muito bem compactados com meios poderosos. Não deixa de ser, apesar disso, extremamente perigoso construir-se edifícios de uma certa importância sobre esses aterros. Vamos examinar dois casos particularmente típicos.

- Aterro sobre terreno compressível

Se o terreno natural é constituído por materiais muito compressíveis (turfas, vasas moles, argilas com forte teor de água, etc.), é totalmente desaconselhado sobrecarregá-los com aterros cuja influência só pode aumentar a amplitude dos assentamentos. Portanto nos terrenos muito compressíveis, é necessário encontrar-se um modo de fundação que sobrecarregue ao mínimo o terreno, e evitar colocar-se aterros importantes, que são já, por si sós, compressíveis e que, por outro lado, trazem ao terreno um acréscimo de cargas geradoras de assentamento.

- Aterro sobre terrenos inclinados

Logeais (1982) cita que os aterros sobre terrenos inclinados apresentam graves inconvenientes, destacando-se:

I. A maioria das vezes o papel do aterro é a realização de uma plataforma horizontal, se esse aterro tem uma espessura variável são previsíveis assentamentos diferenciais se utilizarem esses aterros como base para fundações;

II. Se não for previsto nenhum dreno a montante e sobretudo se não se tiver previamente decapado o terreno natural, as águas superficiais infiltram-se no aterro e podem, quer seja provocar o seu assentamento ou o seu escorregamento em conjunto, quer seja mesmo perturbar o terreno natural, que pode, assim, tornar-se instável.

A fundação sobre aterros ou solos criados é fonte significativa de problemas, estes não considerados no projeto por desconhecimento dos mecanismos

envolvidos. Fundações apoiadas sobre aterros têm aspectos muito particulares, além dos demais aspectos verificados nas demais fundações. Os recalques destas fundações apoiadas sobre aterros são classificadas em três tipos:

4.5.1 Deformações do corpo do aterro por causa do peso próprio

A transmissão das cargas pelas fundações ao solo ou o peso próprio do aterro podem causar assentamentos sendo estes diferenciais ou totais, ocorrem normalmente nos seguintes casos:

- Execução de aterros de forma deficiente, por exemplo, aterros disposto sem compactação ou mal compactados que atingem principalmente os solos argilosos ocasionando assentamentos quando submetidos a carregamentos externos, ou aterros executados sem vibração do solo que abala principalmente os solos arenosos, que sofrem um rearranjo das partículas provocando assentamentos (Tomlinson 2001);
- Deformações decorrentes da execução de aterros hidráulicos, o acontecimento de recalques das camadas de areia que são depositadas acima do nível da água devido ao fluxo de água que faz com que as areias consolidem diminuindo o seu volume ocupado. No entanto, quando esta camada de areia é depositada na água, pode apresentar uma estrutura frágil suscetível a assentamentos quando submetida a carregamentos externos;
- Execução de aterros com compactação deficiente, pode ser originados no equipamento empregado para realizar a compactação, por exemplo equipamentos que não tem capacidade de compactação necessária para o tipo de solo utilizado no aterro ou a compactação de camadas com elevada espessura, o que dificulta a sua compactação, o recomendado para se obter uma compactação eficiente é a utilização de camadas com espessura entre 20 e 40 cm;

Quadro 2 - Tipos de rolos utilizados na compactação de solos (Apontamentos da Disciplina de Mecânica dos Solos [2]).

Tipo de Rolo	Peso Máximo (toneladas)	Espessura Máxima Após Compactação (cm)	Uniformidade da Camada	Tipo de Solo
Pé de carneiro estático	20	40	Boa	Argilas e siltes
Pé de carneiro Vibratório	30	40	Boa	Misturas de areia com silte e argila
Pneumático leve	15	15	Boa	Misturas de areia com silte e argila
Pneumático pesado	35	35	Muito boa	Praticamente todos
Vibratório com rodas metálicas lisas	30	50	Muito boa	Areias, cascalhos, material granular
Liso metálico estático, 3rodas	20	10	Regular	Materiais granulares, britas
Rolo de grade ou malha	20	20	Boa	Materiais granulares ou em blocos
Combinados	20	20	Boa	Praticamente todos

- Execução de aterros com materiais inapropriado para esse efeito, por exemplo, solos orgânicos. Os materiais empregados em aterros devem possuir características como resistência ao corte e a deformabilidade, no Quadro 3 seguinte temos os vários tipos de materiais que compõe os solos e a sua classificação quanto a sua aplicação em aterros;

Quadro 3 - Classificação dos solos quanto a sua aplicação em aterros (Apontamentos da Disciplina de Mecânica dos Solos [2]).

	Permeabilidade	Suporte da fundação	Base para pavimentação	Expansível	Dificuldades de compactação
Seixo	Muito alta	Excelente	Excelente	Não	Muito fácil
Areia	Media	Boa	Boa	Não	Fácil
Sílte	Media baixa	Pobre	Pobre	Um pouco	Um pouco
Argila	Nenhuma	Moderada	Pobre	Difícil	Muito difícil
Orgânico	Baixa	Muito pobre	Não aceitável	Um pouco	Muito difícil

- Execução de aterros com materiais heterogêneos, por exemplo, a utilização de solos composto por resíduos de construção como resíduos de alvenarias, betão, madeira, etc. A compactação desse tipo de solo se torna extremamente difícil ou até impossível e esta sempre susceptível a assentamentos, portanto não deve ser empregado como aterro para fundações.

4.5.2 Deformação do solo natural abaixo do aterro, devido acréscimo de tensões do peso próprio do aterro e pelas cargas da estrutura

Schnaid et al. (2005) fala que aterros executados sobre solos moles ou frágeis pode levar ao surgimento de problemas como ruptura ou graves assentamentos. As deformações decorrentes são originadas gradativamente devido as sobrecargas exteriores aplicadas no solo causando pouco a pouco sua redução de volume, sendo que esta redução de volume é proporcional ao volume de água que é expulso do solo, este fenômeno é conhecido como adensamento do solo.

O processo de adensamento é relativamente simples quando um carregamento é aplicado no solo compressível saturado, o carregamento é, no início, suportado pela água, mas a medida que o tempo passa a água vai-se dissipando e diminuindo o volume de vazios, estes vazios vão ser comprimidos devido às tensões criadas pelo peso do aterro e às cargas transmitidas pelas fundações, conseqüentemente, há uma redução do volume do solo, o que implica assentamentos na estrutura. O fenômeno da consolidação de solo é um processo lento que pode levar anos até estabilizar.

O autor refere-se ainda que as soluções para este tipo de problemas passam pela remoção total da camada de argila, construção do aterro por etapas ou utilizar mantas geotêxteis para fazer uma rápida drenagem da água e melhorar as condições de estabilidade. Qualquer uma destas soluções envolve custos e perda de tempo considerável no projeto.

4.5.3 Assentamento do aterro sobre lixões ou aterros sanitários

Aterro sanitário é um local de destino final do lixo de muita utilização nos dias de hoje, devido a sua execução ser simples, baixo custo e grande capacidade de absorção de resíduos, em comparação com outras formas de tratamento de lixo. Contudo existem fatores limitantes a essa prática como a redução das áreas próximas aos centros urbanos, riscos ambientais e emissão de gás metano.

O problema principal das obras realizadas sobre aterros sanitários é os recalques que possa vir ocorrer na estrutura em razão da degradação do material existente no aterro, por isso a necessidade de um estudo geológico completo para avaliar o comportamento ao longo do tempo, outro problema associado a construção sobre aterros sanitários é a possibilidade de formação de gás metano devido a degradação dos resíduos orgânicos existentes, a concentração de gás metano pode provocar explosões. Projeto sobre aterros sanitários requer:

- Análise do atrito negativo em razão do recalque causado pela decomposição dos resíduos;
- Garantia da integridade da estaca, realizando-se pré-furos para estacas cravadas;
- Verificação da continuidade de estacas escavadas, por meio da exposição do fuste;
- Avaliação do impacto de substâncias líquidas formadas pela decomposição dos materiais existentes no aterro sanitário / lixão (cloretos, ácidos e sulfatos);
- Garantia da estanqueidade de selante de fundo de aterros na instalação de estacas com uso de revestimentos que penetrem no selante.

5 EXECUÇÃO DAS FUNDAÇÕES

Os problemas de execução correspondem ao segundo maior fator de patologias em fundações. Para que a fundação seja realizada de forma adequada, deverão ser especificados de forma precisa e detalhada os materiais utilizados nas fundações, também os materiais e procedimentos em conformidade com a boa prática, uso de processos construtivos apropriados, equipamentos adequados, utilização de pessoal experiente acompanhado por uma equipe que supervisiona os trabalhos de forma rigorosa.

Em casos especiais, existe a necessidade de ensaios complementares para comprovação da adequação e segurança.

Schnaid et al. (2005) menciona que as patologias associadas aos problemas de execução das fundações podem ser divididos em dois grupos:

- Problemas de execução em fundações superficiais;
- Problemas de execução em fundações profundas.

5.1 Problemas de execução em fundações superficiais

Os problemas de execução de fundações superficiais ou fundações diretas estão relacionados aos aspectos envolvendo o solo no qual esta assentada a fundação e os elementos estruturais da fundação.

As fundações superficiais são as estruturas mais utilizadas e de fácil implementação, diante disto são nestas onde presenciamos maior número de patologias, as construções de menor porte estão entre as mais atingidas por essas patologias, pois a maioria das vezes a execução das fundações dessas construções é feita sem projeto ou desenvolvido por pessoas sem experiência ou sem capacidades para o efeito; em muitos outros casos os projetos de fundações são executados projetos baseados em projetos de obras vizinhas semelhantes, com falta de execução de ensaios aos solos, entre outros.

5.1.1 Problemas envolvendo o solo

Segundo Schnaid et al. (2005) as patologias mais importantes que tem relação com o solo onde são implantadas as fundações são:

- Construção de elementos estruturais sobre solos diferentes e com comportamentos diferentes, muito comum nos casos onde são realizados cortes sendo este material utilizado depois como aterros em outro local para executar fundações à mesma cota de implantação (Figura 36), provendo na introdução de fundações assentes em materiais diferentes daqueles no qual estava especificado no projeto ou alteração da profundidade de implantação como resultado da variação da cota da camada resistente. Estas situações podem provocar assentamentos diferenciais ou mesmo o colapso da estrutura;

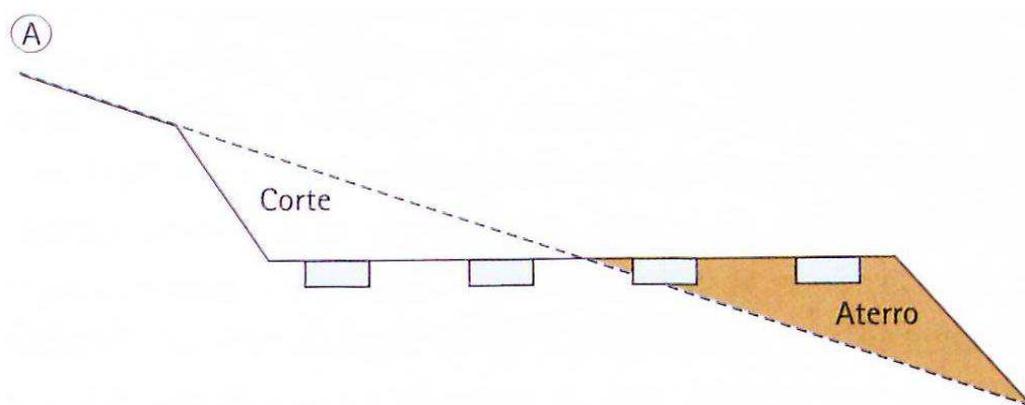


Figura 36 – A) Exemplo de escavação para posterior aterro para implantação de fundações a mesma cota (Schnaid et al.,2005).

- Problemas originados da escavação e limpeza do local que será introduzidas as fundações, por exemplo , a ruína da camada onde as fundações são apoiadas, escavação exagerada, o que acaba provocando a realização de um aterro até se alcançar a cota de pretensão, conseqüentemente, diminuição da resistência do solo, , desmoronamento das paredes laterais da escavação, etc. Este tipo de patologias provoca assentamentos na estrutura.
- Situações de substituição do solo por material não apropriado ou por material que não foi devidamente compactado;

- Sapatas executadas em cotas diferentes onde ocorre o desmoronamento das sapatas que são estabelecidas numa cota superior devido a escavação para sapatas que se encontram numa cota inferior;
- Sapatas executadas numa cota superior à passagem de canalizações definidas em projeto ou já presentes no terreno. Ao efetuar as escavações é necessário ter atenção ao vazamento das canalizações que pode provocar perda de resistência do solo.

5.1.2 Problemas envolvendo o elemento estrutural da fundação

Conforme Soares (S.D), os problemas relacionados com elementos estrutural da fundação são:

- Qualidade inadequada do concreto, casos em que o concreto apresenta uma resistência menor do que a tensão especificada em projeto, provendo em uma situação de insegurança, afetando no desempenho dos elementos construtivos;
- Ausência de regularização com concreto magro do fundo da cava da fundação ou limpeza acaba facilitando o contato imediato do solo com a fundação, sendo o ambiente agressivo pode levar a contaminação do concreto durante a betonagem. Outra consequência desta ausência é o recobrimento inadequado da armadura das fundações.
- Execução de elementos de fundação com dimensões e geometrias incorretas, o que acaba resultando em tensões não condizentes com as calculadas no projeto; a presença destes tipos de situação pode provocar deformações, efeitos de puncionamento e pôr em risco o bom desempenho da estrutura;
- Presença de água durante a concretagem, acaba afetando a integridade e a qualidade da fundação. A injeção do concreto deve ser executada sem a ocorrência de nenhum vazamento de água para o interior; se for identificada

a existência de água na cava tem de ser implantadas bombas para sua extração.



Figura 37 – Redução do nível freático com ajuda de bombas durante a betonagem (Fritz, 2009).

- Adensamento e vibração insuficiente do concreto, levando ao surgimento de elementos com geometrias diferentes das estimadas em projeto e deficiência no recobrimento de armaduras, resultando em insegurança da fundação favorável a sua degradação e colapso.
- Problemas relacionados ao mau posicionamento das armaduras; armaduras muito densas, mal colocadas, insuficientes ou estribos mal colocados, e junta de dilatação mal executada enfraquecem a estrutura além da falta de limpeza antes da concretagem provoca problemas de estrangulamento das seções de pilares, conseqüentemente, betonagem deficiente dos elementos estruturais e perda do recobrimento.

5.2 Problemas de execução em fundações profundas

Neste tópico vamos ver as patologias mais comuns relacionadas com fundações profundas no geral.

5.2.1 Problemas genéricos

As patologias mais comuns em problemas que ocorrem na execução de fundações profundas (Schnaid et al., 2005) são:

- Erros de locação, por exemplo, execução de estacas em desacordo com o previsto em projeto, o que acaba resultando em solicitações não estimadas nas vigas de equilíbrio ou nos blocos de encabeçamento;
- Problemas decorrentes de desvios de execução; por exemplo, o desvio das estacas em decorrência da identificação de blocos de rocha sólidos ou outro tipo de obstruções. Também podem ser incluídos os erros provocados por distrações ou negligência durante o início da execução dos elementos;
- Erros quanto a geometria da estrutura na execução, sendo dentre estes os mais típicos erros nos diâmetros das estacas, principalmente quando é implantado um elemento com o diâmetro inferior ao previsto no projeto, fazendo com que sua resistência diminua tornando-a insuficiente levando a ruína da estrutura.
- As modificações feitas sem serem postas no projeto, como substituição de elementos projetados por outros equivalentes, em decorrência da falta de meios para sua execução; por exemplo, cravação de estacas de menor comprimento que o previsto no projeto devido a presença de obstruções, a implantação de duas estacas de diâmetro inferior no lugar de estacas pré-moldadas, sem nenhum cálculo, provocando alterações no centro de gravidade das peças e distribuição de cargas diferentes das previstas em projeto;

- Falhas resultante da inclinação final dos elementos por serem executados de forma não condizente com inclinação indicada em projeto em decorrência de dificuldades construtivas ou erros, que acaba provando solicitações em desacordo com a previsão, conduzindo a insegurança e instabilidade da estrutura.
- A falta de limpeza das cabeças das estacas podem causar problemas na ligação entre as estacas e o maciço de encabeçamento, fazendo com que gaste um maior tempo na concretagem e que pode originar deformações durante o carregamento da estrutura.
- Erros devido a defeitos de posicionamento das armaduras dos elementos estruturais ou ausência de vinculação de estacas quando estiverem tracionadas provoca uma má transmissão das cargas;
- Características do concreto inadequadas como, por exemplo, a execução de elementos estruturais, com concreto com uma resistência inferior a especificada no projeto. Esta patologia é mais típica das estacas moldadas (Henderson et al., 2002).

6 EVENTOS PÓS-CONCLUSÃO DAS FUNDAÇÕES

Neste tópico iremos tratar dos problemas que tem surgimento depois que as fundações da estrutura já foram executadas e estão funcionando corretamente, mas, por causa de eventos pós-conclusão, começam a apresentar dificuldades para desempenhar as suas funções afetando assim a estabilidade e segurança da estrutura. Alguns destes eventos podem ser previstos durante a fase de concepção do projeto podendo ser adotadas medidas preventivas, outros são imprevisíveis e acabam por ser designados como acidentes. As patologias mais comuns neste tipo de casos podem ser separadas em três grupos (Schnaid et al., 2005):

- Alterações no carregamento da estrutura;
- Movimentos da massa do solo devido a ações externas;
- Vibrações e choques.

6.1 Alterações no carregamento da estrutura

Alterações significativas no carregamento de um elemento estrutural acaba provocando surgimento de problemas nas fundações afetando assim a estabilidade e firmeza da estrutura; estes problemas são originados da alteração no uso da edificação para a qual foi projetada ou Ampliações e modificações não previstas no projeto original.

- Alteração no uso da edificação;

Quando fazemos alterações no uso de uma edificação as solicitações também são modificadas; esta modificação pode acabar resultando em um aumento de significativo nas cargas que são sustentadas pelas fundações e gerar problemas que levam ao aparecimento de patologias (Schnaid et al., 2005). A maioria desta situação apresenta-se em prédios comerciais e industriais no qual estes são inicialmente projetados para determinado uso, mas depois e utilizados para outro fim modificando assim as funções para qual tinha sido projetado ou pela a adição de novas instalações para desempenhar outras atividades fazendo com que haja um aumento das cargas nas fundações. A colocação de equipamentos e materiais

pesados sobre uma estrutura também provoca o aumento das cargas sobre as fundações, todas estas situações põe em causa o bom funcionamento das fundações e, conseqüentemente, a estabilidade da estrutura (Figura 38).



Figura 38 – Exemplo de alteração do uso de uma estrutura, onde o projecto inicial era uma escola mas foram feitas modificações para o prédio ser usado como uma biblioteca (Modificado, Schnaid et al., 2005).

Diante disto, é super importante que antes de qualquer alteração na estrutura verificamos as condições para as quais as fundações foram inicialmente projetadas , com isso saberemos se quando forem efetuadas as alterações a nossa estrutura funcionara de forma segura.

- Ampliações e modificações não previstas no projeto original.

As modificações não previstas em projeto acabam gerando um acréscimo de carregamento nas fundações, decorrentes de aumentos e ampliações na estrutura, logo como as fundações desta edificação não esta habilitada para suportar este acréscimo de cargas acaba por surgir assentamentos, fissuras ou outro tipo de patologias. Situação bastante comum em prédios onde são feita reformas e prédios comerciais que decidem ampliar sua área comercial, sem que haja nenhum tipo de especificação em projeto ou reforço nas suas fundações.

6.2 Movimento da massa de solo decorrente de fatores externos

Vários problemas de fundações tem origem em movimentações da massa do solo devido a fatores externos que provoca alterações no comportamento do solo no qual estão assentadas as fundações, sendo que não necessariamente estão relacionados com as cargas transmitidas pelas fundações. Deslocamentos do solo, a maioria das vezes, esta associado atividades da construção como, por exemplo, escavações, explosões, rebaixamento do nível freático, tráfego pesado, demolições, implantação de fundações profundas, compactação de solos, etc.

- Alteração de uso de terrenos vizinhos;

Com relação a alteração de uso de terrenos vizinhos podemos destacar dois tipos de problemas:

- A execução de uma nova construção sem a implantação de uma junta de separação entre a nova estrutura e a já existente. Esta situação também é presente em ampliação de obras sem a construção de juntas de separação entre elas, este tipo de situação são bastante comuns e podem resultar em sérios danos a estrutura(Figura 39).



Figura 39 – Problemas causados pela construção de novas estruturas sem junta de separação (Schnaid, 2006).

- A realização de construções de grande porte ou armazenagem de grandes quantidades de materiais pesados ao próximo ou junto as fundações diretas ou profunda leves, pode resultar em um acréscimo de tensões no solo onde esta assentes as fundações e recalques na estrutura antiga.
- Execuções de grandes escavações próximo à construções;

Quando realizamos uma escavação ocorre uma movimentação da massa do solo e existe uma perda de material provocando alteração nas tensões iniciais e modificações no nível do lençol freático; essas alterações tem efeitos significativos sobre as fundações existentes nas proximidades, intensificando a possibilidade de ocorrência de assentamentos das estruturas. Independente do tipo de fundações, superficiais ou profundas, as estruturas serão afetadas já que um dos efeitos é a modificação das tensões da massa do solo.

Os movimentos do solo resultante de escavações são provocados pelas alterações na massa do solo, pela alteração do nível freático, pelo adensamento do solo, pela construção de muros de contenção e pela retirada das contenções provisórias; diante do surgimento dessas atividades relacionadas com a escavação ocasionam efeitos como translações, rotações, distorções que danificam a estrutura devido a fatores como (Schnaid et al., 2005):

- Variação das tensões no solo devido à escavação;
- Resistência e rigidez do solo;
- Variação das condições do nível freático;
- Rigidez do sistema de suporte;
- Forma e dimensão da escavação;
- Qualidade de execução dos trabalhos;
- Outros efeitos como preparação do local, execução de fundações profundas, etc.
- Escavações não protegidas junto a divisas ou escavações internas à obra (instabilidade);

São escavações de pequena dimensão sem proteção que quando realizadas junto a obras existentes provoca um imenso número de acidentes e ocasionando

instabilidade. Na execução de escavações próximas de fundações é fundamental que sempre seja tomada medidas de prevenção de instabilidade da estrutura; as fundações rasas são as mais suscetíveis ao surgimento de patologias diante dessa situação, por serem as mais sensíveis ao alívio de tensões. E também na presença de solos superficiais com baixa resistência, a realização de pequenas escavações no interior da obra, como, por exemplo, a inserção do poço do elevador acaba ocasionando problemas de descalçamento da estrutura (Schnaid et al., 2005).



Figura 40 – Descalçamento das fundações da estrutura devido a escavações próximas (Schnaid, 2006).

- Rompimento de canalizações enterradas;

O rompimento de canalizações enterradas pode levar ao surgimento de problemas de erosão no solo devido a água provocar o deslocamento das partículas do solo, ocasionando vazios que levam a ocorrência de assentamentos estruturais. Em solos frágeis, como, solos colapsíveis ou aterros mal compactados, a ocorrência de rompimento de canalizações pode induzir a grandes recalques das fundações apoiadas na massa de solo afetada.

- Oscilações não previstas do nível de água;

A ocorrência de variações no nível de água sem serem especificados no projeto acaba originando maiores solicitações no subsolo, afetando sua instabilidade ocasionando danos na estrutura; este tipo de problema ocorre com freqüência nos casos em que são feitas as sondagens mas não é registrado o nível do lençol freático devido o mesmo se localizar em uma profundidade mais abaixo das fundações ou nos casos das estações de chuva e estações de seca que causam oscilações no nível freático devido não serem captáveis pela investigação (Schnaid et al., 2005).

A existência de água nos solos não considerada em projeto dar origem a vários novos impulsos sobre a estrutura que não foi projetada para os suportar, o que pode provocar a ruptura dos elementos enterrados (Figura).

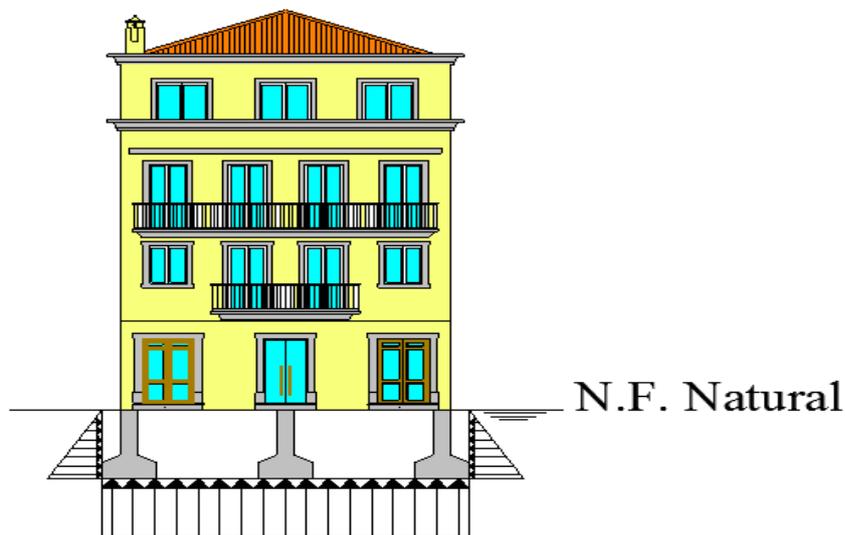


Figura 41 – Impulsos provocados pela água presente no solo sobre uma estrutura (Modificado, Schnaid et al., 2005).

- Rebaixamento do nível de água;

Algumas vezes precisamos realizar construções abaixo do nível freático, aí nos deparamos com um meio difícil para construir diante disto recorreremos ao rebaixamento do nível freático. Sempre que rebaixamos o nível freático há uma variação no peso efetivo do solo, essa alteração de peso provoca o aumento de

tensão efetiva na massa do solo, resultando em deformações do solo que acarretam assentamentos nas estruturas.

O rebaixamento do nível freático também afeta as fundações das construções vizinhas, especialmente as sobre fundações superficiais em solos granulares ocasionando assentamentos; solos granulares compactos ou medianamente compactos só são afetados quando o rebaixamento do nível freático provoca a perda ou deslocamento de material do solo, mas os seus efeitos são pouco significativos devido esse material apresentar uma elevada rigidez; No caso de solos argilosos, estes efeitos são mais significativos, em solos orgânicos os efeitos são rápidos enquanto que nos solos com argilas de baixa permeabilidade os efeitos dependem do tempo em que o rebaixamento ocorre. Um rebaixamento de longo prazo do nível freático acaba ocasionando efeitos de consolidação do solo e provocar assentamentos como mostra a Figura 42 (Schnaid et al., 2005).

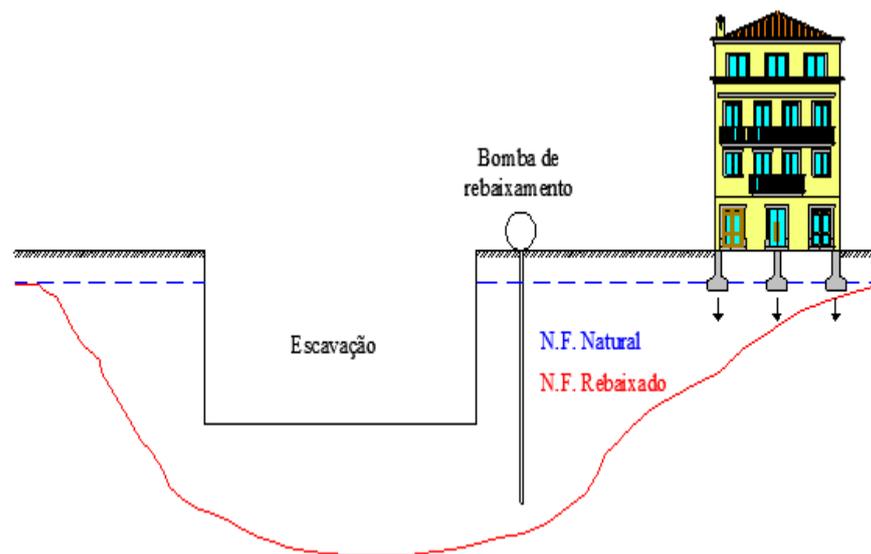


Figura 42 – O rebaixamento do nível freático para construção de uma nova estrutura pode provocar patologias em estruturas vizinhas como assentamentos (Modificado, Schnaid et al., 2005).

- Erosão ou solapamento (Scour);

O fenômeno da erosão das fundações ocorre principalmente nas fundações executadas dentro de leitos onde há correntes de água; este fenômeno é muito presente em pontes construídas sobre rios onde as suas fundações encontram-se no leito do rio e devido às correntes de água, o material do fundo do rio é deslocado,

ocasionando o descobrimento das fundações; este fenômeno causa a alteração do perfil do rio ao longo dos anos, estas alterações prejudicam na estabilidade dos elementos estruturais podendo causar ruptura geral e colapso (Figura 43) por apesar de as fundações serem projetados de forma adequada é muito importante um estudo da melhor forma de proteção dos elementos estruturais contra a erosão (Federico et al., 2003, citado por Schnaid et al., 2005).

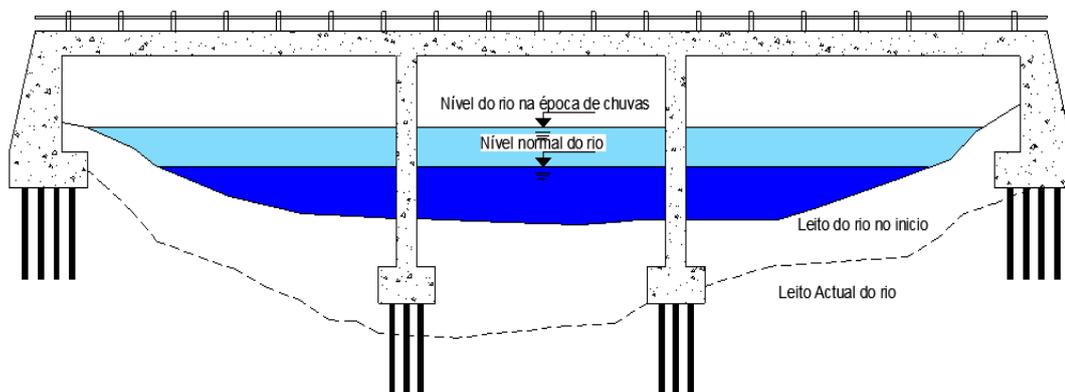


Figura 43– Exemplo da alteração do fundo do leito do rio devido a erosão (Modificado, Muñoz et al., 2006).

6.3 Vibrações e choques

A execução de ações que causam vibrações ou choques como compactação do solo, equipamentos de cravação, explosões para desmonte de rochas, equipamentos industriais de utilização tanto dentro como fora da estrutura, entre outros, pode acabar originando patologias na estrutura. Estas ações são prejudiciais principalmente as fundações superficiais assentes em solos granulares, devido a aplicação de vibração no solo o mesmo sofre uma diminuição do seu índice de vazios causando assim assentamentos estruturais que podem ter efeitos danosos nas edificações existentes.

- Equipamentos industriais cuja ação dinâmica produz vibração;

A utilização de equipamentos industriais que causam vibrações no solo, como por exemplo, equipamentos de moldagem, equipamentos corte entre outros que dão

origem a vários problemas nas fundações da estrutura. Diante disto, torna-se necessário, cuidados especiais e um estudo de soluções de isolamentos que amenizem as vibrações junto as estruturas; ; por exemplo, máquinas de grandes dimensões como turbo-geradores, normalmente são criadas fundações separadas por juntas, amortecedores ou molas para evitar a transmissão de vibrações.

- Cravação de estacas danificando edificações já existentes;

A cravação de estacas mediante esforços dinâmicos, sobretudo a que acarreta deslocamento da massa do solo ou o uso de equipamentos vibratórios promovem alterações nas solicitações devido a uma nova disposição da massa do solo que podem ocasionar problemas as fundações já implantadas ou as construções vizinhas. A cravação de estacas promovem assentamentos significativos nas fundações superficiais de prédios, em solos não-coesivos as vibrações são amenizadas de forma rápida, mas em solos coesivos elas atingem grandes distancias, logo os efeitos da cravação são sentidos principalmente em solos coesivos porque ajudam a sua propagação.

Schnaid et al. (2005) cita um conjunto de medidas para reduzir os efeitos da cravação de estacas:

- Execução de pré-furos;
- Cravação através do uso de jacto de água em areia compactas;
- Uso de estacas com menor secção possível;
- Iniciar os trabalhos de cravação a partir das estacas mais próximas das estruturas existentes;
- Evitar a cravação através de métodos vibratórios em solos argilosos;
- Utilizar estacas moldadas quando existir risco de assentamentos nas estruturas vizinhas.

- Compactação do solo com equipamento vibratório ou de impacto;

A compactação de solos por meio de equipamentos vibratórios ou de percussão pode ocasionar grandes efeitos nas construções das proximidades mediante a propagação das vibrações na massa do solo. No desenvolver desta atividade deve ser feita uma previsão do equipamento mais adequado para a

situação afim de evitar a ocorrência de problemas significativos. Em centros urbanos não devem ser utilizados equipamentos com carga superior a 50kN.

- Emprego de explosivos para o desmonte de rocha;

A utilização de explosivos para o desmanche de rochas ou para destruição de estruturas de concreto acarretar vibrações, lançamentos de fragmentos e pressões sonoras, que quando não controlados provocam grandes danos às estruturas. Schnaid et al. (2005) expõem que o planejamento de explosões deve incluir as seguintes etapas:

- Avaliação do local onde são aplicadas as explosões e a delimitação do perímetro que oferecem risco, no qual as ondas de choque se propagam;
- Investigação da estabilidade e do estado em que se encontram as fundações das estruturas e as condições dos imóveis que estão localizadas no perímetro de risco, é recomendável que antes do emprego de explosivos seja feita uma verificação de todas as estruturas vizinhas afim de localizar danos já existentes fazer um registro fotográfico para evitar situações de aproveitamento por parte dos moradores;
- Avaliação de como as estruturas das proximidades respondem à vibração, assim como os equipamentos que se encontram no interior destas;
- Avaliação das obras subterrâneas como túneis, reservatórios e outros que podem ser danificados pelas explosões;
- Informação às povoações envolvidas sobre os riscos das explosões e as consequências das mesmas.

7 DEGRADAÇÃO DE MATERIAIS

A ação de elementos da natureza sobre os materiais constituintes das fundações indica a necessidade de verificação da existência ou não de materiais agressivos e seus possíveis efeitos, cuja avaliação deve ser prevista nas etapas de investigação do solo. Um ambiente agressivo pode ser identificado pela resistividade do solo, pH, teor de sulfatos e cloretos. Quando ocorre a presença de rejeitos industriais, locais de depósitos de componentes potencialmente agressivos, ou de natureza desconhecida, se torna necessária uma avaliação abrangente de substâncias agressivas. A seguir, identificam-se casos típicos de deterioração em cada material.

De acordo com Schwirck (2005), todos os projetos de engenharia com elementos enterrados ou em contato com o solo e água devem considerar as ação dos elementos naturais sobre os materiais das fundações obriga à verificação da existência de materiais agressivos e seus possíveis efeitos.

7.1 Concreto

A durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos ou quaisquer outros processos de deterioração (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Vários tipos de ácidos são perigosos para o concreto, sejam inorgânicos ou orgânicos, normalmente encontrados na terra. (MILITITSKY *et al.* 2005).

Sendo um meio útil para o transporte de íons agressivos, a água muitas vezes torna-se fonte de processos químicos de degradação. Os Fenômenos físico-químicos são originados pela capilaridade do sólido por onde a água infiltra, podendo ser combatida pela redução da permeabilidade do concreto, como descrito na figura 44. Com esta medida, protegemos os elementos de concreto contra qualquer processo físico-químico de deterioração. Quanto menores os índices de permeabilidade e porosidade há uma diminuição na probabilidade de deterioração, tendo-se neste caso, que satisfazer no mínimo duas condições: reduzida relação água/cimento e maior tempo possível de cura.

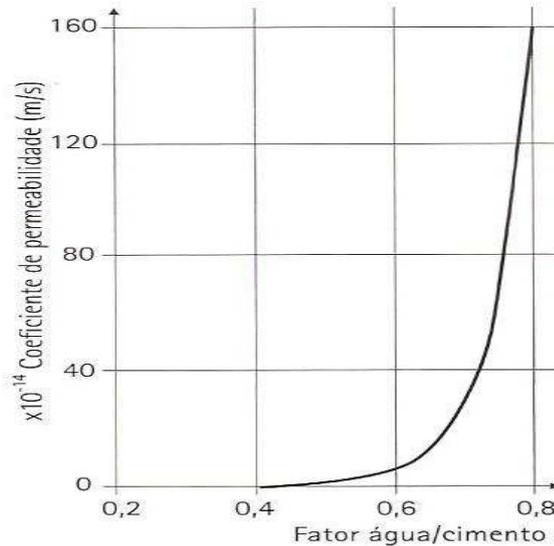


Figura 44 – Influência da permeabilidade do concreto no fator a/c (Milititsky, 2008)

A deterioração do concreto por causas químicas, podem ser provocada por reações de origem expansiva, como: reação álcalis-agregados que resulta na interação entre sílica reativa de alguns agregados e os íons álcalis (Na⁺ e K⁺) presentes nos cimentos e liberados durante a hidratação. Esta reação causa sólidos a mais em meio fechado, causando fissuras. Embora a reação álcalis-agregados seja importante, o mais significativo agressor do concreto em fundações é o sulfato, que ocorre naturalmente em solos e em suas águas. Podem ser citados como fatores que influenciam o ataque por sulfatos:

- a) A quantidade e natureza do sulfato existente; quanto maior for a concentração de sulfatos no solo ou na água mais severo será o ataque;
- b) O nível freático e a sua variação;
- c) fluxo da água subterrânea e nível de porosidade do solo;
- d) forma construtiva;
- e) qualidade do concreto (cimento utilizado, reação água/cimento, agregado utilizado).

IDADE (dias)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s x 10 ¹¹)
Fresca	4.000
5	1.000
6	1.000
8	400
13	50
24	10
Final	6

Tabela 1 – Redução na permeabilidade da pasta de cimento (relação a/c = 0,7) com evolução da hidratação (Mehta e Monteiro, 1994)

Na tabela 1 fica definida que, quanto maior o tempo de cura do concreto, menor o coeficiente de permeabilidade do mesmo, sendo prudente aguardar a cura final da peça para expor a mesma aos elementos externos (nível de água, contato com sulfatos, etc.).

Com base nas informações, elementos de fundação que se encontram abaixo do nível d'água têm menor probabilidade de ataque por sulfatos. Reações causadas pela pasta de cimento também podem causar expansão e desintegração do concreto, em combinação com sulfatos presentes no solo e dissolvidos em água. A determinação das condições de agressividade do subsolo é importante para todas as construções subsuperficiais. Abaixo, tabela 2 de determinação de agressividade segundo a norma DIN 4030 (1998):

ASPECTO AVALIADO	GRAU DE SEVERIDADE		
	LEVE	SEVERO	MUITO SEVERO
Ph	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
Dissolução do óxido de cálcio (CaO) em anídrico carbônico (CO ₂), em mg/l	15 - 30	30 - 60	> 60
Amônia (NH ₄) em mg/l	15 - 30	30 - 60	>60
Magnésio (Mg) em mg/l	100 - 300	300 - 1.500	> 1.500
Sulfato (SO ₄) em mg/l	200 - 600	600 - 3.000	> 3.000

Tabela 2 – Agressividade natural segundo DIN 4030 (1998)

Em relação à correspondência entre a relação a/c e resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, são permitidos os valores mínimos no dimensionamento nesta relação, segundo a norma ABNT NBR 6118/2014, tais como expressos nas tabelas 3 e 4 a seguir:

Classe de agressividade	pH	CO ₂ Agressivo em mg/l	Amônia (NH ₄) em mg/l	Magnésio (Mg) em mg/l	Sulfato (SO ₄) em mg/l	Sólidos dissolvidos em mg/l
I	>5,9	<20	<10	<150	<400	>150
II	5,9 - 5,0	20 - 30	100 - 150	150 - 250	400 - 700	150 - 50
III	5,0 - 4,5	30 - 100	150 - 250	250 - 500	700 - 1.500	<500
IV	<4,5	>100	>250	>500	>1.500	<50

Tabela 3 – Classificação da agressividade do ambiente na durabilidade concreto (Comitê Euro-Internacional du Beton, 1993).

Na tabela 3 estão expostos os principais agressores do concreto e verificado que quanto menor o pH apresentado, maior a agressividade, necessitando de atenções específicas em cada caso.

CONCRETO	TIPO	CLASSE DE AGRESSIVIDADE (segundo a tabela anterior)			
		I	II	III	IV
Relação a/c em massa	Concreto armado	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	Concreto protendido	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45

Tabela 4 – Correspondência entre classes de agressividade e qualidade do concreto (Ibracon, 2003).

Na tabela 4 são apresentados os fatores a/c necessários para classe de agressividade, verificando-se também o tipo de armadura utilizado em determinada peça. Observa-se que quanto maior o grau de agressividade torna-se necessária a diminuição do fator água-cimento.

Classificação da exposição ao sulfato em quatro graus de severidade, de acordo com o ACI BUILDING CODE 318-83 (1993):

- *ataque desprezível*: conteúdo de sulfato abaixo de 0,1% no solo ou abaixo de 150 mg/l na água. Sem restrições ao tipo de cimento ou relação a/c;
- *ataque moderado*: conteúdo de sulfato entre 0,1 e 0,2% no solo ou de 150 a 1500 mg/l na água. Utilização de cimentos Pozolânico ou cimento Portland de Alto-forno com relação a/c menor que 0,5;
- *ataque severo*: conteúdo de sulfato de 0,2 a 2,0% no solo ou de 1500 a 10000 mg/l na água. Utilização de cimento Portland com menos de 5% de C3A (aluminato tricálcico) com relação a/c menor que 0,45.
- *ataque muito severo*: conteúdo de sulfato acima de 2,0% no solo ou acima de 10000 mg/l na água. Utilização de cimento Portland contendo menos de 5% de C3A (aluminato tricálcico) e adição de pozolana, com uma relação água cimento menor que 0,45.

Casos onde utilizam-se agregados leves a resistência mínima a compressão aos 28 dias é de 28 MPa para ataques de sulfatos severo ou muito severo.

Vários ácidos são perigosos para o concreto, sejam inorgânicos (clorídrico, sulfúrico, sulfídrico, nítrico, carbônico) ou orgânicos (acético, láctico). Sendo assim, fundações de obras industriais com dejetos muito agressivos, devem ter tratamento especial como acompanhamento técnico dos químicos desde o início, para detecção de soluções e prevenção de problemas futuros.

A corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado, tem natureza eletroquímica, podendo ser aumentado por agentes agressivos externos (ineficiente proteção do concreto, alta permeabilidade e porosidade, recobrimento insuficiente, má execução) ou internos (incorporados ao concreto).

Cloretos no concreto, acrescentados a partir da utilização de aditivos aceleradores de pega, de agregados e de águas contaminadas, acarreta e auxilia ainda mais no processo de corrosão das armaduras. Estruturas de concreto utilizadas em ambiente marinho devem ter recobrimentos de armadura maiores de 50mm e baixa relação a/c, contribuindo assim com a redução da permeabilidade ao mínimo. Fissuras ocasionadas por variações de temperatura e diminuição de volume por perda de água são menos prováveis em fundações profundas, uma vez que a variação térmica é pequena e umidade é relativamente constante.



Figura 45 – Exemplos de estaca de concreto com degradação relacionada a ataque de sulfato

Adaptado do site www.ufsc.com.br

7.2 Aço

Estacas metálicas executadas em solos naturais, em contato com água e ar podem estar sujeitas à corrosão e devem ser adequadamente projetadas. A

corrosão do aço também pode ocorrer se os elementos de fundação estiverem em contato com solos contendo materiais agressivos ou aterros, se estiverem localizados em ambiente marinho ou submetidos aos efeitos de variação de nível água. (SCHWIRCK, 2005). A ação da corrosão está de acordo com a temperatura ambiente, pH, acesso ao oxigênio e da química do ambiente em torno do elemento de fundação.

Corrosão de estacas de aço em solos não perturbados tem pouca importância por causa do baixo nível de oxigênio, podendo-se adotar uma taxa de corrosão de 0,015mm/face/ano. Em aterros contaminados, zonas industriais, com efluentes agressivos ou ocorrência de corrente elétrica aumentam o risco, cabendo estudo específico do material por especialista metalúrgico. Adota-se uma taxa de corrosão de 0,035mm/face/ano em caso de exposição a condições atmosféricas. Taxas de corrosão utilizadas estão dispostas nas tabelas 5 e 6, onde estão expostas médias de dados coletados em diversas obras, com valores em mm/face/ano:

VIDA ÚTIL	5 anos	25 anos	50 anos	75 anos	100 anos
Solos naturais não perturbados	zero	0,30	0,60	0,90	1,20
Solos poluídos e com contaminação industrial	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Solos naturais agressivos (pantanosos, turfosos)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Aterros de solos não compactados	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Aterros de materiais agressivos (cinzas, resíduos) não compactados.	0,50	2,00	3,25	4,25	5,75

Os valores para 5 e 25 anos são baseados em medidas, as demais em extrapolações.

Tabela 5 - Corrosão (mm) de estacas metálicas em solos, acima e abaixo do lençol freático (European Standard EM 1993-5,2003)

Estruturas de fundação metálica em casos marinhos (cais, plataformas, pontes) ou ambientes fluviais devem ter as seguintes regiões consideradas

- zona atmosférica: acima do contato com a água, inclusive respingos;
- zona de variação: exposto a flutuação de contato;
- zona de imersão: abaixo do nível mínimo de variação de água.

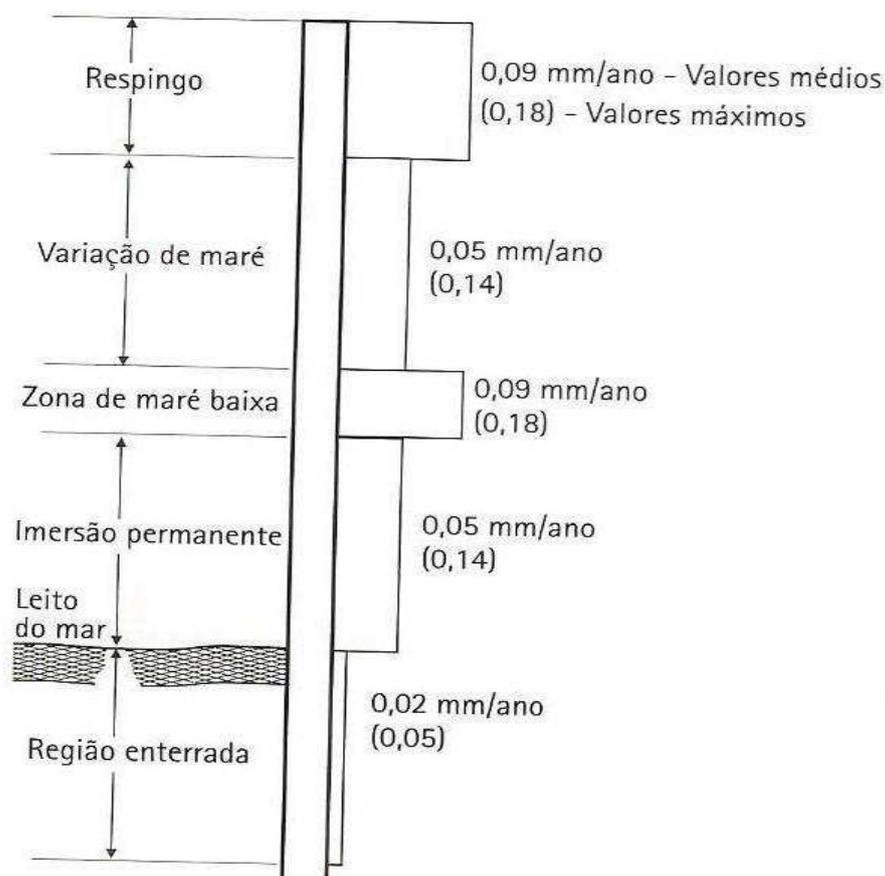


Figura 46 – Taxas de corrosão de zonas de estacas de aço em ambiente marinho (Milititsky, 2008)

Na figura 46 nota-se que as zonas de maior corrosão em ambientes marinhos estão as zonas de respingo, zonas de variação de maré e zonas de maré baixa, locais onde a oxidação, causada pela variação do nível de água e o contato com o oxigênio, ocorre com maior intensidade.

VIDA ÚTIL	5 anos	25 anos	50 anos	75 anos	100 anos
Água doce (rios, canais) na zona de alto ataque (linha de água)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Água doce muito poluída (efluentes industriais, esgoto) na zona de alto ataque (linha de água)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Água do mar em clima temperado nas zonas de alto ataque (zonas de maré baixa e respingo)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Água do mar em clima temperado nas zonas de imersão permanente ou de variação de maré	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50

Os valores para 5 e 25 anos são baseados em medidas, as demais em extrapolações.

Tabela 6 - Corrosão (mm) de estacas metálicas em água doce e água do mar (European Standard EM 1993-5,2003)

Segundo a ABNT NBR 6122/2010, quando a estaca estiver inteiramente enterrada em solo natural, é dispensável o tratamento especial, independente da posição do lençol freático. No caso de trecho desenterrado ou em aterro com materiais que ataquem o aço, é obrigatória a proteção por meio de encamisamento de concreto ou recurso equivalente adequado (pintura, proteção catódica).



Figura 47 – Exemplo de aplicação de estaca metálica parcialmente cravada, em água doce muito poluída. Adaptado do site www.scribb.com

Na figura 47 verifica-se que as partes que foram expostas a variação do nível de água e contato com oxigênio tiveram sua superfície oxidada, podendo acelerar o processo de degradação da peça.

7.3 Madeira

Estacas de madeira totalmente enterradas em solo podem ser afetadas pela variação do nível de água, que induz ao apodrecimento e degradação do material, além dos ataques biológicos de insetos ou moluscos (encontrados no solo e na água respectivamente).

Com a degradação da madeira, ocorrem mudanças físicas e químicas, podendo apresentar mudança na coloração, amolecimento, variação de densidade, redução do módulo de elasticidade e resistência, redução significativa de seção ou perda total de integridade. A inspeção visual externa simples pode não revelar a presença de ataque biológico, apresentando mesma coloração e serem aparentemente íntegras, com danos internos extremos. Na figura 48 é visível a degradação do material: apodrecimento da madeira provavelmente ocasionado pela variação das marés, provocando a descontinuidade da seção e escurecimento devido ao ataque biológico de fungos.



Figura 48 – Estacas de uma antiga ponte de madeira, com danos causados pela degradação. Adaptado do site www.scribb.com

As estacas que tiveram degradação biológica causada por variação de lençol freático, têm necessidade de execução de reforço para garantir a estabilidade estrutural.

Em estruturas fluviais e ambientes marinhos, sofrem ataque biológico acelerado e devem ter proteção especial para evitar sua degradação. Estacas para estruturas marinhas são cravadas até profundidades adequadas, ficando parte enterrada no solo, parte na água e parte no ar, tendo ampliada a agressão devido à variação do nível da água.

A seguir, na figura 49 apresentamos os níveis de degradação das estacas em madeira, onde se pode observar que, na zona de variação do nível de água no solo e, acima do nível do mar, ocorre agressão média causada por fungos. No mar, a zona de ataque mais significativo está entre o nível do mar e o solo, onde sofre ataques de moluscos marinhos.

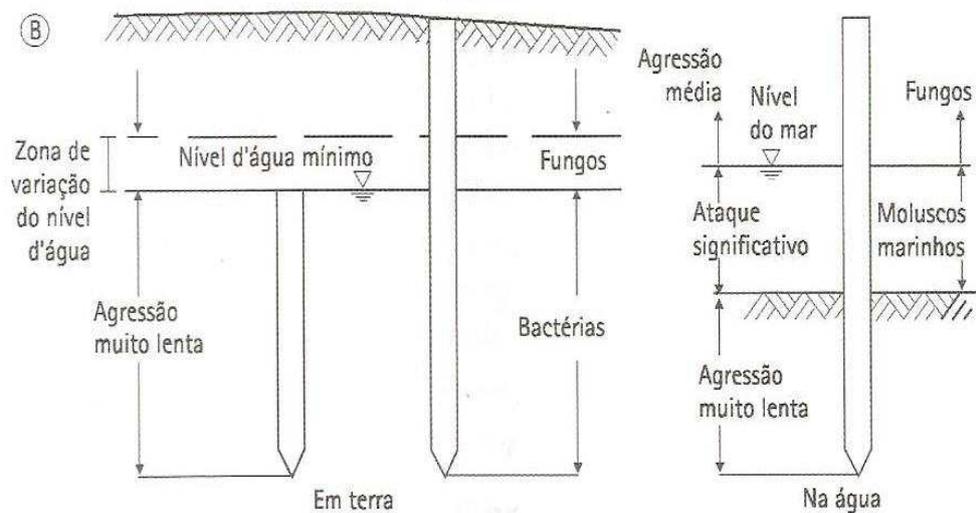


Figura 49 – Influência das condições locais na degradação e ataque a estacas (Milititsky, 2008).

7.4 Rochas

Fundações diretas executadas em blocos de pedra de monumentos históricos antigo são construções utilizando rochas brandas podem apresentar degradação das rochas em longo prazo por agressividade do meio. (SCHWIRCK, 2005).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na bibliografia utilizada mencionam-se cinco aspectos: Caracterização do Comportamento do Solo e Investigação do Subsolo, Análise projeto de fundação, Execução das Fundações, Eventos Pós-conclusão das Fundações e Degradação dos Materiais, os quais se transformam em importantes causas associadas ao tema, concluindo assim, que a ausência de análise de projeto em conjunto com não investigação do solo são os principais fatores que levam ao surgimento de patologia nas fundações.

Observa-se, também, que o diálogo e a articulação entre os integrantes das equipes de profissionais que trabalham tanto na fase de projetos como na execução de obras é de suma importância, corrigindo estas falhas de comunicação e outras, é que poderemos alcançar um melhor patamar na construção civil.

Outro aspecto a ser realçado é que ao longo do processo de execução destes elementos estruturais, se não existir condições apropriadas para o desenvolvimento dos mesmos é muito importante interromper o processo construtivo para fazer novos ensaios no solo, porque corrigir estes problemas se torna mais dispendioso que a própria construção dos mesmos.

Por fim, a partir da bibliografia empregada, constatou-se a necessidade de ter uma maior compreensão sobre o solo, para utilizar o tipo de fundação adequado para que esta consiga suportar as tensões provocadas pelos esforços solicitantes.

9 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Analisar os métodos de reforço de fundações e recuperação das patologias;
- Analisar os métodos de melhoramento de solo para fundações e aterros;
- Comparar custos em situações de reforço e recuperação;
- Analisar estudos de casos.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT. 2010. p. 91.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6489**. Prova de carga direta sobre terreno de fundação. Rio de Janeiro : ABNT. 1984. p. 2.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método ensaio. Rio de Janeiro: ABNT. 2001. p. 17.

ALVES, J. R. **Levantamento das Manifestações Patológicas em Fundações e Estruturas nas Edificações**, com até dez anos de idade, executadas no estado de Goiás. Goiânia-GO, Universidade Federal de Goiás – UFG. 2009.

FABRÍCIO, M. M. ROSSIGNOLO, J. A. **Fundações**. São Carlos-SP. (S.D).

MACÊDO, D. **Patologia das Estruturas**. Disponível em <<http://ebookbrowse.net/patologia-das-estruturas-10%C2%Aaula-pdf-d509999785>> . Acesso em março de 2017.

MATOS. A. **Patologia das Fundações**: estudo caso do edifício centro de ciências humanas e da educação (FAED). Florianópolis-SC, Universidade do Estado do Santa Catarina – UDESC, S.D.

MELHADO, S.B; SOUZA,U.E.L; BARROS,MERCIA, M.S.B; FRANCO, L.S; HINO, M.K; GODÓI, E.H.P; HOO, G.K; SCHIMIZU, J.Y. **Fundações**. São Paulo-SP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2002.

MILITISKY, J. CONSOLI, C. N. SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. Edição 01 São Paulo-SP. Oficina de Textos. 2005.

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

MORESI, E. **Metodologia da Pesquisa**. Universidade Católica de Brasília – UCB, Brasília-DF. 2003.

SCHWIRCK, I. A. **Patologia das Fundações**. Universidade do estado de Santa Catarina – UDESC, Joenvile-SC. 2005.

SOARES, M. A. Alguns fundamentos da corrosão. MSCP – Informações Técnicas. 2008. Disponível em: <<http://www.msps.eng.br>>.

SOARES, J. M. D. **Patologia das Fundações**. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA75QAH/patologia-das-fundacoes>>. Acesso em janeiro de 2017.

VELLOSO, D. A. LOPES, F. R. **Fundações**, critérios de projeto – investigação do subsolo Edição vol1: Fundações Superficiais. São Paulo-SP. Oficina dos Textos. 2004.

VERÇOZA, Ê. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre-RS: Sagra. 1991 Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/41/artigo239476-1.aspx>>, Acesso em novembro de 2016.

LOGEALS, L. **La Pathologie des Fundations**. Paris, Edition du Moniteur, 1982.

ORTIZ, A. **Patología de las cimentaciones**. Informes de la Construcción nº 350. IETcc. Madrid. 1983. Pag. 6 - 35.

LMC - **Laboratório de Mecânica Computacional**. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações - PEF da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo USP. Brasil. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/Estruturas/deslocamento.htm>> Acesso em: Novembro 2009.

ALONSO, U. R. **Exercício de fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

ALONSO, U. R. **Previsão e Controle das Fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

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

VELLOSO, D. A.; LOPES, D. R. **Fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. I, 2011.

OLIVARI, G. **Patologia em edificação**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi. 2003.

PALMAR, J. **Reglamento de Construcciones Sismo-Resistentes**. Normas Colombianas de Diseño e Construcción Sismo-Resistente. NSR-98, Ley 400 de Agosto 19 de 1997, Decreto 33 de enero 9 de 1998. 2003 RAM, Ediciones Digitales, The Digital Book Company. Capitulo H.7 Volume II 1ª Edição. Pag.962 – 966.

Apontamentos da Disciplina de Mecânica dos Solos [2]. Universidade da Madeira. Ano letivo 2007/2008.