



Árvore de Falhas de Patologias em Fundações

Vanessa Wiebelling

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, vanessawi2@hotmail.com

Maycon André de Almeida

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, mayconalmeida@creapr.org.br

RESUMO: Por tratar-se de uma estrutura não aparente, profissionais de engenharia comumente encontram dificuldades na identificação e investigação de patologias em fundações. Isso se dá principalmente devido à escassez de referências bibliográficas que abordem de maneira compacta suas origens, mecanismos deflagradores e características de danos. O presente artigo trata da elaboração de uma árvore de falhas de patologias em fundações, a fim de reunir essas informações em um único material de maneira concentrada e prática. A ferramenta divide-se nas três fases de maior incidência de patologias: Projeto e investigações geotécnicas; execução de fundações; e pós-conclusão de obras. Para isso, foi também elaborada uma tabela com a representação de diversos tipos de fissuras procedentes dessas patologias. Como resultado obteve-se uma ferramenta que facilita a anamnese dessas patologias, onde respostas negativas à eventos específicos podem representar sua origem. Ademais, são feitas sugestões de reparo para cada caso de patologia apresentada.

PALAVRAS-CHAVE: Patologias, Fundações, Anamnese, Árvore de Falhas.

1 INTRODUÇÃO

Por tratar-se de uma estrutura não aparente nas edificações, frequentemente desconsidera-se os efeitos de um dimensionamento inadequado da fundação, o que pode acarretar custos de reparo muito superiores aos de uma estrutura apropriadamente executada. As consequências são passíveis desde a fase de execução até a vida útil de uma edificação, e variam desde o aparecimento de pequenas fissuras na alvenaria e estrutura até o desaprumo da edificação. Não apenas a própria edificação, mas as edificações vizinhas podem sofrer danos quando desconsideradas durante as fases de projeto e execução de uma nova obra.

Dal Molin (1988) relata que 5,59% das fissuras que surgem em estruturas de concreto armado são causadas por problemas em fundações. Já em pesquisa realizada por Alves (2009), 37,50% das patologias em edificações no estado de Goiás foram causadas por problemas nas fundações. Desses, 66,67% foram de baixa gravidade, 26,67% de gravidade moderada e

6,67% de gravidade alta. Silva (1993) define, segundo estatísticas de patologias recorrentes no estado do Rio Grande do Sul, que sua principal causa trata de falhas nas etapas de projeto de fundações, representando 55,2% dos casos, e que cerca de 80% das ocorrências de patologias são decorrentes da falta de conhecimento sobre as propriedades do subsolo em todas as fases de execução das fundações. Ainda segundo a autora, a principal causa de patologia em fundações é a eliminação de custos relativos a investigações geotécnicas, prática essencial à elaboração de uma fundação adequada.

Ainda que existam diversos estudos acerca de patologias, os profissionais de engenharia encontram dificuldades na identificação de suas causas e origens, principalmente nas relacionadas a fundações. Portanto, o presente artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma Árvore de Falhas - AF por meio da análise de situações que podem ocorrer durante as fases de projeto, execução e pós-conclusão de obras que podem levar às manifestações patológicas em fundações. Os



eventos apresentados na árvore são questões necessárias para a correta anamnese desses casos.

Além disso, foi elaborada uma tabela de fácil visualização que representa as fissuras comumente incidentes em casos de patologias em fundações, com suas possíveis origens. Essa ferramenta pode facilitar o diagnóstico sobre a origem desses danos.

2 CARACTERÍSTICAS DE FISSURAS DE PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES

As particularidades dos danos causados em edificações devido a patologias em fundações são numerosas, uma vez que os métodos executivos e as características de cada estrutura de fundação são tão variáveis quanto o comportamento do meio em que são inseridas. No entanto, o comportamento das estruturas pode ser padronizado, uma vez que estão sujeitas à esforços de flexão e flexo-compressão que são refletidos nos danos causados em caso de patologias.

Carvalho (2010) relata que uma forma de compreender melhor as patologias em fundações é estudar as fissuras, que podem dar informações sobre o tipo de patologia que a estrutura apresenta. Quando os esforços provocados por recalques e os esforços da própria estrutura atingem o limite da resistência à tração, à compressão e esforço cortante dos materiais, são originadas as fissuras.

Silva (1993) define as fissuras como consequências dos casos onde as tensões causadas pela movimentação das fundações superam a resistência dos componentes de uma edificação, ou a resistência de união entre eles, fazendo com que trabalhem de formas distintas e rompendo camadas de aderência. Já o desaprumo corresponde ao caso contrário, quando a estrutura trabalha de maneira homogênea, e devido à maior esbeltes (relação entre base e altura), sofre o deslocamento de seu centro de gravidade na existência de tensões superiores às previstas em projeto.

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), as

fissuras são consideradas agressivas quando sua abertura na superfície do elemento construtivo ultrapassa valores como 0,2 mm para peças expostas em meio agressivo muito forte (industrial e respingos de maré), 0,3 mm para peças expostas a meio agressivo moderado e forte (urbano, marinho e industrial) e 0,4 mm para peças expostas em meio agressivo fraco (rural e submerso).

Para Silva (1993), a gravidade das fissuras é subjetiva, pois varia de acordo com a destinação da edificação. Uma pequena fissura pode ser apenas visualmente desconfortável em uma edificação de uso residencial, por exemplo, mas em clínicas e hospitais onde há maiores rigores quanto à estabilidade, pode tornar o reparo indispensável ao sucesso operacional da edificação.

A configuração das fissuras possui algumas características básicas: podem ser verticais, horizontais ou inclinadas, sempre aparecem em ambas às faces do componente comprometido e tem maior abertura em uma das extremidades. Não possuem configuração mapeada, isso é, quando na existência de mais de uma, terão a mesma direção e aproximadamente a mesma espessura. Em edificações de alvenaria estrutural, as fissuras ocorrerão em todos os pavimentos e com a mesma intensidade (SILVA, 1993).

A interpretação do fissuramento em estruturas de concreto armado, no entanto, é complexa. Segundo Silva (1993), elementos como os tipos de vinculações da estrutura, a distribuição dos esforços entre os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) e entre estrutura e alvenaria, além das taxas de armadura em cada ponto considerado, influenciam diretamente no surgimento de fissuras. Nesses casos, a flexibilidade do conjunto estrutural vigas-pilares, a aderência entre alvenaria e estrutura e a distribuição dos recalques definirão a orientação e intensidade das fissuras. Por isso, para sua melhor compreensão, devem ser estudados a fundo em cada caso de patologia.

A autora define ainda que no caso de recalque diferencial entre pilares de uma estrutura, as



tensões serão distribuídas de maneira desuniforme para manter o equilíbrio do sistema. Isso provocará o surgimento de reações de tração e compressão, conforme mostra o esquema da Figura 1, no elemento de vedação, o qual não suporta tais tensões e sofre o fissuramento. Já segundo Carvalho (2010), a existência de aberturas na alvenaria provoca a concentração de tensões nos cantos das mesmas, cujos valores podem ser até seis vezes superiores às tensões existentes no restante da alvenaria. Isso cria uma maior probabilidade de que o fissuramento ocorra nos cantos de aberturas, geralmente a 45° .

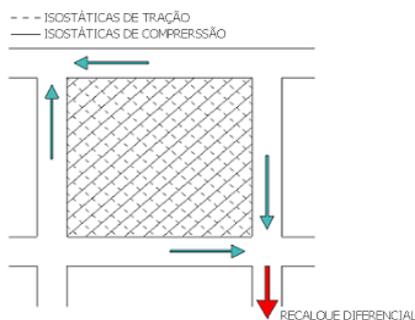


Figura 1. Estado de tensões geradas por recalque diferencial entre pilares

Fonte: Adaptado de Silva (1993)

Quando ocorre o recalque de um dos pilares de uma edificação, as fissuras geralmente inclinam-se em direção a ele, tangenciando o mesmo. Isso quer dizer que todas as paredes ligadas ao mesmo sofrerão o dano, cuja intensidade depende da rigidez da edificação (SILVA, 1993). A Figura 3 ilustra os principais tipos de fissuras devido ao recalque de um pilar.

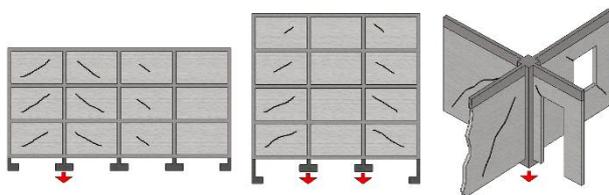


Figura 3. Fissuras causadas por recalque de pilares

Fonte: Adaptado de Silva (1993)

Segundo Carvalho (2010), nos casos em que a aderência entre a alvenaria e as vigas for baixa, pode ocorrer fissuras na interface entre os dois

elementos. O mesmo ocorre entre pilares e alvenaria. As fissuras podem ser inclinadas e paralelas, características de esforço cortante, ou uma única fissura horizontal. Ainda segundo o autor, quando o recalque ocorre em pilares de canto, não há pilares e vigas suficientes para o equilíbrio das tensões, o que pode gerar uma reação horizontal das forças e gerar momento na interface entre o pilar e a fundação. Essa tensão horizontal provoca uma reação na alvenaria, com o surgimento de trincas.

Fica claro, sob esse contexto, que a dificuldade para se interpretar as fissuras é proporcional à sua variedade, e que suas configurações são apresentadas em variadas referências bibliográficas. Analisar o fissuramento de uma estrutura e determinar suas causas é um trabalho complexo para o profissional que depara com uma patologia, principalmente a originada em fundações.

3 METODOLOGIA

O primeiro passo da presente pesquisa foi a reunião dos mais variados tipos de fissuras que possam surgir em uma edificação em função de patologias em fundações, a fim de facilitar a visualização do profissional que se depara com essas patologias, podendo colaborar com o diagnóstico correto. Elas foram organizadas em formato de tabela que contém sua representação gráfica, seu ângulo de incidência e a provável causa. Após a determinação de que se trata de uma fissura que pode ter sido causada pela movimentação da estrutura de fundação, cabe à Árvore de Falhas o auxílio para a determinação das origens da patologia.

Para essa análise, foi adotado como instrumento metodológico o método de análise de dados denominado Árvore, nome que foi historicamente motivado por sua representação gráfica, que é definida por Wirth (1989) como a maneira mais simples de visualização de fluxo entre informações correlacionadas, onde há a conexão entre uma informação inicialmente vazia (nesse caso, a patologia), com estruturas



finitas denominadas sub árvores (as motivações da patologia) através de nós do tipo “T”, que representam a relação entre as informações.

A estrutura desse método de análise pode ser analogicamente comparada a uma árvore visualizando-se a informação primitiva como a raiz e os dados descendentes como ramos. Quando uma informação não possibilita o surgimento de novos nós, ela pode ser definida como a folha da árvore, ou causa primária (WIRTH, 1989). No caso da análise de uma patologia, aí estará uma possível origem do dano.

Beck (2012) define que existem várias configurações de Árvores de análise, estando entre as mais usuais a Árvore de Causas – AAC, amplamente utilizada em Engenharia de Segurança do Trabalho, que relaciona apenas as causas a um determinado problema; a Árvore de Eventos - AAE, que trabalha com a relação de causa e efeito entre os dados, a partir de um problema inicial, trabalhando em paralelo à ação de mecanismos de segurança; e a Árvore de Falhas – AAF, que serve de ferramenta para a análise de patologias do presente trabalho.

Beck (2012) define uma árvore de falhas - AAF como a decomposição de um evento principal em eventos básicos que tenham relação com um acidente analisado. Essa decomposição, como a ilustrada na Figura 4, se dá até que os eventos básicos (e) tenham conhecida probabilidade de acontecer e possam ser a possível origem do dano estudado. Isso permite a combinação de incidentes que podem ter causado a falha e que de outra maneira passariam despercebidos.

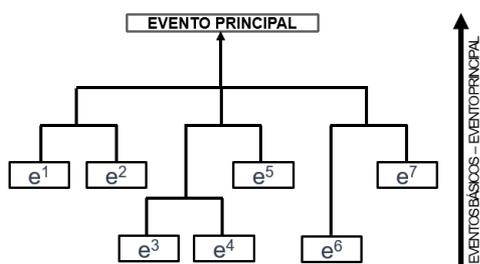


Figura 4. Árvore de falhas.
Fonte: Adaptado de Beck (2012)

Os dados na árvore de falhas são consequentes de todas as fases ligadas ao surgimento do elemento principal, podendo estar relacionados a erros humanos e / ou de equipamentos. No caso de patologias em fundações, os eventos serão relacionados às fases de projeto, execução de fundações e eventos pós-conclusão de obras, que foram definidos por Milititsky (2005) como as principais fases de surgimento dessas patologias e que foram fundamentadas no decorrer da pesquisa. Todas as informações relativas às possíveis causas das patologias apresentadas na árvore são provenientes de uma detalhada revisão bibliográfica acerca de patologias em fundações, baseada principalmente nos estudos realizados por Milititsky (2005) e Silva (1993).

A sequência de eventos que levam a uma provável causa da patologia é denominada caminho crítico e, analisando-se os eventos, é possível corrigir esse caminho e minimizar a recorrência de novos acidentes com as mesmas causas (BECK, 2012).

Beck (2012) aponta ainda, como característica básica de uma AAF, o fato de que ela não apresenta todas as possibilidades de erro do sistema. Isto é, o dano pode ter sido causado por um evento não qualificado na árvore. Além disso, ressalta que há nesse método de análise a independência entre eventos.

A organização geométrica de uma árvore de falhas é de consenso entre Wirth (1989) e Villas et al. (1993), que afirmam que os fatores relacionados à formatação da mesma, como a direção do fluxo e as caixas de informações, devem seguir os critérios do próprio programador do banco de dados, não havendo em Engenharia de Programação regras quanto a isso. Nesse caso, a formatação ficou a critério da autora.

Após a configuração da árvore e da verificação dos eventos básicos que podem significar uma origem patológica, cada um deles foi caracterizado abaixo da AAF, segundo sequência numérica, para a elucidação do profissional que defrontar-se com a ferramenta, acompanhado de uma sugestão de reparo para



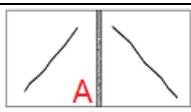
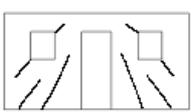
cada caso. A árvore de Falhas deve servir como referência para a anamnese que pode levar à determinação das causas de patologias em fundações. No caso da verificação de mais de um evento básico durante a observação da árvore, cabe ao profissional aprofundar-se nos possíveis fatores influentes para um diagnóstico mais preciso.

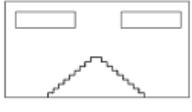
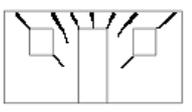
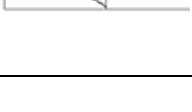
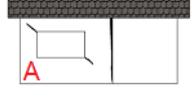
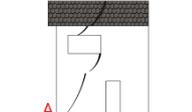
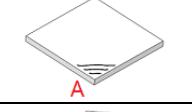
É importante frisar que, no estudo de qualquer incidência patológica, a determinação de causas é subjetiva e a análise da relação entre eventos deve ser feita com a reunião do máximo de informações sobre o histórico da edificação, uma vez que a mesma configuração de fissura pode ser motivada tanto por problemas na fundação quanto por problemas estruturais. Já os reparos apresentados tratarão apenas de sugestões, cabendo ao leitor um aprofundamento para cada caso em trabalhos complementares sobre o tema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a identificação de fissuras e as possíveis causas que tenham relação com patologias em fundações foi elaborada a Tabela 1, cuja fundamentação teórica foi descrita anteriormente. Após a identificação do tipo de fissura e sua causa, o estudo da origem da patologia segue através da análise de árvore de falhas – AAF, na sequência.

Tabela 1. Identificação de fissuras causadas por problemas em fundações

Tipo de Fissura	Inclinação	Causa
	45°	Fissura em abertura de janela por recalque do pilar no ponto A.
	45°	Fissuras tangenciando pilar, por recalque no ponto A.
	45° a 90°	Fissura geral em parede de alvenaria estrutural, por recalque no centro do vão.

	Arco	Fissura em arco em parede de alvenaria estrutural, por recalque no centro do vão.
	45° a 90°	Fissura geral em parede de alvenaria estrutural, por recalque nas laterais do vão.
	Variável	Fissura entre edificações de diferentes portes, por falta de junta de trabalho ou por compartilhamento de viga baldrame.
	45° e 90°	Fissura em abertura e no ponto de encontro entre solo aterrado e compactado (alvenaria estrutural). A edificação cede no ponto A.
	45°	Fissura geral em edificação de alvenaria estrutural, por recalque no ponto A.
	45°	Fissura de canto em laje, devido ao recalque do pilar no ponto A.
	Variável	Desaprumo da edificação por recalque diferencial.

4.1 Árvore de Falhas – Fase de Projetos

Os eventos ligados às fases de projeto englobaram a etapa de caracterização do solo, e retomam as recorrências descritas na revisão bibliográfica da presente pesquisa. A árvore é apresentada na Figura 5, onde retângulos vermelhos representam as causas primárias, consideradas as prováveis origens da patologia em questão, e retângulos verdes surgem quando não houver mais eventos que possam representar mecanismos deflagradores da mesma. Abaixo são descritas as causas primárias apresentadas na árvore de falhas para a fase de projeto e investigações geotécnicas. O evento em amarelo representa um item obrigatório a ser cumprido para que se dê sequência à investigação.

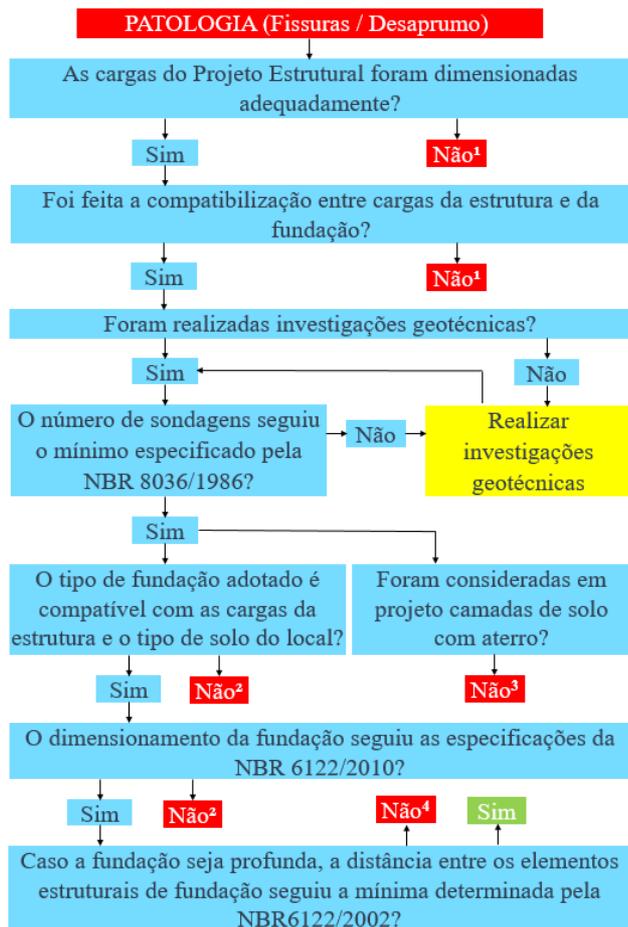


Figura 5. Árvore de Falhas - Eventos relacionados às fases de projeto

Não¹ Cargas de projeto estrutural dimensionadas de maneira desconforme ou não compatibilizadas com o projeto promovem o subdimensionamento da fundação, provocando o aparecimento de fissuras na edificação, em virtude do deslocamento que a mesma sofrerá. Uma possibilidade de reparo é a readequação do projeto de fundação e o reforço da fundação nos pontos afetados.

Não² Os vários tipos de estruturas de fundação possuem, para cada formatação, diferentes capacidades de carga e de suporte de solo, definidas pela ABNT NBR 6122 (2010), que variam de acordo com a geometria, profundidade, natureza do material empregado e resistência do solo-base. O tipo de sistema de fundação escolhido deve ser funcional em cada caso específico de solo e porte da edificação. Caso contrário, haverá a deflagração de

patologias por recalque.

Deve-se proceder à reanálise do projeto de fundação e à verificação de necessidade de reforço de fundação.

Não³ Fundações em estacas em aterro acarretam sobrecarga na fundação devido ao atrito negativo, enquanto para fundações rasas o aterro pode ser um fator positivo. No entanto, se há a presença de camadas moles ou compressíveis em profundidade, o bulbo de tensões pode incidir sobre essa camada e causar recalques por adensamento. Em ambos os casos podem ocorrer recalques devido a erros de dimensionamento, por não se considerar a influência da camada aterrada ou por superestima-la.

Podem ocorrer situações em que as edificações são construídas sob camadas de diferentes resistências, como é a situação de terrenos com regiões de corte e aterro de solo. O solo no nível de corte foi naturalmente compactado durante o tempo, enquanto no aterro a compactação mecânica ainda sofrerá com tais ações, tendendo ao adensamento, tendo como consequência o surgimento de patologias, conforme representa a Figura 6. Como se trata de um erro na etapa de projeto, o mesmo pode ser readequado através da execução de reforços de fundação em estacas de grande profundidade (em caso de recalques por adensamento), reforçando-se o bloco afetado ou através da criação de novas estruturas de fundação.

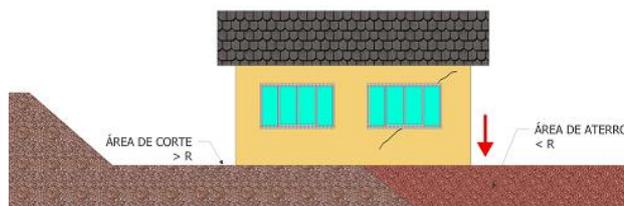


Figura 6. Apoio de edificação sobre camadas de solo heterogêneas

Não⁴ A distância mínima entre estacas assegura que não haverá risco de desabamento e principalmente que não haverá sobreposição de tensões oriundas dos dois elementos de fundação próximos, que podem acarretar a redução da transferência de carga entre o elemento estrutural



de fundação e o solo e, conseqüentemente, um subdimensionamento da fundação. Deve ser feita a readequação do projeto de fundação e adequação dos espaçamentos entre estacas.

4.2 Árvore de Falhas – Fase De Execução

Os eventos ligados à fase de execução de fundações englobam a instabilidade do solo, erros humanos, mal preparo ou imprudência da mão de obra, falta de acompanhamento de responsável técnico, equipamentos inapropriados para o tipo de fundação projetado ou para o local onde ela deverá ser executada e, ainda, manejo incorreto do equipamento e execução de juntas de trabalho entre edificações. As cores seguem o mesmo esquema do caso anterior, estando a árvore representada na Figura 7. Abaixo são descritas as causas primárias apresentadas na árvore de falhas para a fase de execução de fundações. Novamente, o evento em amarelo representa um item obrigatório a ser cumprido para que se dê sequência à investigação.

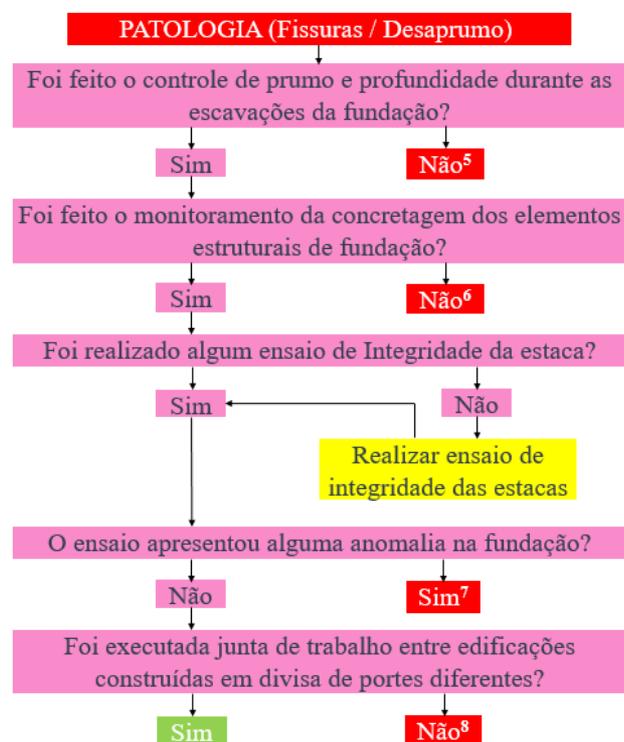


Figura 7. Árvore de Falhas - Eventos relacionados à fase de execução

Não⁵ O controle de prumo e profundidade garante que o projeto seja devidamente executado, sem o surgimento de excentricidades de carga ou elementos de porte inferior ao necessário, o que poderia promover recalques e conseqüentes patologias, como a ruptura do elemento estrutural de fundação por flexo-compressão. Para o reparo desse tipo de patologia, pode-se realizar reforço de fundação através de estacas Mega (em caso de fundações de pequeno porte e caso o problema seja a profundidade não suficiente). Caso o problema envolva ruptura de elementos estruturais devido a esforços de flexo-compressão e não utilização de área de aço necessária para as solicitações, macaquear a estrutura e apoiá-la em nova fundação a ser realizada (a estrutura pode também ser condenada dependendo da magnitude dos recalques).

Não⁶ O controle da concretagem dos elementos de fundação é importante porque não é possível fazer o monitoramento interno do elemento durante sua execução. Nesse caso, é possível manter um controle do volume de concreto utilizado que reflete informações quando comparado ao volume de concreto calculado para a concretagem da fundação.

Quando a quantidade utilizada exceder o volume de concreto calculado para cada estaca, pode significar o rompimento entre dois furos, como representa a Figura 8. Caso contrário, se houver significativa sobra de material, pode ter ocorrido a obstrução do fuste da estaca por detritos ou rompimento das paredes do fuste e conseqüente estrangulamento do fuste.

Nesses casos, é conveniente a execução de nova fundação para o pilar afetado e fechamento /inutilização das estacas escavadas que apresentaram a patologia com mistura de solo-cimento.

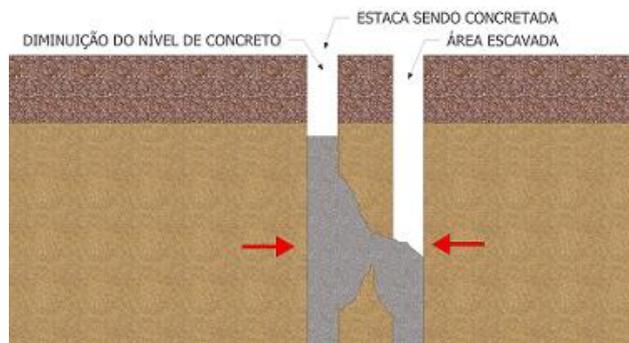


Figura 8. Rompimento do fuste de uma estaca pela instabilidade do solo

Sim⁷ Ensaios são a maneira mais prática de verificação de anomalias em estacas, uma vez que indicam a existência de obstruções ou rompimentos no elemento de fundação. São a maneira mais viável de identificar patologias originadas durante a execução das fundações, como o estrangulamento do fuste. Assim como no caso anterior, pode ser executada nova fundação para o ponto afetado ou, caso a anomalia não condene o elemento estrutural de fundação executado, pode ser executado um reforço na fundação com Estacas Mega.

Não⁸ Edificações de portes diferentes construídas em divisa estão sujeitas a diferentes solicitações de carga. Dessa maneira, caso não haja juntas de trabalho entre elas, a edificação de menor porte terá um aumento de tensões para o qual não foi projetado, pois tende a sofrer o mesmo abaixamento da edificação de maior porte. Isso provocará o surgimento de fissuras. Deve-se promover, nesse caso, a readequação do projeto de fundação e reforço com a utilização de estacas de grande profundidade e / ou melhoramento do solo da camada compressível.

4.3 Árvore de Falhas – Pós-Conclusão de Obras

Os eventos relacionados à pós-conclusão de obras são apresentados na Figura 9, e englobam os recalques e a degradação dos materiais constituintes da fundação, além da influência de obras em edificações vizinhas.

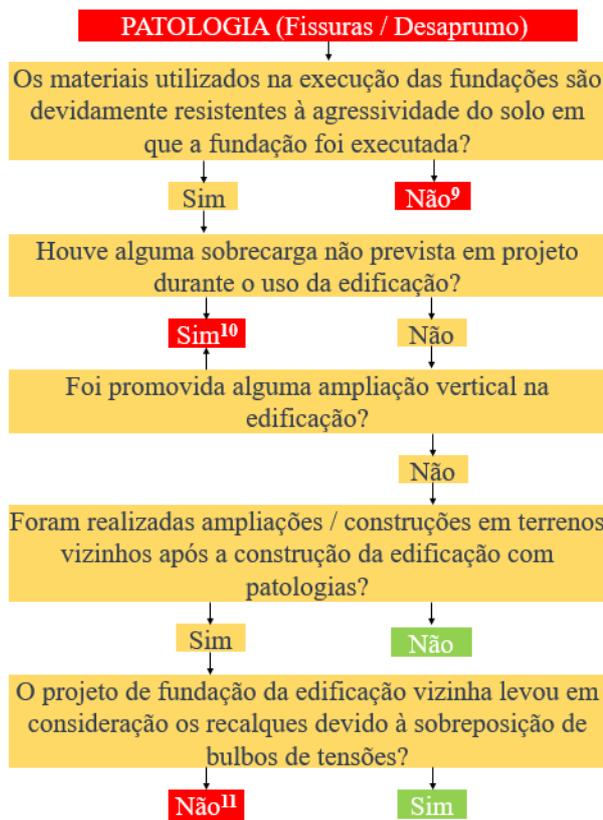


Figura 9. Árvore de Falhas - Eventos relacionados à pós-conclusão de obras

As causas primárias apresentadas na árvore de falhas para a pós-conclusão de obras são descritas a seguir.

Não⁹ A degradação dos materiais constituintes das estruturas de fundação depende do grau de agressividade do ambiente, que deve ser considerado na escolha do tipo de fundação para que não haja a recorrência de patologias devido à corrosão.

Entre os fatores mais relevantes, devem ser considerados a permeabilidade do concreto à água e aos gases, o grau de carbonatação, a composição química do aço, o estado de fissuração da peça e características ambientais como umidade, temperatura e presença de agentes agressivos. Além de, no caso de estacas de madeira, devido tratamento do material contra o apodrecimento.

No caso de patologias decorrentes da degradação dos materiais, deve ser promovido um estudo para a escolha de novos materiais,



com a devida resistência, para a execução de reforço de fundação, caso a estrutura não esteja em ruína.

Sim¹⁰ Cargas de projeto estrutural dimensionadas de maneira incoerente ou não compatibilizadas com o projeto promovem o subdimensionamento da fundação, provocando o aparecimento de fissuras na edificação, em virtude do deslocamento que a mesma sofrerá. Uma possibilidade de reparo é a readequação do projeto de fundação e o reforço da fundação nos pontos afetados.

Não¹¹ Ao ser construída uma nova edificação em terreno vizinho ao da obra em questão, há o surgimento do bulbo de tensões da nova fundação. Dependendo da proximidade das edificações, pode ocorrer a sobreposição desse bulbo com o da fundação existente, conforme demonstra a Figura 10, isso provocará um aumento na tensão efetiva na área da intersecção, e, caso o solo não tenha capacidade de suporte para tal, haverá a sua deformação e recalque da edificação existente. Pode-se realizar o mesmo reparo do caso 7, com a execução de nova fundação para o ponto afetado, ou ainda ser executado um reforço na fundação com Estacas Mega.

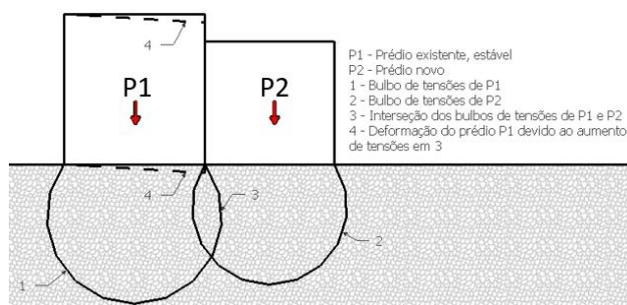


Figura 10. Intersecção de bulbos de tensões de edificações vizinhas

5 CONCLUSÕES

Tão importante quanto a identificação de patologias já existentes é o fato de que a facilidade de interpretação dos eventos inseridos na árvore de falhas poderá torná-la, também, uma maneira de evitar a reincidência das

patologias analisadas.

Isto é, se os caminhos críticos da árvore forem adotados pelos profissionais de engenharia como cuidados durante as fases de projeto, execução e pós-conclusão de novas fundações, serão minimizados os riscos do surgimento de patologias nas edificações devido às estruturas de fundação.

Um dos pontos cuja importância ficou clara no trabalho foi a execução de investigações geotécnicas em sua representação na árvore de causas, que demonstrou ser esse um evento crucial na segurança de uma estrutura de fundação. Tanto pelo fato de serem normatizadas pela ABNT NBR 6484 (2001), quanto pela importância dada às mesmas pelos vários autores que fundamentaram o trabalho, fica claro o fato de sondagens de simples reconhecimento serem indispensáveis ao bom desempenho das estruturas de fundação.

Esse fato é decorrente da complexa estruturação dos diversos subsolos que compõe a base das fundações, o que não torna possível, devido à heterogeneidade e a suscetibilidade às influências do meio, uma padronização de comportamento do solo. Por esse motivo é indispensável a realização de investigações geotécnicas em cada caso de projeto de fundação, prática que, se adotada pelos profissionais de engenharia, minimizaria em até 50% os casos de patologias em fundações, segundo estatísticas apresentadas por Silva (1993).

Além disso, os passos para o desenvolvimento de projetos e execução de obras de fundações também tiveram um claro enfoque e suas importâncias foram justificadas, através da árvore de falhas, no surgimento de patologias. Cuidados relacionados as cargas estruturais, ao acompanhamento e controle da execução das fundações e a escolha de materiais com resistência adequada ao meio são indispensáveis às estruturas de fundação, que devem ter a mesma durabilidade e bom desempenho que a supra estrutura.

Pode-se concluir, ao fim do presente artigo, que a árvore de falhas de patologias em fundações demonstrou ser um diferencial como



ferramenta para a análise de patologias em fundações. Além disso, o referencial teórico apresentado trata de um conjunto valioso de informações para a análise e interpretação de tais patologias, com funcionalidade e praticidade proporcionadas por seus resultados.

REFERÊNCIAS

- Alves, J. R. (2009) *Levantamento das Manifestações Patológicas em Fundações e Estruturas nas Edificações, com Até dez Anos de Idade, Executadas no Estado de Goiás*, Dissertação de Mestrado, Curso de Mestrado em Engenharia Civil da EEC/UFG, UFG, Goiânia.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT (2010) *NBR 6118: Projeto e execução de fundações*, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT (2014) *NBR 6122: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT (2001) *NBR 6484: Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de ensaio*, Rio de Janeiro.
- Beck, A.T. (2012) *Confiabilidade Estrutural*, Universidade de São Paulo, Escola De Engenharia De São Carlos - Departamento De Engenharia De Estruturas, São Carlos.
- Carvalho, D. M. C. (2010) *Patologias das Fundações: Fundações em Depósitos de Vertente Na Cidade De Machico*, Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal.
- Dal Molin, D. C. C. (1988) *Fissuras em concreto Armado: Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul*, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- Milititsky, J.; Consoli, N. C.; Schnaid, F. (2005) *Patologia das Fundações*, Editora Oficina de Textos São Paulo.
- Silva, D. A. (1993) *Levantamento de Problemas em Fundações Correntes no Estado do Rio Grande do Sul*, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Villas, M. V., [et al]. (1993) *Estrutura de dados: Conceitos e Técnicas de Implementação*, Editora Elsevier, Rio de Janeiro.
- Wirth, N. (1975) *Algoritmos e Estruturas de Dados*, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro.