

**FUNDAÇÃO CARMELITANA MÁRIO PALMÉRIO
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RICARDO FERREIRA

PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

**MONTE CARMELO – MG
DEZEMBRO / 2018**

RICARDO FERREIRA

PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério – FUCAMP, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Leandro Cesar dos Reis

MONTE CARMELO – MG

DEZEMBRO / 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por estar sempre presente em minha vida e ao longo do curso me encorajando e dando forças.

A minha família, em especial a minha mãe e meu pai, esposa, irmãos, que sempre estiveram comigo e acreditaram em mim independente da circunstância.

Aos meus colegas de graduação que estiveram ao longo desta jornada e me ajudaram diretamente e indiretamente para que eu chegasse neste momento tão esperado.

Aos professores Yuri Cardoso Mendes e Rafael Fernandes Garcia por compor a banca do meu TCC.

Ao meu orientador Leandro Cesar dos Reis, pela paciência, pelos ensinamentos técnicos, por estar sempre acompanhando procurando ajudar mesmo possuindo diversas tarefas para realizar.

Ao nosso coordenador do curso de Engenharia Civil, Emiliano Silva Costa, e todos os demais professores que me transmitiram conhecimentos técnicos na graduação para o meu engrandecimento profissional.

Enfim, a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero muito obrigado.

RESUMO

O concreto armado é uma técnica largamente empregada na construção de estruturas. Trata da utilização de barras de aço juntamente com o concreto. A estrutura de concreto armado, contudo, pode apresentar patologias que afetam a qualidade do projeto, reduzindo a resistência à ruptura, a vida útil do empreendimento e a capacidade de suportar as influências externas. Tais patologias podem originar-se na fase de concepção, execução ou utilização da estrutura, sendo as causas ligadas a fatores característicos, superficial e processos físicos. No aspecto financeiro, aumenta os custos com a recuperação das estruturas afetadas, por meio de técnicas de limpeza, reparos e reforços das estruturas afetadas pelas manifestações patológicas. O presente trabalho aborda as mais comuns patologias em estruturas de concreto armado, mostrando suas principais características, causas e possíveis soluções de restauração das estruturas afetadas. Para tal, uma análise será realizada em uma obra localizada na região entre Monte Carmelo e Cascalho Rico, estado de Minas Gerais, cuja estrutura é de concreto armado. Far-se-á o registro das manifestações patológicas identificadas na estrutura da obra, apresentando um diagnóstico e apontando as causas possíveis e oferecendo soluções adequadas a cada caso.

Palavras-chave: Patologia, Estrutura, Concreto Armado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Justificativa	7
1.2 Objetivos	7
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	7
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1 Conceitos Básicos.....	9
2.1.1 <i>Conceito de Patologias em Estruturas de Concreto Armado</i>	11
2.1.2 <i>Manifestações patológicas geradas na etapa de concepção da estrutura</i>	12
2.1.3 <i>Causas extrínsecas de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado</i>	14
2.1.4 <i>Falhas humanas durante a construção</i>	15
2.1.5 <i>Deficiências de concretagem</i>	15
2.1.6 <i>Ações químicas</i>	17
2.1.7 <i>Processos Físicos de deterioração do concreto</i>	20
2.1.8 <i>Fissuração</i>	21
2.1.8.1 <i>Contração Plástica do Concreto</i>	21
2.1.8.2 <i>Assentamento do concreto/ Perda de aderência</i>	21
2.1.8.3 <i>Movimentação de formas e escoramentos</i>	22
2.1.8.4 <i>Corrosão das armaduras</i>	23
2.1.8.5 <i>Desagregação do concreto</i>	25
2.1.9 <i>Custos e manutenção</i>	26
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 Área de estudo	27
3.2 Análise da ponte de concreto armado	28
3.3 Inspeção visual da estrutura da ponte.....	28
3.3.1 <i>Identificação das manifestações patológicas</i>	28
3.3.2 <i>Registro fotográfico das manifestações patológicas</i>	29
3.3.3 <i>Diagnóstico das manifestações identificadas e proposta das soluções</i>	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 Identificação das manifestações patológicas	29

4.2 Descrição das manifestações patológicas encontradas	32
4.3 Detalhe do desprendimento do concreto nos perfis	32
5 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é largamente empregado na construção de estruturas. Trata da utilização de barras de aço juntamente com o concreto.

No Brasil, a ABNT NBR 6118:2014 Projeto de Estrutura de Concreto - Procedimento define os critérios gerais que regem o projeto das estruturas de concreto, fixando requisitos básicos exigíveis. As estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, quais sejam: capacidade de resistência, desempenho em serviço e durabilidade. Sendo assim, a resistência a rupturas, a conservação das condições de utilização para toda vida útil e a capacidade de suportar as influências externas previstas e possíveis são fatores que conferem a um projeto de engenharia padrões legais de qualidade.

Todavia, a técnica do concreto armado pode manifestar patologias que afetam a estrutura, por meio de fatores que têm seu início na fase de geração, execução ou utilização da estrutura.

Segundo SOUZA (1998),

Designa-se genericamente por Patologia das estruturas esse novo campo da engenharia das construções que se ocupa das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas (SOUZA, 1998, p.14).

As patologias cuja origem provem da fase de concepção da estrutura derivam de planejamentos mal elaborados ou por erros técnicos.

Na fase de execução, os fatores que podem contribuir para o surgimento de manifestações patológicas relacionam-se com a falta de mão de obra qualificada, ineficiente controle de qualidade por parte dos responsáveis pela obra e a má qualidade dos materiais empregados.

Por descuido, negligência ou falta de informação, os usuários que utilizam a obra podem causar danos à estrutura. A ausência de manutenções necessárias indicadas pelos técnicos responsáveis pode ser causa que contribui para o surgimento de patologias na fase de utilização do projeto.

As causas características envolvem as falhas humanas durante a fase de construção e utilização, bem como as causas naturais. Nesse sentido,

deficiências de concretagem, inadequação de escoramentos e formas, deficiência nas armaduras e a utilização incorreta dos materiais de construção são causas que dão origem a futuras deteriorações nas estruturas. Quanto às causas naturais podemos citar os aspectos químicos, físicos e biológicos.

No que tange as causas superficiais, tem-se as falhas humanas durante a execução do projeto pela má avaliação das cargas, inadequação ao ambiente, incorreção na relação solo-estrutura bem como incorreções na consideração de juntas de dilatação. Ações mecânicas também são causas relacionadas a fatores externos, por meio de choques de veículos e acidentes.

E por fim, como causa originária das patologias por processos físicos de deterioração do concreto tem a fissuração a desagregação e o desgaste.

Este trabalho visa constatar sobre a importância de reduzir a incidência de patologias nas estruturas de concreto armado. Por questões legais ou econômicas, os responsáveis pela obra, cuja estrutura é executada por meio da técnica de concreto armado, devem atentar-se à importância do monitoramento constante em todas as fases do projeto.

1.1 Justificativa

A produção deste trabalho justifica-se pela frequente incidência de patologias em estruturas de concreto armado nas obras de engenharia, que de acordo com a Norma NBR 15575-1:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho, as estruturas devem ter uma vida útil de projeto (VUP) de 50 anos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Considerando o contexto apresentado, este trabalho objetiva, de forma geral, mostrar sobre a importância de reduzir a existência de patologias nas estruturas de concreto armado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise em uma ponte de concreto armado localizada entre as cidades de Monte Carmelo e Cascalho Rico, estado de Minas Gerais, que apresenta manifestações patológicas;
- Identificar as manifestações patológicas presentes na ponte;
- Realizar registro das manifestações patológicas identificadas;
- Apresentar um diagnóstico apontando as causas possíveis e propor soluções adequadas ao caso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Inicialmente o trabalho traz a importância e crescimento que com o passar dos anos o concreto armado adquiriu devido às suas características inovadoras para a época, trazendo soluções para problemas principalmente no que diz respeito à sua resistência à tração devido ao uso das barras de aço frente a outros materiais que não possuíam essa vantagem. Logo após o conceito de patologia é apresentado, juntamente com as fases em que as mesmas podem ocorrer.

Em seguida, são listadas as mais comuns origens e condições nas quais as estruturas estão expostas para que venham sofrer danos futuramente, influenciando na durabilidade da estrutura.

Segundo CHUST (2016),

Em relação à durabilidade, a ABNT NBR 6118:2014, no item 6.1, exige que as estruturas de concreto sejam projetadas e construídas de modo que, sob as influências ambientais previstas e quando utilizadas conforme estabelecido em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e comportamento adequado em serviço durante o período correspondente à sua vida útil de projeto. (CHUST, 2016, p. 65).

Posteriormente, são apresentadas terapias para recuperar as estruturas afetadas e evitar que futuramente voltem a sofrer do mesmo problema. Por fim, com os agentes causadores das anomalias já conhecidos,

são apresentadas fotos das patologias existentes no local, e identificadas uma a uma a partir de características próprias como trincas, fissuras, corrosões e até mesmo desprendimento do concreto na base da estrutura.

2.1 Conceitos Básicos

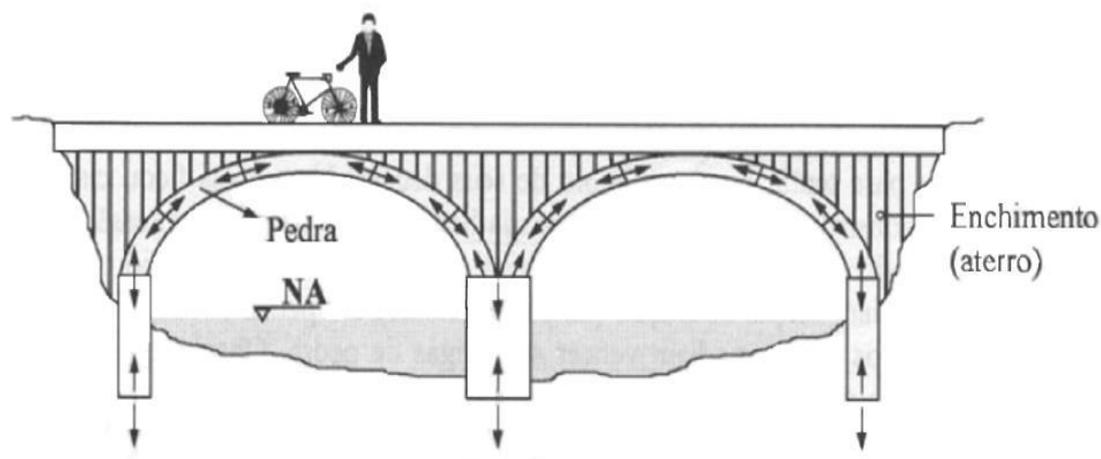
A pedra natural era muito utilizada pelos antigos na construção de edificações, e também para vencer vãos sobre grandes depressões ou rios. A estrutura enquanto elemento resistente à compressão mostrou-se um ótimo material, mas ineficiente quando tracionada, vindo a romper em casos de vãos maiores.

Devido a este problema os romanos começaram a construir vãos em formato de arco para evitar rupturas. Conforme Botelho,

Os romanos foram mestres em construir pontes de pedra em arco. Se não podiam usar vigas retas para vencer vãos maiores, usaram ao máximo um estratagema, o uso de arcos onde cada peça de pedra era estudada para só trabalhar em compressão (BOTELHO,1996, p.6).

A Figura 1 mostra a situação descrita por Botelho (1996), em que os arcos trabalham somente à compressão, possibilitando que as pontes vençam maior vão.

Figura 1 - Arcos solicitados á compressão.

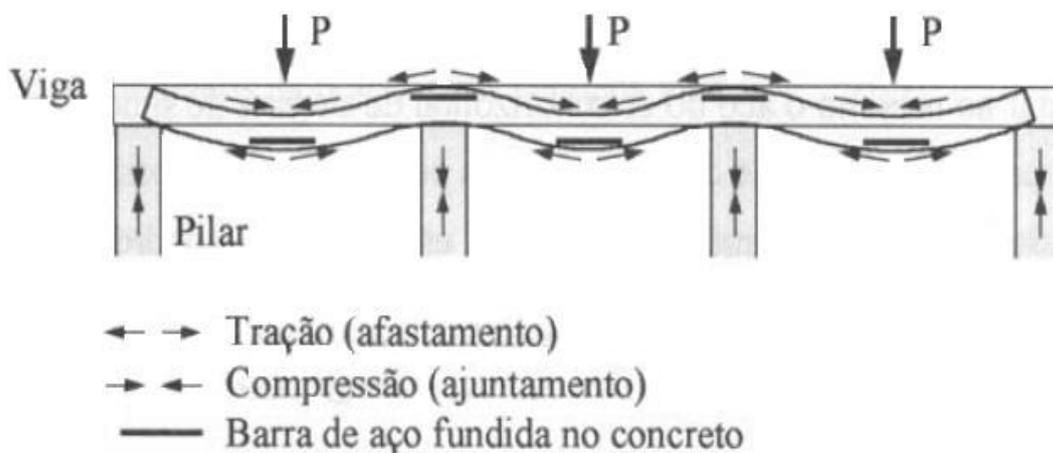


Fonte: Botelho (1996).

Assim para vencer grandes vãos foi preciso usar múltiplos arcos, com isso implicou-se dificuldades na execução devido às limitações tecnológicas da época. Mesmo com o surgimento e uso do concreto, material que consiste na ligação do cimento, pedra, areia e água, as dificuldades continuaram as mesmas, pois este material resiste a compressão aproximadamente dez vezes mais que a tração (BOTELHO,1996). Desta maneira a região tracionada fica suscetível ao surgimento de trincas que podem simplesmente afetar a questão estética e até mesmo levar a estrutura ao colapso, dependendo das dimensões da mesma.

Foi diante deste problema que surgiu a ideia de unir dois materiais, concreto e aço, para que as solicitações à compressão e à tração fossem resistidas. Como mostrado na Figura 2, há uma zona solicitada somente pela tração. Há também uma zona solicitada age apenas à compressão.

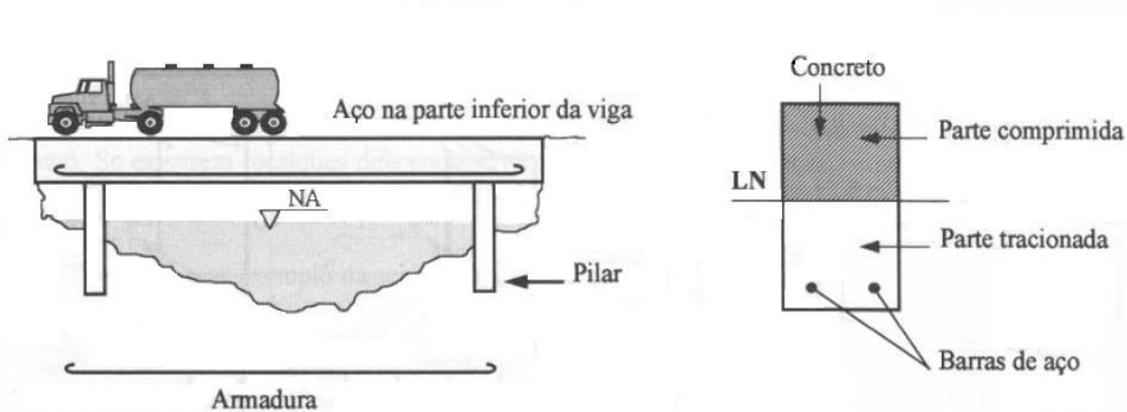
Figura 2 - Zonas de tração e compressão.



Fonte: Botelho (1996).

Para solucionar o problema da baixa resistência à tração do concreto, foram colocadas barras de aço na área da seção que é tracionada e o concreto fica como responsável por suportar a solicitação da compressão, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Zonas de tração, compressão e linha neutra da estrutura.



Fonte: Botelho (1996).

2.1.1 Conceito de Patologias em Estruturas de Concreto Armado

Países com economia crescente causaram uma aceleração em diversas áreas da engenharia, em especial da construção civil no qual habitações são construídas cada vez mais com dimensões maiores e de maneira mais rápida (BOTELHO, 1996).

Tal previsão na construção civil gera uma alta demanda de funcionários da área, levando a muitas contratações de mão de obra desqualificada devido a necessidade em determinado setor. Isso pode trazer um grande prejuízo quando se trata da questão de qualidade em uma obra, podendo ser fator que leve ao surgimento de manifestações patológicas. (THOMAZ, 1989).

O concreto é considerado durável quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas, mantendo a resistência e a utilidade esperada, durante um período previsto.

De acordo com CHUST,(2016).

A durabilidade das estruturas de concreto requer, ainda, cooperação e esforços coordenados do proprietário, do usuário e dos responsáveis pelo projeto arquitetônico, pelo projeto estrutural, pela tecnologia do concreto e pela construção. (CHUST, 2016, p. 65).

Entende-se por patologia do concreto armado a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado. Lembrando que para um dano

qualquer, existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra segundo o fim para o qual foi feita, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso (HELENE, 1988).

Geralmente em casos de acidentes catastróficos, como por exemplo, prédios que vão a ruína, não correspondem a apenas uma origem agindo sozinha, mas sim a várias que, juntamente acabam levando a estrutura ao colapso. Não é difícil encontrar estruturas nas quais foi cometido um grande erro em qualquer uma das etapas e mesmo assim não apresentam grandes danos. Do contrário, pode-se encontrar estruturas que apresentem grandes danos que reduzem a durabilidade e resistência mecânica, mas que sua causa vem de erros ou falhas menores, mas quando atuam de maneira conjunta, superpõem seus efeitos e trazem graves consequências (CÁNOVAS, 1988).

2.1.2 Manifestações patológicas geradas na etapa de concepção da estrutura

O desenvolvimento de novas tecnologias, processos construtivos e materiais de construção juntamente com as exigências de um setor que se torna cada vez mais disputado tem gerado projetos e sistemas cada vez mais econômicos. Com o passar do tempo, muitas construções começaram a apresentar níveis de degradação superior ao esperado, apresentando problemas relacionados à qualidade e a durabilidade, caracterizados pela degradação precoce devido, sobretudo, ao surgimento de patologias. Esses problemas afetam a segurança, a estética, a utilização e a durabilidade das edificações.

Assim, a comunidade brasileira de construção, diante de tais problemas, tem se atentado para a necessidade do projeto visando a durabilidade, de um controle maior de execução do projeto e, sobretudo, com a manutenção das construções existentes.

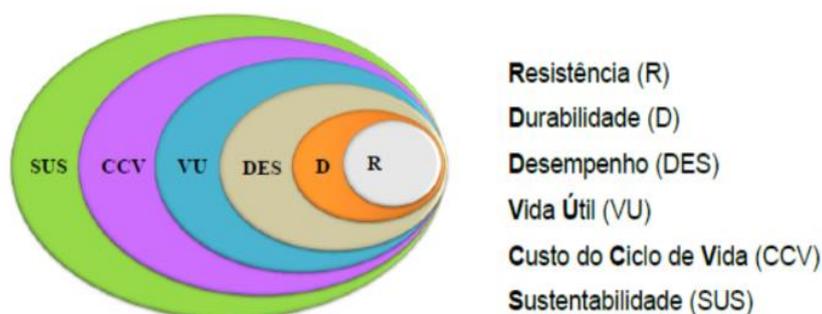
Sabe-se que o concreto é o material de construção mais consumido no mundo, sendo predominante nos sistemas de estruturas da maioria das construções feitas no Brasil. Destaca-se que no início do desenvolvimento e

difusão do concreto armado, as estruturas eram projetadas utilizando bom senso e experiência profissional, onde a principal característica controlada era a resistência à compressão (R), que durante muito tempo foi tida como fonte única e segura das especificações de projeto (POSSAN, 2010).

Com o passar dos anos, ocorreram grandes mudanças nos materiais de construção, ambiente de exposição e procedimentos de cálculo. Verificou-se que o concreto armado apresentava limitações e que somente o parâmetro resistência (R) era insuficiente para atender às exigências de projeto. Então se enfatizou a durabilidade (D) destas estruturas e dos seus materiais constituintes, aliando posteriormente este conceito ao desempenho (DES) das mesmas, ou seja, ao comportamento em uso. Contudo, ainda faltava inserir nos projetos a variável “tempo”, surgindo então os estudos de vida útil (VU). Atualmente, fatores como competitividade, custos e preservação do meio ambiente estão novamente impondo mudanças na maneira de se conceber estruturas, exigindo que estas sejam projetadas de forma holística, pensando no seu ciclo de vida (C) e nos custos associados (CCV – Custo do Ciclo de Vida). A partir do CCV, vários estudos podem ser conduzidos, com destaque às estimativas de custos de manutenção ao longo da vida útil, estudos de impacto ambiental, entre outros, auxiliando na seleção da melhor alternativa de projeto para novas estruturas ou de manutenção, reparo, reabilitação ou destinação final para estruturas existentes. Com isso o projeto para a sustentabilidade (SUS) torna-se possível (POSSAN, 2010).

A Figura 4 apresenta o resumo desta evolução conceitual do projeto das estruturas de concreto.

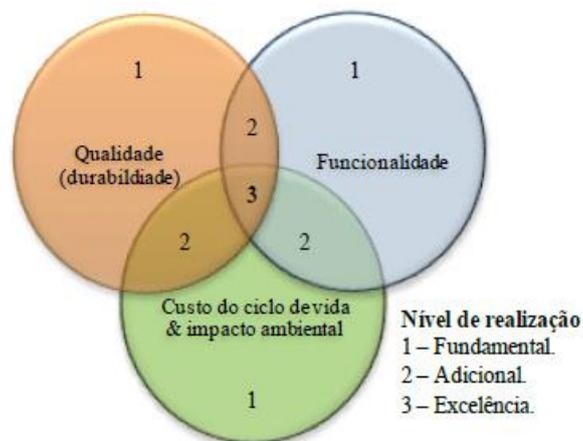
Figura 4 - Evolução conceitual do projeto das estruturas de concreto



Fonte: Possan (2010)

A Figura 5 combina sistematicamente os conceitos de qualidade (durabilidade), funcionalidade e Custo do Ciclo de Vida e impacto ambiental. O projeto de uma estrutura deve buscar o equilíbrio entre esses três fatores, atingindo o nível de excelência (nível de realização 3).

Figura 5 - Combinação sistemática dos componentes para a sustentabilidade da construção



Fonte: Possan (2010)

Projetar estruturas com elevada vida útil, está ligado diretamente ao equilíbrio e custo para recuperação da mesma.

2.1.3 Causas extrínsecas de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado

Souza e Ripper (1988) classificam as causas de patologias em extrínsecas e intrínsecas. Segundo os autores as causas extrínsecas são aquelas que ocorrem independentemente da estrutura em si, assim como da composição dos materiais como concreto e aço e de erros de execução. De maneira geral podem ser entendidas como os fatores que atacam a estrutura de fora para dentro durante a concepção e vida útil da estrutura. A Figura 6 lista as principais causas extrínsecas.

Figura 6 - Causas extrínsecas das manifestações patológicas.

FALHAS HUMANAS DURANTE O PROJETO	Má avaliação de cargas Inadequação ao ambiente Incorreção não relação Solo-Estrutura Incorreção na Consideração de juntas de Dilatação
FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO	Sobrecargas Exageradas Alteração das condições do terreno de fundação
AÇÕES MECÂNICAS	Choques de Veículos Recalque de Fundações Acidentes (Ações Imprevisíveis)
AÇÕES FÍSICAS	Variação de Temperatura Insolação Atuação da água
AÇÕES QUÍMICAS	
AÇÕES BIOLÓGICAS	

Fonte: SOUZA e RIPPER (1998).

2.1.4 Falhas humanas durante a construção

Tanto defeitos construtivos como problemas de projeto, possuem na grande maioria das vezes falhas humanas como principal causa, devido a carência de mão de obra especializada. Pode-se destacar como principais falhas na execução causadoras de patologias: a inexperiência durante a concretagem, instalação inadequada de escoramentos e formas, deficiência nas montagens das armaduras, inadequação quanto à utilização dos materiais de construção, juntamente com uma falta de controle de qualidade.

2.1.5 Deficiências de concretagem

Em relação à concretagem deve-se levar em conta vários fatores tais como transporte, lançamento, juntas de concretagem, adensamento e cura para que esta tenha o resultado desejado. A Norma Brasileira que trata da

execução de estruturas de concreto é a ABNT NBR 14931:2004 – Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento.

A mistura deve ser feita conforme indicado no projeto de estrutura, para que seja atingida a resistência mínima de projeto. Além disso, o tempo entre a mistura e a conclusão do lançamento do concreto não deve ser superior ao tempo de pega do cimento, de aproximadamente 2 horas e meia. Caso se inicie a pega do cimento, todo o concreto restante deve ser descartado.

O transporte do concreto feito em obra ou em concreteiras, desde sua saída, seja em carrinhos de mão ou em caminhões até o local de aplicação, deve ser feito de modo a evitar que haja segregação dos componentes da mistura e não permitir que a massa seque e perca sua fluidez, o que resultaria em uma diminuição da trabalhabilidade do mesmo. O cronograma deve levar em conta o tempo para concretar a primeira camada e o tempo de transporte da segunda para que o intervalo entre as camadas não seja grande e acabe por gerar juntas indesejadas e superfícies sem aderência.

O lançamento do concreto deve ser executado de maneira não brusca para evitar o deslocamento das armaduras de aço e deve ser lançado o mais próximo de seu destino final para evitar a separação do mesmo. Deve-se realizar ainda o adensamento do concreto para que este preencha toda a forma, de forma a eliminar eventuais ninhos de concretagem. Além disso, o adensamento deve ser feito sem que provoque a exsudação da mistura.

Sendo assim é importante que o responsável pela execução da concretagem esteja consciente de todo o processo, visto que o concreto deverá preencher todo espaço. Para os pilares, a altura da queda livre deve ser no máximo dois metros de altura, para que os componentes não segreguem.

A Figura 7 mostra vazios no pé de um pilar devido ao lançamento do concreto a uma altura maior que o indicado.

Figura 7 - Vazios de concretagem em pé de pilar.



Fonte: FIGUEROLA (2006).

2.1.6 Ações químicas

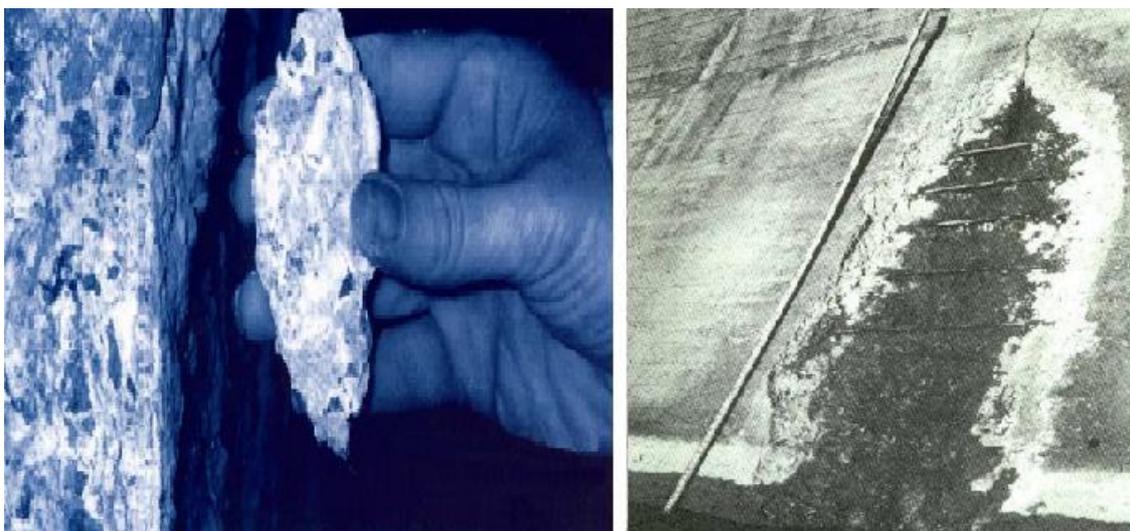
Os agentes químicos enquanto considerados causadores de degradação externos, agem na vida útil da estrutura e atuam de modo semelhante aos agentes internos. Pode-se citar como alguns agressores: ar e gases, águas agressivas, águas puras, reações com ácidos e sais, reações com sulfatos e o gás carbônico quando traz o problema da carbonatação.

A grande quantidade de veículos e indústrias nos centros urbanos, provocam vários problemas à sociedade. A construção civil não fica fora deste quadro, afetada devido à quantidade enormes de gases liberados nas reações de combustão. Entre todos estes gases nocivos às estruturas de concreto, encontra-se o dióxido de enxofre e trióxido de enxofre em forma de fuligem, hidrocarbonetos e gases residuais (CASCUDO,1997). No caso da chuva ácida, que prejudica o concreto e à armadura se estiver exposta. As águas agressivas que trazem produtos químicos ou esgotos de modo que venham a agredir o concreto.

Segundo Neville (2013, p. 259), “o concreto atacado por sulfatos tem uma aparência característica, cor esbranquiçada, com a deterioração começando pelas bordas e cantos, seguida por fissuração e lascamento do concreto”. Tendo como causadora desta aparência a formação do sulfato de cálcio (gesso) e sulfoaluminato de cálcio que acabam por ocupar um volume

maior do que os compostos anteriores os quais eles substituíram, levando a uma expansão da estrutura do concreto e conseqüentemente a lascamentos, fissurações, descamação, desintegração e até mesmo redução da resistência mecânica da mesma. A Figura 8 mostra uma parte de concreto desintegrando-se do elemento estrutural e uma barragem com um lascamento considerável do seu corpo estrutural devido ao ataque de sulfatos.

Figura 8 - Lascamento do concreto por ataque de sulfatos.



Fonte: THOMAZ (2013).

Os sulfatos atacam as estruturas reagindo com o aluminato tricálcico do cimento hidratado, conhecido como C3A e com o hidróxido de cálcio (CASCUDO,1997). E se originam desde no momento em que a pasta do concreto é misturada, enquanto a pasta não está rígida, ocorre uma absorção de esforços resultantes devido ao aumento de volume, de maneira que não surjam danos.

Os sulfatos comuns são os de cálcio, magnésio, potássio, sódio e como fonte a água do mar, solo, águas subterrâneas, águas de dejetos industriais, esgotos e chuva ácida. O dióxido de carbono, agente grave de deterioração química do concreto, quando em ação resulta na carbonatação, que tem como seu principal responsável, a ação do gás carbônico (CÁNOVAS,1988).

Cascudo (1994), afirma que o processo de carbonatação, geralmente é um condicionador da corrosão das armaduras de estruturas de concreto armado.

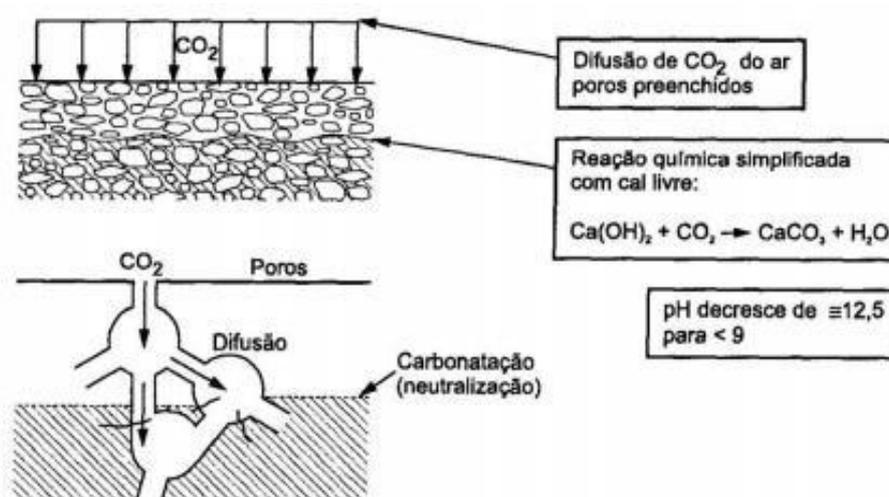
A carbonatação é a redução do pH na pasta de cimento do concreto, que geralmente tem valores entre 12 e 14, que possui alta alcalinidade gerada principalmente ao hidróxido de cálcio, produto originado das reações de hidratação do cimento. O mesmo, juntamente com os hidróxidos ferrosos da armação, formam uma proteção à mesma, desenvolvendo uma capa passivadora (película protetora).

O processo tem como agente causador o gás carbônico que penetra da superfície externa para a interna, geralmente por meio da difusão. Conforme Barin (2008):

“A carbonatação é a ação do CO₂, em presença de umidade e outros gases ácidos presentes na atmosfera, como SO₂ e H₂S , que reagem nas superfícies expostas do concreto, com os produtos de hidratação do cimento, principalmente com o hidróxido de cálcio, composto cristalino, que forma produtos sólidos, como o carbonato de cálcio (CaCO₃)” (BARIN 2008, p.40).

A Figura 9 mostra como ocorre o desenvolvimento da reação.

Figura 9 - Reação da carbonatação



Fonte: CASCUDO (1994).

Como resultado ocorre uma diminuição na porosidade do concreto, pelo fato do produto formado (CaCO_3) possuir volume maior do que o hidróxido de cálcio.

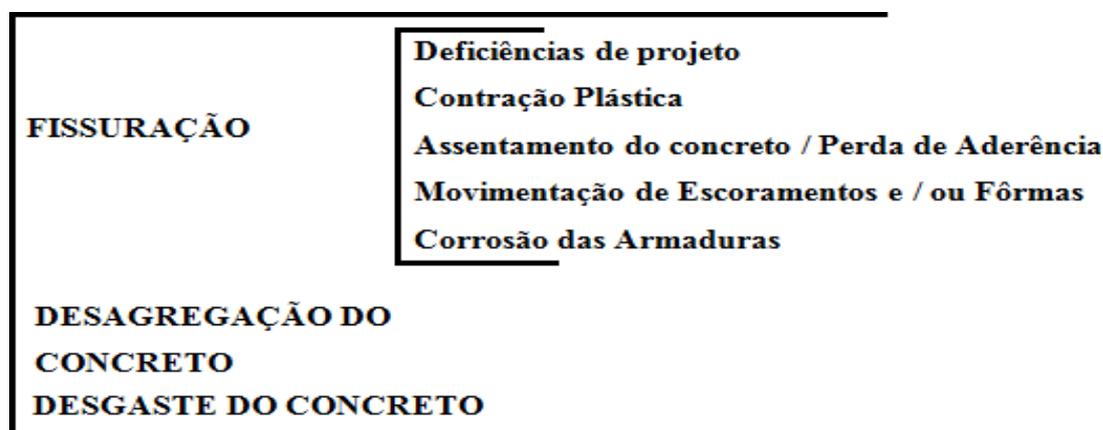
Segundo Souza e Ripper (1998), se a carbonatação atingisse apenas a camada superficial, sem ultrapassar o revestimento, este processo seria favorável ao elemento estrutural, pois haveria uma diminuição da porosidade e um aumento da resistência mecânica. Porém, com a alcalinidade reduzida para valores próximos a um pH de 8,5 e a armadura despassivada, o processo ao alcançar as armaduras de aço expõe as mesmas ao processo de corrosão, desde que haja a presença de água e oxigênio, comprometendo seriamente a durabilidade.

Conforme Cascudo (1997), a despassivação da armadura devido à carbonatação deixa esta extremamente vulnerável a corrosão e praticamente totalmente exposta à atmosfera sem qualquer proteção.

2.1.7 Processos Físicos de deterioração do concreto

Como efeito direto e visível da atuação dos agentes externos e internos, os processos físicos de deterioração são muitas vezes a combinação dos dois últimos. A Figura 10 a seguir lista os principais processos que levam as estruturas a anomalias.

Figura 10 – Processos físicos de deterioração do concreto.



Fonte: SOUZA, RIPPER (1998) (modificada).

2.1.8 Fissuração

As fissuras geralmente incidem nas manifestações patológicas que mais chamam atenção dos leigos, devido ao aspecto antiestético que trazem, juntamente com a sensação de insegurança. Podem ter origem nas causas internas e externas, ou na combinação de duas ou mais.

Segundo Cánovas (1988), são patologias que além do próprio risco que trazem para a segurança da estrutura, também acabam por ser uma porta aberta para a ocorrência de corrosão das armaduras, já que acabam por desproteger o aço. A seguir, serão apresentadas possíveis causas da fissuração em estruturas de concreto armado.

2.1.8.1 Contração Plástica do Concreto

A contração plástica nas estruturas de concreto armado, é comumente uma das primeiras causas a provocar fissuras no componente estrutural. Este procedimento consiste na redução de volume devido à elevada perda de água na superfície por meio de evaporação, antes mesmo do endurecimento do concreto. Geralmente esse fato se dá em estruturas com grande área superficial, como as lajes.

2.1.8.2 Assentamento do concreto/ Perda de aderência

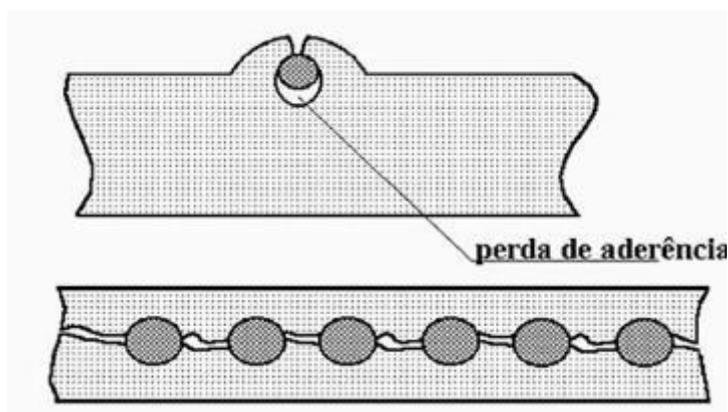
No momento da concretagem, a pasta se movimenta e se acomoda naturalmente devido ao efeito da gravidade. A fissuração pode ocorrer quando o concreto for impedido de se acomodar pelas barras de aço e o espaço entre elas for mínimo. A formação das fissuras será tão maior quanto mais sólido for a camada de concreto.

Segundo Souza e Ripper (1998), esse tipo de fissura que se forma devido ao assentamento do concreto, acarreta o efeito parede, que consiste em um vazio que é formado na parte inferior da barra de aço, assim causando uma perda de aderência e fissuras. No caso das barras estarem próximas e em

grande número, poderá haver uma interação entre as fissuras, gerando um quadro mais grave.

É importante considerar que, além da perda de aderência, esta patologia também permite a entrada de agentes nocivos às armaduras, facilitando a corrosão. A Figura 11 mostra a perda de aderência e consequente fissuração.

Figura – 11 Perda de aderência por efeito parede.



Fonte: SOUZA, RIPPER, (1998).

2.1.8.3 Movimentação de formas e escoramentos

As formas que definem a geometria dos elementos estruturais podem sofrer deslocamentos por diversas causas: escoramento mal travado, dimensões e volumes muito grandes para formas de compensado, sendo mais apropriado o uso de formas metálicas.

Devido a isso, pode-se ocorrer fissuração da peça ou uma deformação acentuada da mesma, e como consequência a perda de resistência mecânica.

Marcelli (2007) afirma que em vigas, a fissuração por movimentação de formas, se dá geralmente pela ausência de travamento das bordas superiores, de modo que com o movimento e o peso que o processo de concretagem gera, a forma acaba por ficar suscetível a se deformar, com sua parte superior se deslocando para fora da viga. Em vigas altas nem mesmo o travamento superior impede a deformação, para este caso, o indicado é o uso de tirantes intermediários para evitar o “embarrigamento” da estrutura. No caso de pilares, a movimentação da forma geralmente ocorre pela falta de travamento

adequado na sua base, pois é a região que o mesmo recebe a maior pressão devido ao concreto.

A Figura 12 mostra uma viga, na qual é visível que houve um deslocamento que mudou a forma original na porção indicada.

Figura 12 - Trinca devido a movimentação das formas.



Fonte: SOUZA (1998).

2.1.8.4 Corrosão das armaduras

A corrosão dos aços tem sido umas das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, gerando assim grandes danos e prejuízos. Devido a isso, deve-se entender este processo por completo para impedir que ocorra, ou ao restaurar elementos estruturais atacados, evitar que depois de curados, não sofram novamente tal falha.

Souza e Ripper (1998) caracterizam a corrosão das armaduras como sendo o resultado da deterioração da camada passivante localizada ao redor da superfície das barras. Sendo esta película formada pelo impedimento da dissolução do ferro, devido à alta alcalinidade da solução aquosa existente no concreto.

Marcelli (2007) afirma que a corrosão da armadura consiste em um processo eletroquímico, que pode ter sua eficiência aumentada por alguns fatores como: agentes agressivos externos e internos, que foram adicionados ao concreto, ou ainda que foram gerados pelo ambiente. Para a corrosão

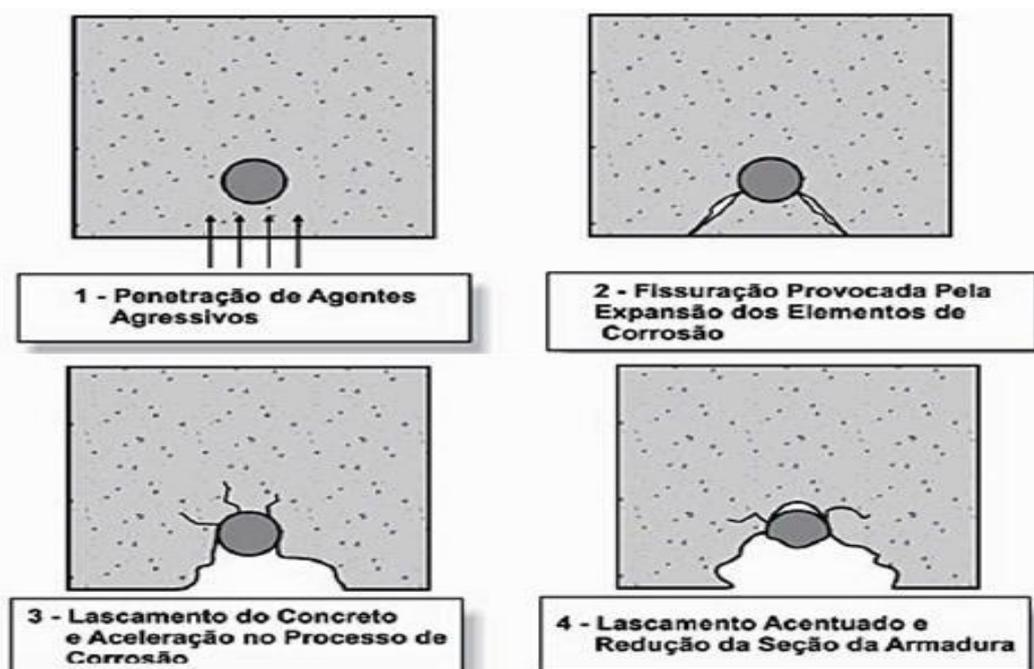
ocorrer de fato, é preciso da presença dos elementos: presença de oxigênio e umidade, e o estabelecimento de uma célula eletroquímica.

Nos elementos estruturais em que o aço já entrou em fase de corrosão, ocorre um aumento considerável de volume em até três vezes na parte comprometida, causando tensões de tração que o concreto não suporta, aparecendo fissuras ao longo das armaduras postas mais próximas da superfície do componente.

Com o surgimento da ferrugem, haverá um aumento de volume da armadura, de modo que o concreto sofrerá fissuração por tração e terá sua aderência diminuída com o aço. A Figura 13 ilustra as partes do processo: primeiramente o agente agressivo adentrando o concreto, após isso as fissuras ocasionadas já devido à criação da expansão pela ferrugem, posteriormente o lascamento do cobrimento do concreto, e por fim uma redução da seção da armadura, com esta já totalmente exposta ao ambiente.

Fusco (2008) cita que além do dano causado pela patologia no que diz respeito à resistência mecânica da estrutura, ainda há o agravante de facilitar a penetração de outros agentes nocivos, que podem prejudicar ainda mais as armaduras e o concreto.

Figura 13 - Processo de corrosão na armadura.



Fonte: MARCELLI (2007).

2.1.8.5 Desagregação do concreto

Consiste na desagregação do concreto, com este prejudicando assim sua propriedade de aglomerante. Souza e Ripper (1998) entendem a desagregação do concreto, como a separação física do mesmo em fatias, de modo que a estrutura acaba por perder a capacidade resistente a esforços na região desagregada. Cánovas (1988) afirma que os componentes do concreto perdem sua coesão, reduzindo a resistência mecânica.

Vários são os fatores que podem ser causadores da desagregação: fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto, ataques biológicos entre outros.

A Figura 14 ilustra uma viga em processo de desagregação.

Figura 14 - Desagregação do concreto em viga.



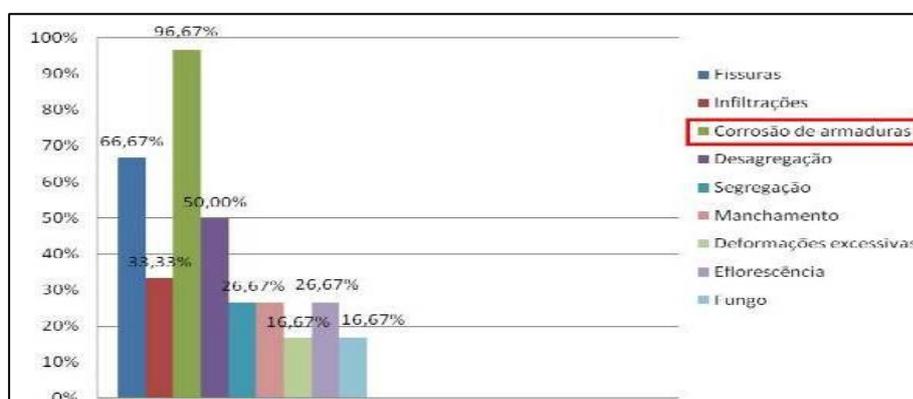
Fonte: CASCUDO (1997).

A deterioração, por separação de partes do concreto, provocada, em geral, pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento considerável de volume do concreto quando este absorve água, pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques.

2.1.9 Custos e manutenção

Em relação à incidência das manifestações patológicas, conforme a Figura 15 percebe-se a predominância da corrosão das armaduras associada a um ou mais dos eventos: cobertura deficiente, fissuras, infiltrações, presença contínua de umidade, agressividade no ambiente e falta ou deficiência de manutenção.

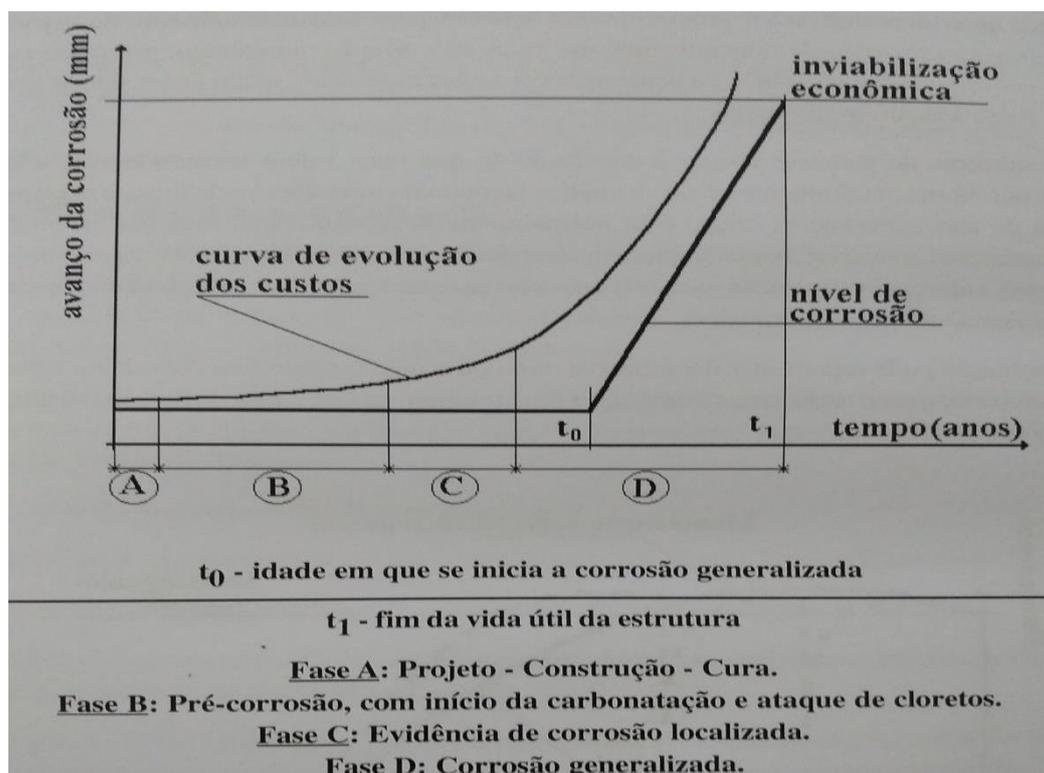
Figura 15 - Incidência das manifestações patológicas nas estruturas de concreto.



Fonte: Silva (2011).

Como explica De Sitter (C.E.B.- *Design Guide for Concrete Durable Structures* - Guia de projeto para Estruturas Duráveis de Concreto), na famosa “Lei dos Cincos”, conforme Figura 16. Um dólar não gasto para garantir qualidade na fase A será cinco dólares gastos em manutenção preventiva na fase B, ou vinte e cinco dólares para a manutenção corretiva na fase C, ou, por fim, cento e vinte e cinco dólares de recuperação/ reforço na fase D.

Figura 16 – Início das patologias x Tempo nas estruturas de concreto Armado.



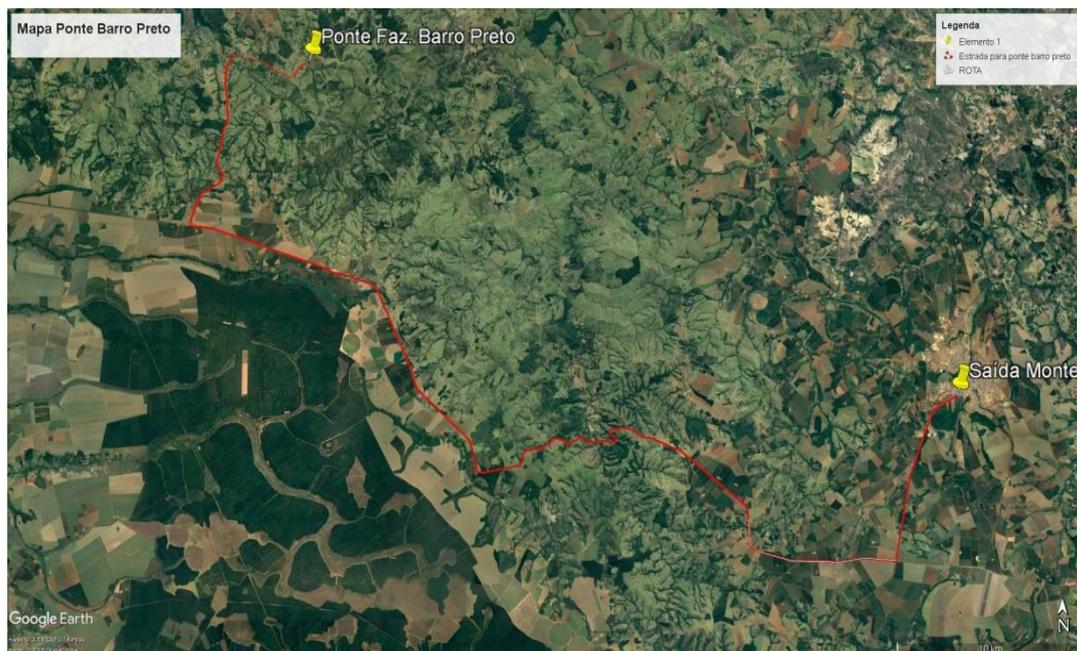
Fonte: Souza e Ripper (1998).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A área para levantamento do estudo consiste em uma ponte localizada na região entre Monte Carmelo e Cascalho Rico, estado de Minas Gerais, cuja estrutura é de concreto armado e possui manifestações patológicas. Na Figura 17 observa-se a localização exata da ponte, e todo o trajeto a ser percorrido que são aproximadamente 75 km, buscando facilitar a entrega do concreto usinado, para eventual reparação. Visto que sinal de GPS e internet não foram constatados.

Figura 17 – Localização da Ponte Fazenda Barro Preto.



Fonte: Google Earth (2018).

3.2 Análise da ponte de concreto armado

Para realizar a análise na ponte de concreto armado será realizado uma visita *in loco* com a finalidade de fazer um levantamento geral da real situação da mesma. A análise visa identificar pontos críticos, como: fissuras, desgastes naturais (consequência das intempéries), variação do nível do curso d'água.

3.3 Inspeção visual da estrutura da ponte

3.3.1 Identificação das manifestações patológicas

A identificação das manifestações patológicas na ponte será durante a visita *in loco* para análise da mesma. Será realizada uma análise minuciosa nas condições atuais da ponte e identificadas as patologias ali presentes de acordo com as patologias apresentadas na literatura.

3.3.2 Registro fotográfico das manifestações patológicas

O registro fotográfico das manifestações patológicas identificadas na ponte será realizado com uma câmera digital e terá como objetivo ilustrar as reais condições de sua estrutura.

As imagens obtidas no registro fotográfico permitirão expor e discutir os resultados obtidos na análise visando alcançar os objetivos propostos nesse trabalho, e conseqüentemente, propor possíveis soluções para as patologias identificadas.

3.3.3 Diagnóstico das manifestações identificadas e proposta das soluções

Diante do estudo *in loco*, são apresentadas sugestões sobre possíveis medidas de correção dos problemas encontrados. Além disso, é feita uma discussão acerca da medida de reforço sugerida, apresentando suas principais características.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Identificação das manifestações patológicas

Na análise de campo, observou-se grandes fissurações em parte da estrutura. O tratamento de peças fissuradas está diretamente ligado à perfeita identificação da causa da fissuração e da necessidade ou não de se executar reforços estruturais.

Os resultados da inspeção mostram a penetração de água nas fissuras da ponte. Com o aparecimento da ferrugem, houve uma expansão da armadura, de modo que o concreto sofreu fissuração e teve assim sua aderência reduzida com o aço, deixando a mesma totalmente exposta ao ambiente.

Na Figura 18 pode-se observar a atual realidade das condições estruturais da ponte, deixando a mesma vulnerável a fatores biológicos podem

comprometer o desempenho das estacas, portanto a extrema necessidade de solução para o local. Com o assoreamento do rio, aumentou o risco de degradação da fundação, expondo os perfis metálicos que foram utilizados como estacas de apoio.

Figura 18 – Exposição dos perfis metálicos, Ponte Fazenda Barro Preto.



Fonte: O Autor (2018).

A Figura 19 mostra a degradação do bloco estrutural deixando à mostra os perfis que ligam o bloco ao terreno, afetando e comprometendo sua vida útil.

Figura 19 – Parte da fundação degradada, Ponte Fazenda Barro Preto.



Fonte: O Autor (2018).

Na Figura 20 observa-se o deslocamento de parte do concreto deixando o aço à mostra, estando o mesmo sujeito a corrosão diminuindo sua resistência.

Figura 20 – Exposição do aço nas vigas de apoio do tabuleiro, Ponte Fazenda Barro Preto.



Fonte: O Autor (2018).

A Figura 21 mostra parte da estrutura, já em fase de corrosão.

Figura 21 – Laje do tabuleiro com pouca capa de cobertura, Ponte Fazenda Barro Preto.



Fonte: O Autor (2018).

4.2 Descrição das manifestações patológicas encontradas

Assim serão apresentadas, através de levantamento fotográfico as manifestações patológicas, indicando sua localização na edificação, bem como os fenômenos observados visualmente, e a indicação de prováveis causas, juntamente com a descrição do mecanismo de ocorrência de cada patologia.

4.3 Detalhe do desprendimento do concreto nos perfis

O desgaste da estrutura principalmente na ligação dos blocos às suas estacas pode comprometer a vida útil da mesma. A Figura 22 mostra com detalhe os problemas encontrados nos blocos de fundação.

Figura 22 – Deformação dos blocos estruturais.



Fonte: O autor, (2018).

A Figura 23 mostra parte da proteção lateral em fase de deterioração do concreto, e um grande risco em dias de chuva, devido a grande quantidade de terra que pode provocar muita lama ao longo da mesma.

Figura 23 – Vista da ponte ao longo da estrada.



Fonte: O autor, (2018).

- **Descrição visual:** Observa-se o desprendimento do concreto nos perfis metálicos que foram utilizados como estacas de fundação, expondo o mesmo às ações do meio ambiente.

- **Manifestação:** As manifestações se encontram em vários pontos, que podem interferir na estética, na durabilidade e nas características estruturais da ponte.

- **Causas prováveis:** As causas podem ser tanto de projeto como de execução, decorrente de possíveis erros em dosagens do concreto, vibração excessiva e também do desgaste natural que a estrutura sofre no caso apresentado, pelo movimento natural no leito do rio.

Em relação à incidência das manifestações patológicas, conforme a Figura 23 percebe-se a predominância da corrosão das armaduras associada a um ou mais dos eventos: cobrimento deficiente, fissuras, infiltrações, presença contínua de umidade, agressividade no ambiente e falta ou deficiência de manutenção.

- **Mecanismo de ocorrência:** O mecanismo é através dos esforços que os pilares estariam dimensionados a suportar, que reduzindo o apoio pode acarretar problemas graves de estabilidade da ponte, gerando também fissuras e trincas, que irão desencadear o início do processo de corrosão das armaduras.

Apesar do estado em que se encontra a ponte, a população continua a utilizá-la normalmente, pois a via não dispõe de outro trajeto adequado para o mesmo.

Na inspeção visual detectou-se uma má construção das juntas de dilatação, mal acabamento na camada asfáltica, prejudicando a drenagem e a capacidade de vedação que não está funcionando adequadamente, formando assim acúmulo de detritos e formação de vegetação, deslocamentos de parte do concreto na laje da ponte, aberturas visíveis de rachaduras e ramificações, exposição dos perfis que foram utilizados como estacas na execução dos blocos da fundação.

Solução: Fazer um acompanhamento constante preventivo e verificar se irão surgir fissuras ou trincas de grandes dimensões ao longo da mesma. Caso isso ocorra, a solução adequada seria um reforço na base dos blocos com agulhamento de estacas denominadas estacas-raiz, que são executadas por perfuração com circulação de água.

Esta solução tem a vantagem de não ocasionar vibrações durante sua implantação, e rapidez na sua execução as quais poderiam prejudicar ainda mais as condições de instabilidade das fundações.

A ocorrência de deformações excessivas na fundação da ponte é resultado de uma série de fatores, dentre eles a falta de inspeções técnicas e a estratégia de manutenção, sendo assim os reparos devem superar o desempenho inicial esperado para a estrutura, para que a mesma se mantenha ou até se estenda a vida útil da mesma.

Assim, será sempre fundamental o estabelecimento, no seu devido tempo, de uma correta estratégia de manutenção, ou, quando isto não tiver sido possível, da época apropriada para se levar a cabo as operações de recuperação, para que não se incorra o erro de maximizar os custos com a manutenção estrutural.

4.2 Propostas para solução da estrutura

O processo de entendimento de um problema patológico pode ser exposto como geração de hipóteses fundamentadas ou modelos já testados anteriormente, onde o profissional avalia a situação comprando o quadro sintomatológico.

Uma Recuperação Estrutural é realizada quando há a detecção de redução na capacidade de suporte da estrutura. Isso pode ocorrer devido a falhas construtivas, falhas de projeto e até por acréscimo de carga como em casos de ampliação da estrutura. Para todos os casos, há a necessidade prévia de projeto para a recuperação e/ou reforço estrutural, visando a segurança e estabilidade da construção.

O reforço das fundações se dá com a execução de novas estacas junto aos blocos de fundação existentes, e conseqüente ligação entre os elementos novos e a estrutura antiga. Usualmente, é utilizado o sistema de estacas tipo "raiz" para o reforço dado o pequeno porte de seus equipamentos, garantindo uma maior versatilidade e deslocamento e a baixa perturbação das estruturas existentes, dado o procedimento rotativo e sem vibração. (Fonte: Revista Especialize On-line IPOG).

Para se preparar uma estrutura para uma recuperação, deve ser feita inicialmente um apicoamento da superfície da estrutura, limpando os restos e o pó que sobrar de maneira a deixar o mais limpo possível. A seguir é adicionada uma resina tipo epóxi com função de gerar uma boa união entre a camada antiga e a camada nova de concreto.

Outra boa maneira de aumentar a aderência seria eliminar alguns trechos de concreto com profundidade entre 3 a 4 centímetros de modo a produzir "um nicho" no mesmo, o que facilitaria a ligação entre os elementos ferro e concreto.

Após pesquisas fundamentadas, conclui-se que será necessário o reforço do bloco estrutural de maneira semelhante ao mostrado na Figura 24, com agulhamento de estacas denominadas estacas-raiz, que são executadas por perfuração com circulação de água. Deve-se, porém, avaliar a necessidade

de retirar a água no entorno do bloco para que sejam montadas as formas, posicionadas as armaduras e realizada a concretagem.

Figura 24 – Reforço de bloco Estrutural.



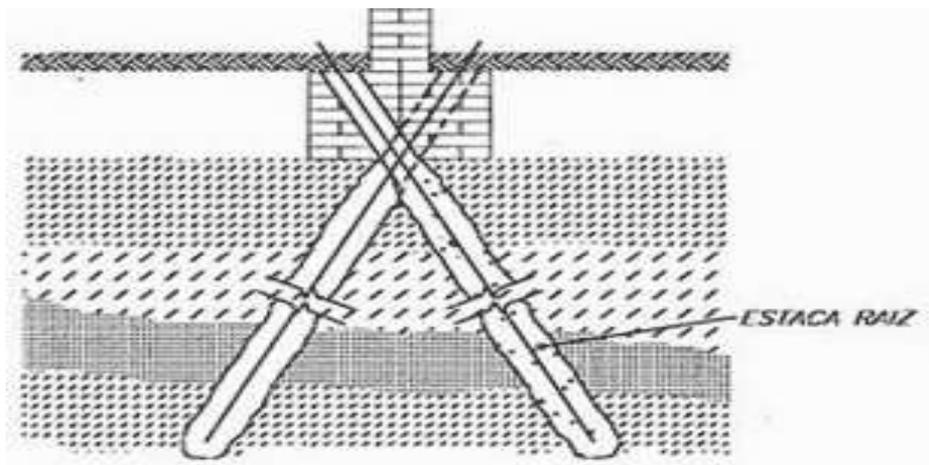
Fonte: Google (2018).

Os equipamentos para execução deste tipo de estaca caracterizam-se por suas pequenas dimensões, permitindo o acesso a locais com limitações de altura como por exemplo, os subsolos de edifícios.

Este tipo de fundação tem a vantagem de não ocasionar vibrações durante sua implantação, as quais poderiam prejudicar ainda mais as condições de instabilidade das fundações já doentias. Por outro lado, deve-se considerar que a injeção e circulação de água sob as fundações problemáticas podem vir a instabilizar ainda mais as condições existentes.

Podem ser instaladas inclinadas ou verticalmente como mostra a figura 25, ao lado das peças a serem reforçadas ou, ainda, perfurando as sapatas ou blocos de coroamento, sendo incorporadas nestas peças.

Figura 25 – Reforço de bloco Estrutural.



Fonte: Clube do Concreto (2018).

Nesse sentido, pode-se pensar em relacionar os custos de recuperação com o volume da estrutura. Os custos das atividades de recuperação, assumem valores representativos e que, se somados a outros custos decorrentes da intervenção, como por exemplo a remoção, ou impedimento do fluxo de moradores pelo local, podem assumir valores que superam a recuperação em si.

Sendo assim, após a coleta e interpretação dos dados, os mesmos devem ser analisados e, com isso, é proposta a solução que tenha o melhor comportamento frente aos aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

5 CONCLUSÃO

O trabalho apresenta resultados obtidos através de um levantamento de dados e estudos bibliográficos sobre caso específico de patologias em estruturas de concreto armado, realizou-se um levantamento das principais manifestações patológicas que agem prejudicando a estrutura, bem como apontou os sintomas, origens e causas possíveis.

Os conceitos de patologia, comportamento, durabilidade, vida útil e agressividade do meio ambiente, são informações básicas para a compreensão da importância de um projeto detalhado. Como foi visto, são inúmeras as causas e origens que levam uma estrutura a problemas patológicos. Podendo

estas se originar nas fases de projeto, execução e utilização de um elemento qualquer.

Ficou claro que as causas são diversas, desde problemas na constituição química dos materiais, fenômenos da natureza, erros humanos tanto no projeto como execução devido à negligência ou falta de qualidade, até ataques biológicos e de agentes agressivos às armaduras e ao concreto.

Foram mostradas várias manifestações patológicas com aspectos próprios de cada uma, observando sempre a importância do conhecimento técnico, para um correto diagnóstico, formas para reparar e reforçar as estruturas afetadas por algum problema patológico.

O estudo de caso apresentado neste trabalho buscou realizar uma análise em uma ponte de concreto armado localizada entre as cidades de Monte Carmelo e Cascalho Rico, estado de Minas Gerais, a qual possui manifestações patológicas.

As normas técnicas e procedimentos atuais pretendem sempre antecipar ocorrências de patologias nas estruturas, e determinando ações preventivas de projeto, portanto a recuperação e reforço da fundação da ponte é um ponto de fundamental importância, evitando maiores transtornos à estrutura da mesma.

Portanto há uma necessidade constante em busca de qualidade na construção civil, assim como em qualquer outra área da engenharia civil. É preciso entender que para uma estrutura de concreto armado chegar a um bom nível, com a falta de manifestações patológicas, todas as áreas abrangidas, desde a mão de obra de execução e os projetistas, os materiais utilizados, o conhecimento sobre o solo e o ambiente no qual se deseja construir, devem estar em constante consenso.

Porque não adianta haver quadro humano de qualidade na área da execução, se os materiais utilizados não acompanham o mesmo e ainda possuem procedência desconhecida. Para evitar a ocorrência de problemas patológicos, todos os aspectos devem estar unidos e possuírem um padrão mínimo de satisfação.

O estudo mostra que a grande dificuldade que se tem em executar alguns reforços e recuperações na ponte depende de uma mão de obra

especializada, devido a complexidade do serviço, dificuldade de se chegar ao local, e grande presença de umidade, devido ao leito do rio.

Esse quadro acaba também, por forçar os técnicos da área a estar em constante pesquisa, estudo e aprendizado, sempre acompanhando as evoluções, o que abre um enorme mercado de trabalho, com crescimento significativo da demanda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECweb, Piancastelli, É. M. **Patologias do concreto**. 2016. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0..> Acesso em: 06 maio 2018.

AMARAL, J. C. **Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

ARANHA e ANDRADE. **Custos de Recuperação e Prevenção em Estruturas de Concreto Armado: Uma Análise Comparativa**. 1999.

ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: informação e documentação: projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BARIN, D. **Carbonatação e Absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1. ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

CASCUDO, O. **O controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. Goiânia: Editora UFG, 1997. 237 p.

CHUST, R. C.; FIGUEIREDO, F, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. 2. Reimpressão. São Carlos: EdUFScar, 2016.

Clube do Concreto. **Tipos de Soluções: Reforço de Fundações**. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/01/tipos-de-solucoes-reforco-de-fundacoes.html>>. Acesso em: 06 maio 2018.

Ferreira, J, V, de S. **Inspeção e Monitoramento de Obras de arte especiais com vista a manutenção**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018.

FIGUEROLA, V. 2006 **Vazios de Concretagem**: Cuidados especiais com a armação e uso de produtos para alterar características do concreto podem evitar a formação das "bicheiras". *Téchne* 109,abr/2006. Disponível em : <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carneane/materiais/Vazios_de_Concretagem_Techne_109.pdf>. Acesso em: 05 maio 2018.

FUSCO, P. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 2013. p 392.

HELENE, P, R, L. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1992. 119 p.

ISAIA, G. C. **Controle de Qualidade das Estruturas de Concreto Armado**. Santa Maria: Edições UFSM, 1988. 119 p.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções**. São Paulo: Escola Politécnica, 1985.

MARCELLI, M. **Sinistros na Construção Civil**: causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007.

NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

REVISTA ON-LINE IPOG ESPECIALIZE. **Patologias em Estruturas de Concreto Armado**, Estudo de Caso dezembro / 2015. Acesso em: 11 maio 2018.

RIPPER, T; MOREIRA DE S, V. C. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998. p 255.

THOMAZ, É. **Trincas em Edifícios: Causas, Prevenção e Recuperação**. São Paulo: PINI, 1989.