



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIEL PEREIRA GROSSI ALMEIDA
LUCAS ROCHA COBUCCI**

**COLAPSO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO:
UMA ASSOCIAÇÃO ENTRE SOBRECARGAS E PATOLOGIAS**

**BARBACENA
2020**

**GABRIEL PEREIRA GROSSI ALMEIDA
LUCAS ROCHA COBUCCI**

**COLAPSO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO:
UMA ASSOCIAÇÃO ENTRE SOBRECARGAS E PATOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – UNIPAC Barbacena, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Elvys Dias Reis.

**BARBACENA
2020**

Aos nossos pais, familiares e companheiras,
pelo apoio incondicional em todos os
momentos difíceis da nossa trajetória
acadêmica. Este trabalho é dedicado a vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos colegas, com quem traçamos juntos este caminho e que contribuíram na construção deste trabalho.

Agradecemos ao Prof. Orientador Elvys Dias Reis pela excelente orientação, guiando-nos aos caminhos certos e corrigindo nossos erros de forma dedicada, atenciosa e competente.

Agradecemos aos professores do curso de Engenharia Civil da UNIPAC por nos terem ensinado com maestria os componentes intelectuais necessários para a elaboração deste trabalho e para o correto exercício da profissão de engenheiro civil.

RESUMO

Considerando que o colapso de uma edificação é um episódio catastrófico, onde vidas e bens materiais podem ser perdidos, torna-se de extrema importância a investigação das causas e a sua divulgação pelo meio técnico e científico, tendo em vista que estas informações são valiosas para o progresso da Engenharia Civil e para as construções futuras. Neste sentido, neste trabalho é discutido um dos principais processos que levam uma estrutura à ruína, o esgotamento da capacidade resistente dos elementos de sustentação, com uma revisão de literatura abordando os principais tópicos associados ao assunto, como os estados-limites último e de serviço, as ações atuantes em uma edificação, bem como suas combinações de projeto recomendadas pela norma brasileira ABNT NBR 6118:2014. Também são estudadas as manifestações patológicas mais comuns aos edifícios de concreto armado, assim como as formas que estas patologias podem levar ao comprometimento da integridade estrutural do edifício. Além disso, realizou-se um estudo de caso sobre o edifício Andrea, que desabou em outubro de 2018, na cidade de Fortaleza, relatando suas causas e ressaltando a importância tanto de um controle rigoroso da metodologia construtiva quanto da atenção às manifestações patológicas.

Palavras-chave: Estruturas em concreto armado. Segurança estrutural. Patologias. Colapso estrutural. Edifício Andrea.

ABSTRACT

Considering that the collapse of a building is a catastrophic episode, where lives and material goods can be lost, it becomes of extreme importance to investigate the causes and their dissemination by technical and scientific means, bearing in mind that this information is valuable for the progress of Civil Engineering and future constructions. In this sense, this work discusses one of the main processes that lead a structure to ruin through, the depletion of the resistant capacity of the support elements, with a literature review that addresses the main topics associated with the subject, such as the ultimate and service limit states, the actions acting in a building, as well as their combinations of design recommended by the Brazilian standard ABNT NBR 6118:2014. The pathological manifestations most common to reinforced concrete buildings were also studied, as well as the ways that these pathologies can lead to the compromise of the structural integrity of the building. Besides, a case study was conducted on the Andrea Building, which collapsed in October 2018, in the city of Fortaleza, reporting its causes and emphasizing the importance of both a strict control of the construction methodology and attention to pathological manifestations.

Keywords: Reinforced concrete structures. Structural safety. Pathologies. Structural collapse. Andrea Building.

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 7 |
| 2. | DESENVOLVIMENTO | 8 |
| 2.1 | Revisão da literatura | 8 |
| 2.1.1 | <i>Método dos estados-limites</i> | 8 |
| 2.1.2 | <i>Ações.....</i> | 10 |
| 2.1.3 | <i>Combinação de ações.....</i> | 12 |
| 2.1.4 | <i>Patologias em edifícios de concreto armado</i> | 15 |
| 2.2 | Estudo de caso | 20 |
| 2.2.1 | <i>O Edifício Andrea.....</i> | 20 |
| 2.2.2 | <i>O estado da edificação.....</i> | 21 |
| 2.2.3 | <i>Intervenções feitas</i> | 23 |
| 2.2.4 | <i>Diagnóstico do desabamento</i> | 24 |
| 3. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 27 |
| | REFERÊNCIAS | 7 |

1. INTRODUÇÃO

Edifícios em concreto armado são os mais difundidos no Brasil e são comumente usados como recurso na ocupação de centros urbanos. A popularidade desta metodologia construtiva se dá graças à facilidade de execução e baixo custo dos materiais, no entanto, estas vantagens não excluem a necessidade de constante avaliação do estado da edificação e correta realização das manutenções necessárias, a fim de garantir a segurança de seus moradores.

Considerando o atual cenário em que se verifica a ocorrência de diversos acidentes envolvendo edifícios em concreto armado, estudar as suas causas e possíveis medidas de prevenção se torna extremamente importante. Assim, este trabalho se justifica pela necessidade de serem estudadas as patologias mais comuns nesses tipos de edifício, bem como pela importância de cumprir as exigências das normas técnicas, fazendo com que o projeto seja executado de forma segura, a fim de não colocar em risco a vida das pessoas.

No presente trabalho, portanto, são apresentados os diversos tipos de patologias que ocorrem em edifícios em concreto armado devido a erros construtivos e à falta de manutenção durante sua vida útil. Alguns desses erros podem ser corrigidos por meio de uma análise estrutural realizada por empresas especializadas e competentes para dar o parecer sobre a atual situação da edificação. Assim, pode ser feito um reaproveitamento da estrutura sem precisar de maiores intervenções, fazendo com que o tempo de execução seja menor e os custos da obra sejam mais baratos, mas sempre seguindo as normas competentes.

Este trabalho possui como objetivo geral a realização de um diagnóstico que explique o mecanismo de colapso do Edifício Andrea. Especificamente, pretende-se analisar os erros e as possíveis causas que o levaram à instabilidade estrutural e ao consequente desabamento, tendo em vista a necessidade de se conhecer os motivos deste episódio com o intuito de evitar futuros desastres. Para alcançar estes objetivos, foi realizada a coleta de informações para a verificação do panorama dos desabamentos no Brasil, uma revisão bibliográfica sobre as principais e mais recorrentes patologias em edifícios em concreto armado e um estudo de caso sobre o colapso do Edifício Andrea.

Visando atender aos objetivos propostos, este trabalho foi organizado em capítulos, sendo: o Capítulo 2 composto por uma revisão bibliográfica sobre o método dos estados-limites, combinação de ações, patologias em estruturas em concreto armado e pelo estudo de caso sobre o desabamento do Edifício Andrea; no Capítulo 3 apresentadas as considerações finais.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão da literatura

2.1.1 Método dos estados-limites

Segundo Araújo (2010), uma estrutura de concreto armado, além dos aspectos econômicos e estéticos, deve cumprir alguns requisitos de qualidade, como segurança e bom desempenho em serviço. Quando algum destes requisitos não for atendido, considera-se que foi alcançado um estado-limite, ponto no qual a estrutura deixa de cumprir a função para a qual foi projetada.

O método dos estados-limites é a metodologia adotada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para o dimensionamento de estruturas. No caso das estruturas em concreto armado, o método é abordado pela norma ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, que define:

As condições analíticas de segurança estabelecem que as resistências não podem ser menores que as solicitações e devem ser verificadas em relação a todos os estados-limites e todos os carregamentos especificados para o tipo de construção considerado, ou seja, em qualquer caso deve ser respeitada a condição:

$$R_d \geq S_d$$

Para a verificação do estado-limite último de perda de equilíbrio como corpo rígido, R_d e S_d devem assumir os valores de cálculo das ações estabilizantes e desestabilizantes, respectivamente (ABNT, 2014, p.72).

De modo geral, o método dos estados-limites determina que, para cada modo de colapso ou situação em que a estrutura deixa de atender seus requisitos, deve ser respeitada a condição de que os esforços resistentes de cálculo sejam iguais ou maiores que os esforços referentes às ações solicitantes. Segundo Sáles (2004), o método dos estados-limites é uma ferramenta que ajuda a avaliar situações de projeto e simplifica o processo de dimensionamento.

É possível dividir os estados-limites em duas categorias: estado-limite último (ELU) e estado-limite de serviço (ELS), os quais serão detalhados a seguir.

2.1.1.1 Estado-limite último

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, o estado-limite último (ELU) é o estado-limite relacionado ao colapso do elemento estrutural, ou qualquer forma de ruína estrutural, determinando a paralisação do funcionamento da estrutura. O atingimento deste estado-limite em um dos elementos estruturais pode resultar no desabamento da edificação como um todo.

Campos e Marchetti (2015) mencionam os principais modos de colapso pelo atingimento do ELU, padronizados pela norma ABNT NBR 6118:2014, como sendo:

- a) Esgotamento da capacidade resistente da estrutura;
- b) Perda de equilíbrio como corpo rígido;
- c) Perda de equilíbrio como um todo ou em parte;
- d) Instabilidade considerando efeitos de 2ª ordem;
- e) Instabilidade por deformação;
- f) Instabilidade dinâmica progressiva (fadiga).

Com a identificação dos modos de colapso dos elementos estruturais, é possível que sejam determinados níveis de segurança satisfatórios para cada estado-limite, garantindo assim os requisitos para os quais a estrutura foi projetada.

Para a determinação dos esforços resistentes de cálculo, a ABNT NBR 6118:2014 ainda estabelece coeficientes de ponderação das resistências no estado-limite último para o concreto e para o aço de acordo com cada combinação de ações utilizada no cálculo do esforço solicitante, como se verifica na TAB. 1.

Tabela 1 – Valores dos coeficientes γ_c e γ_s

| Combinações | Concreto (γ_c) | Aço (γ_s) |
|--------------------|---|------------------------------------|
| Normais | 1,4 | 1,15 |
| Especiais | 1,2 | 1,15 |
| Excepcionais | 1,2 | 1,10 |

Fonte: ABNT (2014, p.71). Adaptada pelos autores.

Os coeficientes de ponderação γ_c e γ_s têm caráter minorativo e devem ser adicionados ao denominador da resistência característica para a definição da resistência de cálculo, conforme a Equação 1:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (1)$$

sendo f_d a resistência de cálculo, f_k o valor da resistência característica e γ_m o coeficiente de ponderação do material.

2.1.1.2 Estado-limite de serviço

De acordo com Campos e Marchetti (2015), o estado-limite de serviço (ELS) está relacionado ao dia-a-dia da funcionalidade da edificação. Para o bom

funcionamento da estrutura, deve-se sempre impedir que sejam ultrapassados os limites que comprometam as seguintes condições de utilização:

- a) Durabilidade;
- b) Aparência;
- c) Conforto do usuário;
- d) Funcionalidade.

Dessa forma, os estados-limites de serviço correspondem aos limites para que a estrutura possua comportamento adequado à sua utilização normal, visando garantir sobretudo o conforto dos usuários, assim como a durabilidade da edificação. A ABNT NBR 6118:2014 divide os ELS em categorias relacionadas aos modos em que os estados-limites de serviço podem ser alcançados, sendo os principais:

- a) Estado-limite de formação de fissuras (ELS-F): estado de início da fissuração do elemento, é atingido quando a seção transversal apresenta a tensão de tração máxima;
- b) Estado-limite de abertura de fissuras (ELS-W): estado em que a abertura das fissuras atinge os limites estabelecidos na ABNT NBR 6118:2014;
- c) Estado-limite de deformações excessivas (ELS-DEF): estado em que as deformações atingem os limites para a normal utilização da estrutura dados na ABNT NBR 6118:2014.

Segundo Araújo (2014), as deformações sofridas pela estrutura não devem provocar danos em elementos não estruturais, afetar o uso ou a aparência da edificação, nem causar desconforto aos usuários. Já a fissuração, fenômeno praticamente inevitável nas peças fletidas de concreto armado, não deve afetar a durabilidade da estrutura.

Para os ELS, não há necessidade de coeficientes de minoração, dessa forma para estes estados-limite se considera o coeficiente de ponderação do material, γ_m , utilizado na determinação da resistência de cálculo, como sendo igual a 1,0.

2.1.2 Ações

A norma ABNT NBR 6118:2014 segue as definições da norma ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas, que define as ações como qualquer causa que produza efeito de esforços ou deformações na estrutura, considerando ainda que as forças e deformações causadas pelas ações são consideradas como sendo as próprias ações.

Além disso, a norma ABNT NBR 8681:2003 ainda categoriza as ações como ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais, as quais serão discutidas a seguir.

2.1.2.1 Ações permanentes

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, “as ações permanentes são aquelas que ocorrem com valores constantes, ou de pequena variação, durante praticamente toda a vida da construção”. Segundo Araújo (2010), também podem ser consideradas como ações permanentes aquelas ações que possuem acréscimo com o tempo e tendem a atingir um valor limite constante.

As ações permanentes são divididas em dois subgrupos pela ABNT NBR 8681:2003, a saber:

- a) Ações permanentes diretas: constituem o peso próprio das estruturas, elementos construtivos permanentes, equipamentos fixos, empuxos de terra permanentes e outras ações permanentes aplicadas diretamente à estrutura;
- b) Ações permanentes indiretas: constituem os efeitos provocados por deformações permanentes, como recalques de apoio e retração dos materiais, assim como a protensão.

De acordo com a ABNT NBR 8681:2003, pode-se considerar que as forças são designadas por ações diretas, enquanto as deformações impostas por ações indiretas.

2.1.2.2 Ações variáveis

As ações variáveis são aquelas que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção. Segundo Araújo (2010), considera-se como ações variáveis as cargas acidentais que atuam nas edificações conforme sua finalidade, como os pesos de pessoas, móveis e veículos, assim como as forças de frenagem e impacto sofridas pela estrutura.

São consideradas como ações variáveis pela ABNT NBR 6118:2014 as cargas e efeitos dos carregamentos acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água. Para as combinações das ações variáveis são levadas em consideração as probabilidades de ocorrência simultânea destas ações.

Algumas das principais ações variáveis descritas na ABNT NBR 6118:2014 são:

- Cargas acidentais de uso e ocupação: referentes à utilização da estrutura, são determinadas pela função que será exercida pela edificação;

- Ação do vento: cargas referentes às pressões dinâmicas exercidas pelo vento, que devem ser determinadas seguindo as prescrições da ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- Ações variáveis de construção: são aquelas que atuam na estrutura ainda em sua fase de construção. Deve ser feita a verificação de cada fase da construção, considerando a parte já executada da estrutura e as estruturas provisórias auxiliares com seus respectivos pesos próprios, e deve-se considerar as cargas acidentais de construção.

2.1.2.3 Ações excepcionais

São consideradas ações excepcionais aquelas que possuem duração extremamente curta e baixa probabilidade de ocorrência durante a vida útil da edificação, no entanto ainda devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas. Conforme Araújo (2010), são exemplos de ações excepcionais as explosões, os choques de veículos, os incêndios, as enchentes e os sismos excepcionais.

A ABNT NBR 8681:2003 descreve que as ações excepcionais devem ser consideradas com valores definidos de acordo com cada caso particular por normas brasileiras específicas.

2.1.3 Combinação de ações

Para a determinação dos esforços solicitantes de projeto usados no método dos estados-limites, a ABNT adota a metodologia da combinação de ações. Para estruturas de concreto armado, utiliza-se como norma de referência a ABNT NBR 6118:2014, que define o carregamento pela combinação de ações de probabilidade de ocorrência não desprezível de atuarem simultaneamente na estrutura.

Segundo Araújo (2010), as combinações devem ser feitas de diversas formas, visando determinar os efeitos mais desfavoráveis à estrutura, considerando os valores característicos integrais das ações permanentes e valores reduzidos pelos coeficientes da combinação das ações variáveis.

A norma ABNT NBR 6118:2014 divide as combinações em dois grupos: combinações últimas e combinações de serviço, que por sua vez se subdividem em combinações últimas normais, combinações últimas especiais ou de construção e combinações últimas excepcionais, para as combinações últimas, e em combinações quase permanentes de serviço (CQP), combinações frequentes de serviço (CF) e combinações raras de serviço (CR), para as combinações de serviço.

Para a formulação das diversas combinações a ABNT NBR 6118:2014 segue as definições da ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas, mantendo as mesmas equações, mas utilizando formulação modificada em alguns

casos. Para efeitos de padronização, todas as equações referentes às combinações de ações deste trabalho serão retiradas da ABNT NBR 8681:2003, por apresentarem formulação de mais fácil compreensão.

2.1.3.1 Combinações últimas

As combinações últimas de ações definem o carregamento solicitante da estrutura com vista ao esgotamento da capacidade resistente dos elementos que a compõem e à perda de equilíbrio como corpo rígido. Elas são usadas na verificação aos estados-limites últimos da estrutura.

A ABNT NBR 8681:2003 define a metodologia de cálculo das combinações últimas conforme sua categoria: normais, especiais ou de construção, e excepcionais, conforme se verifica nas seguintes alíneas:

2.1.3.1.1 Combinações últimas normais

Cada combinação deve conter: as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos, e as demais ações variáveis secundárias, com seus valores reduzidos de combinação, conforme mostra a Equação 2:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (2)$$

na qual $F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes, $F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável considerada como ação principal para a combinação, e $\Psi_{0j} F_{Qj,k}$ é o valor reduzido de combinação de cada uma das demais ações variáveis.

2.1.3.1.2 Combinações últimas especiais ou de construção

As combinações últimas especiais são calculadas de forma similar às combinações últimas normais, com a diferença da presença da ação especial com seu valor característico. Cada combinação deve conter: as ações permanentes e a ação variável especial, com seus valores característicos, e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos, de acordo com a Equação 3:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \right] \quad (3)$$

onde $F_{Gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes, $F_{Q1,k}$ é o valor característico da ação variável admitida como principal para a situação transitória considerada, e $\Psi_{0j,ef}$ é o fator de combinação efetivo de cada uma das demais variáveis que podem agir concomitantemente com a ação principal F_{Q1} durante a situação transitória.

Entende-se por variável especial as ações que apresentam curta duração em comparação à vida útil da estrutura, como as cargas referentes aos equipamentos e operários atuando durante a fase de construção e durante alguma modificação ou reforma da edificação, o que justifica o fato destas combinações também possuírem a nomenclatura de combinações últimas de construção.

2.1.3.1.3 Combinações últimas excepcionais

Ainda de acordo com a ABNT NBR 8681:2003, cada combinação deve conter as ações permanentes e a ação variável excepcional, com seus valores representativos, e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea com seus valores reduzidos. Classificam-se como ações excepcionais, dentre outros, os abalos sísmicos e incêndios que a estrutura possa vir a sofrer.

2.1.3.2 Combinações de serviço

As combinações de serviço são necessárias nas verificações referentes aos estados limites de utilização, sendo classificadas pela ABNT NBR 8681:2003 de acordo com a ordem de grandeza da permanência das ações na estrutura. São consideradas todas as ações permanentes, incluindo as deformações impostas, e as ações variáveis correspondentes a cada tipo de combinação. As combinações de serviço especificadas pela norma supracitada são explanadas nas alíneas a seguir.

2.1.3.2.1 Combinações quase-permanentes de serviço

Atuam durante grande parte da vida útil da estrutura e são usadas na verificação do estado-limite de deformações excessivas.

Todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase-permanentes $\Psi_{2j}F_{Qj,k}$, segundo a Equação 4, cujos coeficientes têm as mesmas definições das equações apresentadas anteriormente:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (4)$$

2.1.3.2.2 Combinações frequentes de serviço

São aquelas em que as ações se repetem várias vezes durante a vida útil da estrutura e são utilizadas para a verificação dos estados limites de compressão excessiva, abertura de fissuras e vibrações excessivas.

A ação variável principal é considerada com seu valor frequente $\Psi_1 F_{Q1,k}$ e as demais ações variáveis com seus valores quase-permanentes $\Psi_{2j} F_{Qj,k}$, conforme a Equação 5:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \Psi_1 F_{Q1,k} \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (5)$$

2.1.3.2.3 Combinações raras de serviço

São aquelas em que as ações atuam apenas algumas vezes durante a vida útil da estrutura e são utilizadas para a verificação dos estados limites de formação de fissuras e de descompressão.

A ação variável principal é considerada com seu valor característico $F_{Q1,k}$ e as demais ações com seus valores frequentes $\Psi_{1j} F_{Qj,k}$, de acordo com a Equação 6, cujos coeficientes são os mesmos mencionados nas equações anteriores:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} \sum_{j=2}^n \Psi_{1j} F_{Qj,k} \quad (6)$$

2.1.4 Patologias em edifícios de concreto armado

Entende-se por “Patologias do concreto armado” a área da Engenharia Civil que estuda as causas, mecanismos e consequências das falhas comuns às estruturas em concreto armado.

Para assegurar a segurança e o bom desempenho das edificações em concreto armado, é necessário que existam diversos cuidados, como a correta definição e execução do traço do concreto, manuseio e cura adequados, manutenção periódica e prevenção contra agentes agressivos.

Segundo Souza e Ripper (1998), mesmo as estruturas projetadas e construídas corretamente podem vir a desenvolver sintomas patológicos, sendo que em muitos casos as estruturas necessitam ter sua capacidade portante aumentada, seja por diminuição da capacidade resistente da estrutura ou por aumento da solicitação, justificando assim a adoção de trabalhos de recuperação ou de reforço estrutural.

2.1.4.1 *Categorização das Patologias*

Nos casos de colapsos de edifícios, Cánovas (1988) afirma que a ruína não obedece apenas a uma origem, mas sim a diversas causas que, juntamente, acabam por levar a estrutura ao colapso. Uma série de erros e falhas menores podem superpor seus efeitos e trazer graves consequências.

Souza e Ripper (1998) categorizam as patologias de acordo com suas etapas de ocorrência em:

- a) Patologias geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto);
- b) Patologias geradas na etapa de execução da estrutura (construção);
- c) Patologias geradas na etapa de utilização da estrutura (manutenção).

2.1.4.1.1 *Patologias na etapa de concepção*

Diversas falhas podem ocorrer durante a etapa de projeto de uma estrutura, podendo ser referentes à má avaliação das cargas atuantes, desconsideração de possíveis cargas acidentais, de vento, neve ou ondas, devido à não realização de correto estudo meteorológico ou hidrológico, dentre outros fatores durante a fase de estudos preliminares, anteprojeto ou projeto final de engenharia.

Segundo Souza e Ripper (1998), as falhas originadas de um estudo preliminar incorreto, ou de um anteprojeto deficiente, são responsáveis principalmente pela oneração da construção e por transtornos relacionados ao uso da edificação. Já as falhas geradas durante a realização do projeto final são geralmente responsáveis pelo aparecimento de problemas patológicos sérios.

2.1.4.1.2 *Patologias na etapa de execução*

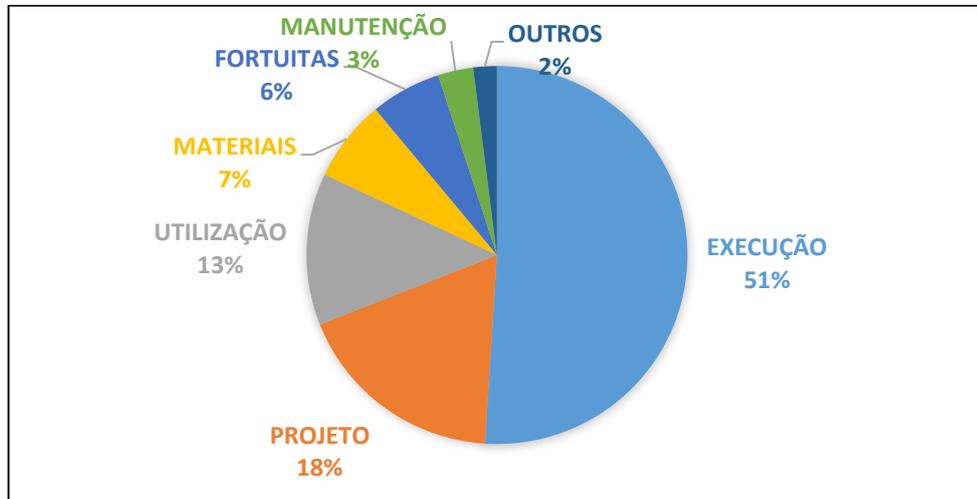
Nesta fase os defeitos construtivos são bastante frequentes, sendo que suas origens, na maioria dos casos, encontram-se no despreparo técnico dos profissionais da mão de obra, causando problemas, por exemplo, de deficiência de concretagem, inadequação de fôrmas, escoramentos mal realizados ou retirados de forma ou tempo indevido, deficiência nas armaduras, dentre outros. Botelho (1996) afirma que:

[...] a ocorrência de problemas patológicos cuja origem está na etapa de execução é devida, basicamente, ao processo de produção que é em muito prejudicado por refletir de imediato os problemas socioeconômicos, que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como os serventes e os meio-oficiais, e mesmo do pessoal com alguma qualificação profissional.

Segundo estudo realizado por Piancastelli (2014), a etapa de execução de uma obra é a que apresenta maior parte das ocorrências patológicas em estruturas de

concreto armado, concentrando 51% dos casos. Na FIG. 1 é apresentada a distribuição detalhada das incidências e origens das patologias.

Figura 1 – Distribuição das incidências e origens de manifestações patológicas



Fonte: Piancastelli (2014). Adaptado pelos autores.

2.1.4.1.3 Patologias na etapa de utilização

Para que a estrutura apresente bons desempenho e durabilidade, é necessário observar o correto uso para qual a edificação foi projetada, principalmente no que diz respeito aos carregamentos aplicados e à possibilidade da presença de elementos nocivos ao concreto armado.

A manutenção periódica também é necessária para garantir a integridade da estrutura, uma vez que problemas patológicos podem ser reconhecidos e devidamente solucionados durante as manutenções antes que se tornem problemas mais sérios. No entanto, muitas das vezes a manutenção é negligenciada por questões econômicas ou por desconhecimento técnico e incompetência.

Neste ponto, é importante discriminar as responsabilidades dos construtores, projetistas e usuários da edificação, no que tange tanto à utilização quanto ao cumprimento de algumas normas técnicas, como as que são brevemente apresentadas a seguir: NBR 14037, que “estabelece os requisitos mínimos para elaboração e apresentação dos conteúdos a serem incluídos no manual de uso, operação e manutenção das edificações elaborado e entregue pelo construtor e/ou incorporador, conforme legislação vigente” (ABNT, 2014a); NBR 5674, que prescreve os requisitos para a gestão do sistema de manutenção de edificações (ABNT, 2012); e NBR 15575, que enfatiza os requisitos de durabilidade e manutenibilidade, especificando componentes e sistemas em estrita observação aos critérios da norma de desempenho (ABNT, 2013).

A gestão do sistema de manutenção inclui meios para preservar as características originais da edificação e prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes

Segundo Souza e Ripper (1998), o usuário, parte de maior interesse em relação à integridade e segurança da estrutura, pode, de forma paradoxal, ser o agente gerador de deterioração estrutural, por desleixo ou ignorância. Logo, é importante também que o usuário esteja ciente e siga as recomendações a respeito de modificações na estrutura, seja por retirada indevida de algum componente estrutural da edificação ou pelo aumento de cargas com a instalação de elementos não previstos pelo projeto original da estrutura.

2.1.4.2 Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado

Entende-se por manifestações patológicas as degradações identificáveis em uma edificação, podendo ser geradas na elaboração do projeto, adquiridas ao longo da vida útil da estrutura ou durante a etapa de execução da obra, seja pela utilização de materiais inapropriados ou o emprego incorreto dos métodos construtivos.

É conveniente, portanto, explicitar algumas das manifestações patológicas mais comuns em edificações de concreto armado.

2.1.4.2.1 Fissuras

Helene e Andrade (2010) definem fissuras como uma descontinuidade de pequena abertura em elementos de concreto, sendo induzidas pela atuação de cargas que geram tensões de tração que superem a capacidade resistente do material.

Comumente confundidas com as trincas, que são fendas, as fissuras geralmente são encontradas em elementos de vedação, como paredes de alvenaria. Por sua vez, as trincas podem indicar outros mecanismos patológicos, como o recalque diferencial dos elementos de fundação.

Segundo Trindade (2015), as fissuras, além de causarem desconforto visual, também se comportam como porta de entrada para agentes agressivos ao concreto e às armaduras, devendo ser fechadas de imediato.

2.1.4.2.2 Segregação dos materiais do concreto

A segregação dos materiais do concreto indica que o material não está se comportando de forma solidária entre seus elementos, influenciando na análise do elemento como corpo rígido.

Lotterman (2014) classifica os estados de segregação do concreto, de acordo com o nível de danificação, da seguinte maneira:

- a) Superficial: apenas a camada externa da pasta é danificada;
- b) Média: os agregados graúdos do concreto ficam expostos;
- c) Profunda: existência de exposição da armadura.

Similar ao caso das fissuras, alguns estados de segregação podem ser uma abertura a agentes nocivos, além de comprometerem a integridade estrutural do elemento em questão.

De acordo com a ABNT NBR 14931:2004 – Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento, que prescreve a forma de execução de elementos de concreto armado, as causas da segregação dos materiais do concreto podem ser: lançamento incorreto do concreto, vazamento da calda pela forma por mal posicionamento da mesma ou o uso indevido do instrumento de vibração.

2.1.4.2.3 Lixiviação

A lixiviação é um processo de dissolução do hidróxido de cálcio presente no concreto em contato com águas puras, entendidas por águas com baixa ou nenhuma concentração de íons de cálcio, provenientes da condensação de neblina e da chuva. O processo de lixiviação produz íons de cálcio que reagem com o gás carbônico atmosférico, resultando no aparecimento de crostas brancas na superfície do concreto denominadas eflorescências. Segundo Mehta e Monteiro (1994), o processo de lixiviação causa, além de estética indesejável, o comprometimento da resistência mecânica do concreto.

Segundo Freire (2005), quando não é tratado, o processo de lixiviação pode tornar o concreto poroso, acentuando assim a possibilidade de corrosão da armadura. Para evitar os efeitos da lixiviação é necessário interromper o contato da água com o elemento de concreto.

2.1.4.2.4 Corrosão da armadura

A corrosão é o nome comumente dado à oxidação de materiais metálicos em contato com elementos da atmosfera. No caso das armaduras de elementos de concreto armado, é esperado que o próprio concreto cumpra a função de proteção da armadura destes agentes agressivos, entretanto esta proteção pode ser afetada por fatores como os das manifestações patológicas listadas anteriormente, fissuração, segregação dos materiais do concreto e lixiviação.

O processo de corrosão tende a diminuir a área da seção transversal das barras que compõem a armadura do elemento de concreto armado, o que prejudica a solidariedade concreto-aço e diminui a resistência do elemento principalmente a tensões de tração.

O processo de corrosão das armaduras deve ser interrompido o quanto antes, recobrando a área em que a armadura esteja exposta. Contudo, para Souza e Ripper

(1998), em casos elevados de corrosão, em que a redução da seção transversal da barra ultrapassar 15%, é necessária a substituição das armaduras ou a instalação de reforço das mesmas.

2.1.4.2.5 Infiltração

Manifestação patológica recorrente na construção civil, pode causar problemas como goteiras, manchas, mofo, apodrecimento, oxidação da armadura, lixiviação e redução da vida útil de revestimentos.

Segundo Ernica (2017), a infiltração pode se configurar de três formas:

- a) Infiltração por pressão;
- b) Oriundas da umidade do solo e da atmosfera;
- c) Por percolação ou capilaridade.

Para ser evitada, as infiltrações devem ser tratadas investigando o caminho de onde vem a água e o interrompendo, através de impermeabilização específica para o local, troca de tubulação defeituosa, dentre outros, a fim de evitar que os efeitos da infiltração criem outras manifestações patológicas.

2.2 Estudo de caso

2.2.1 O Edifício Andrea

O Edifício Andrea, localizado na Rua Tibúrcio Cavalcante, nº 2405, Bairro Dionísio Torres, zona Central de Fortaleza, Ceará, era um edifício residencial que contava com oito andares, sendo o último a cobertura, conforme se verifica na FIG. 2, que veio a desabar por completo no dia 15 de outubro de 2019. Seu desabamento deixou nove vítimas fatais e sete sobreviventes, que estavam dentro do edifício no momento em que desabou.

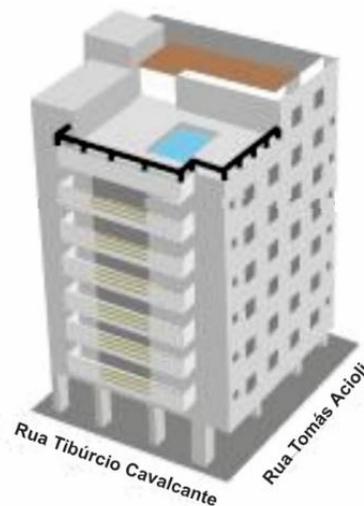
A edificação foi construída em 1982, mas só em 1995 teve seu registro regularizado pelos órgãos competentes. Durante sua vida, segundo Tavares (2019), o edifício raramente passava por vistorias para garantir a manutenção de sua estrutura, sendo as fiscalizações sempre adiadas. A primeira, por exemplo, estava marcada para 2015, mais de trinta anos após a sua construção, porém foi adiada para 2016 e posteriormente para 2017.

De acordo com moradores e autoridades competentes, antes do colapso o edifício apresentava grandes falhas estruturais e de manutenção preventiva. Durante sua queda, algumas lojas próximas ao imóvel acabaram sendo atingidas pela magnitude do acidente.

O edifício estava em reforma no dia do desabamento, sendo que a falta de apoio para os pilares comprometidos e a falta de estabilidade estrutural fizeram com que todo o peso exercido pela edificação sobrecarregasse os pilares, que estavam com armaduras expostas e com alto nível de corrosão.

Além disso, foi emitida pelo responsável da manutenção do edifício uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) cobrando um valor muito abaixo do que o necessário para tais reformas e recuperações estruturais. A empresa e o prestador de serviços não apresentaram nenhum relatório contendo tudo que seria executado e gasto.

Figura 2 – Representação tridimensional do Edifício Andrea



Fonte: Diário do Nordeste ¹. Adaptada pelos autores.

2.2.2 O estado da edificação

Conforme mencionado anteriormente, o edifício encontrava-se em situação estrutural precária e sem manutenção. Apresentava diversas patologias, como trincas, pilares com armaduras expostas e em alto nível de corrosão, como mostrado na FIG. 3. Além disso, ele não possuía os certificados de vistorias, que atestassem sua manutenção estrutural.

¹ diariodonordeste.verdemares.com.br

Figura 3 – Armaduras expostas dos pilares



Fonte: Tavares (2019). Adaptado pelos autores

Segundo Tavares (2019), era possível observar nitidamente que um recobrimento do aço estrutural havia sido feito em alguns pilares por meio da aplicação de uma camada de emboço, que não serve como material estrutural. O autor afirma ainda que tais pilares já tinham sofrido intervenções anteriores, onde o aço oxidado não passou por um tratamento adequado para cumprir a sua função naquele sistema estrutural. A FIG. 3, mostrada anteriormente, apresenta a situação de um dos pilares antes do colapso.

Neste aspecto, constata-se que os responsáveis pela manutenção do Edifício Andrea negligenciaram normas essenciais para edificações em concreto armado, como a ABNT NBR 6118:2014, ao manter o aço em alto nível de corrosão e aplicar revestimento com emboço onde deveria existir concreto para resistir aos esforços de compressão, e a ABNT NBR 5674:2012 – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção, que trata de manutenções habitacionais, bem como outras normas mencionadas no item 2.1.4.1.3. A empresa e o prestador de serviços contratados para a manutenção que ocorria no edifício no dia do desabamento, por sua vez, descumpriram as exigências da norma ABNT NBR 16280 – Reformas em edificações, cujas recomendações indicam que o edifício já apresentava situação de colapso estrutural e que deveria ter sido feita a evacuação do edifício.

Dentro deste contexto, pôde-se constatar que toda estrutura do condomínio estava em seu estado limite de esforços. De acordo com Tavares (2019), já havia falta de recobrimento do concreto que agiria na compressão, o que levou a uma redistribuição das tensões de compressão nos elementos estruturais. Segundo o autor, essa foi a falha responsável pelo colapso.

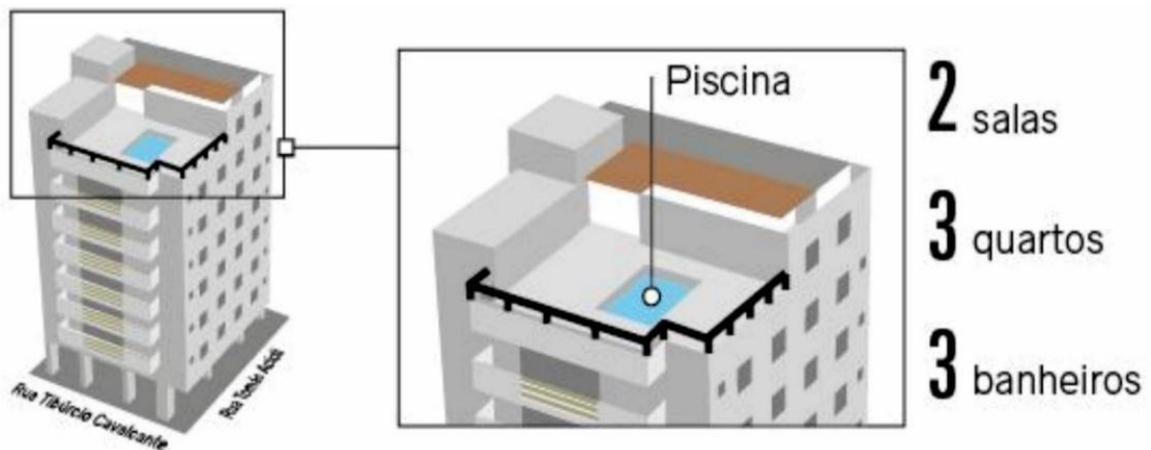
Além disso, diversas paredes do edifício apresentavam sinais de tratamento superficial das deformações. Havia trechos sem tratamento, sendo as manutenções feitas de forma inadequada, o que apontava para a necessidade de utilização de

técnicas e materiais mais propícios e confiáveis, com o intuito de evitar o desprendimento do concreto.

2.2.3 Intervenções feitas

Depois de finalizada sua construção, foi feito no Edifício Andrea um acréscimo de sobrecarga no pavimento de cobertura, conforme observado na FIG. 4, foram construídas duas salas, três quartos e três banheiros onde anteriormente era uma área aberta, sendo que a construção destes cômodos ocupou área de aproximadamente 60 m². Esta sobrecarga contribuiu para a redução do fator de segurança global da edificação. Neste aspecto, é de suma importância destacar que, para se fazer modificações na estrutura de um edifício, de maneira geral, deve-se também refazer o projeto estrutural e conferir a estabilidade estrutural da edificação, o que não ocorreu no Edifício Andrea.

Figura 4 – Modificações na cobertura do edifício



Fonte: Diário do Nordeste¹. Adaptada pelos autores.

Neste edifício, erros construtivos foram constatados, pois, conforme aponta Tavares (2019), o aço dos pilares estava com altos níveis de corrosão, o que se deve ao recobrimento da armadura feito de maneira equivocada no momento de sua construção. Além disso, foi constatado também que a perda da seção dos pilares foi um dos fatores fundamentais para o desabamento, uma vez que eles tiveram sua resistência à compressão comprometida pela alteração da distribuição das cargas estruturais. Ademais, existiam tratamentos superficiais de deformação, como na execução do emboço, que apresentava falhas em toda a edificação e estava se deteriorando, conforme se observa na FIG. 5.

Figura 5 – Intervenção feita nos pilares



Fonte: Tavares (2019). Adaptada pelos autores.

2.2.4 Diagnóstico do desabamento

Segundo Tavares (2019), o desabamento do Edifício Andrea não foi provocado por um único motivo, mas por uma combinação de causas que, ao se sobreporem, levaram a edificação residencial à ruína.

Entende-se que a estrutura entrou em colapso estrutural sobretudo pelo esgotamento da capacidade resistente de seus pilares, o que caracteriza o atingimento de um dos estados-limites últimos estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014, uma vez que a condição explicitada no item 2.1.1 deixou de ser válida. Em outras palavras, os esforços solicitantes (S_d) superaram os esforços resistentes da estrutura (R_d).

Uma vez que a construção do edifício ocorreu no ano de 1985, 33 anos antes de seu desmoronamento, pode-se admitir que, durante a vida da construção, a condição de dimensionamento ao estado-limite último supracitada deixou de ser satisfeita. Ademais, existem duas formas para que isto aconteça, o acréscimo dos esforços solicitantes ou a diminuição da capacidade resistente. Desta forma, no desabamento do prédio, infere-se que ambos ocorreram, conforme se detalha nos tópicos a seguir.

2.2.4.1 Acréscimo dos esforços solicitantes

O aumento da solicitação dos elementos estruturais do Edifício Andrea durante sua vida foi devido a:

- a) Sobrecarga devido à construção de elementos não previstos em projeto: a reforma realizada na cobertura do edifício, em que foram executados diversos cômodos que não estavam previstos no projeto original;
- b) Ações de construção: a realização da reformulação da cobertura ainda provocou cargas referentes à execução que também não foram levadas em consideração na elaboração do projeto.

2.2.4.2 Diminuição da capacidade resistente

Para o comprometimento da capacidade resistente dos pilares da edificação, pode-se ressaltar diversas manifestações patológicas:

- a) Corrosão da armadura: a oxidação das armaduras dos pilares observadas e ressaltadas por Tavares (2019), fenômeno que compromete a resistência do material;
- b) Segregação dos materiais do concreto: os pilares possuíam segregação profunda dos materiais, expondo a armadura, aumentando sua oxidação, e comprometendo a solidariedade entre o concreto e o aço do elemento estrutural;
- c) Observação do cobrimento de emboço ao invés de concreto: devido à segregação do concreto do pilar e seu deslocamento, foi observada a realização de cobrimento das armaduras dos pilares com emboço onde deveria haver cobrimento de concreto de ao menos dois centímetros, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, o que mostra que intervenções foram realizadas anteriormente ao desabamento de forma incorreta.

2.2.4.3 Evento definidor do desabamento

Mesmo com a diminuição da capacidade resistente e aumento da carga solicitante pelos motivos descritos anteriormente, os pilares do edifício ainda não haviam atingido seu estado-limite último, que só veio a ocorrer através de mais um evento.

Ciente do estado de deterioração dos pilares, a administração do Edifício Andrea contratou uma empresa prestadora de serviços para que fosse feita a

manutenção dos elementos deteriorados. No entanto, segundo Tavares (2019), o serviço prestado não seguiu os procedimentos mínimos para evitar o colapso da edificação.

Foi adotada pela empresa prestadora de serviços uma metodologia construtiva incorreta, não sendo executado o devido escoramento ou reforço estrutural para que pudesse ser realizado o recobrimento dos pilares, diminuindo ainda mais a capacidade resistente e provocando cargas de construção sobre os já comprometidos elementos de suporte. Assim, os pilares atingiram o estado-limite último, comprometendo a integridade estrutural da edificação e culminando no evento foco deste trabalho: o desabamento do Edifício Andrea.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, realizou-se revisão bibliográfica acerca de elementos relevantes no processo de desabamento de um edifício de concreto armado, como método dos estados-limites, ações, combinações de ações e patologias em edifício em concreto armado. Em seguida, elaborou-se estudo de caso a respeito do desabamento do Edifício Andrea.

Constatou-se que houve grandes negligências durante a vida da edificação supracitada. Segundo a vistoria feita por Tavares (2019), o mesmo apresentou as causas que levaram ao colapso da edificação. Nesta análise, foi confirmada que a edificação já estava fadada ao desabamento, pois seus pilares de sustentação apresentavam alto índice de corrosão, fazendo com que toda a estabilidade do edifício estivesse comprometida.

Na mesma análise, pôde-se confirmar que a empresa que prestava serviço no prédio não seguiu os procedimentos mínimos de uma manutenção correta e segura. Os responsáveis pela edificação negligenciaram as manutenções necessárias como escoramento dos pilares, laudos apresentando os materiais e técnicas usadas na manutenção, falta de fiscalização da prefeitura que são necessárias para as realizações de correções quando necessitadas.

Outra constatação importante foi a emissão de uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) pelo responsável pela manutenção, cobrando um valor muito abaixo daqueles comumente praticados para este tipo de serviço, demonstrando falta de qualidade do serviço e desacordo com a normatização técnica.

Assim, ratifica-se a extrema importância de que todas as análises sejam repassadas aos órgãos capacitados, para que todas as obras em nível nacional apresentem laudos, ART dos responsáveis, fiscalizações e cumprimento das normas técnicas, visando sempre garantir a segurança na reforma ou construção, tranquilizar e assegurar a vida dos moradores.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14037**. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2014a.

_____. **NBR 14931**. Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15575**. Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 16280**. Reformas em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 5674**. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6123**. Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 8681**. Ações e seguranças nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Dunas, 2010, v.1, 3.ed.

_____. **Curso de concreto armado**. Rio Grande: Dunas, 2014, v.2, 4.ed.

BOTELHO, M. H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Blucher, 2015, v.1, 8.ed.

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: Ed. Pini, 1988. 522 p.

TRINDADE, D. S. **Patologia em estruturas de concreto armado**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

NORDESTE, DIÁRIO DO. **Perícia divulga 5 fatores que contribuíram para queda do Edifício Andrea**. Disponível em:

<<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/seguranca/pericia-divulga-5-fatores-que-contribuiram-para-queda-do-edificio-andrea-1.2204933>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ERNICA, Daniel Henrique. **Impermeabilização em viga baldrame: infiltração por capilaridade**. Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário Toledo, 2017.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. Dissertação de Pós-Graduação, 2005.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo. 2 ed. IBRACON, 2010.

LOTTERMANN, A. F. **Patologias em estruturas de concreto: estudo de caso**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

PIANCASTELLI, Élvio Mosci. **Patologia e terapia das estruturas: Sintomas e causas das enfermidades**. Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2014.

SÁLES, J. J.; MALITE, M.; GONÇALVES, R. M. (2004). **Segurança nas estruturas**. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. (Notas de aula da disciplina "SET-403 – Sistemas Estruturais").

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

TAVARES, A. L; **Análise de desabamento do condomínio do Edifício Residencial Andrea**. Laudo Técnico, Fortaleza, 2019.