

PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE UM EDIFÍCIO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO INCENDIADO

Marcelo de Queiroga Alencar Ribeiro¹

Romilde Almeida de Oliveira²

Marcelo Lima Silva³

RESUMO

A proteção da vida humana e bens torna de elevada importância a realização de projetos de prevenção e combate a incêndio e pânico a fim de evitar vítimas fatais e perdas patrimoniais. A geração de fumaça e de gases tóxicos, a redução da quantidade de oxigênio disponível e o calor desenvolvido em estágios mais avançados são fatores característicos que oferecem risco à vida humana, em um incêndio. A ABNT NBR 15200:2012, tem por principal objetivo que as estruturas, em situação de incêndio, tenham desempenho que permita às vítimas serem resgatadas e evacuadas de forma adequada. O concreto armado é um material composto por diversos constituintes possuindo diferentes características ao reagirem com o fogo, o que torna o efeito bastante complexo. Pode-se obter uma noção desses comportamentos através da análise da estrutura e das propriedades dos seus constituintes, bem como da relação entre eles. É importante o conhecimento das patologias assim como as possíveis técnicas de reforço e recuperação dependendo das análises efetuadas nas inspeções técnicas realizadas, para se aplicar as devidas soluções. O concreto possui propriedades relevantes quanto à resistência ao fogo. A estrutura pode resistir por bastante tempo em caso de incêndio, mantendo diferentes níveis de resistências dentro de valores toleráveis.

Palavras-Chave: Incêndio, concreto armado, manifestações patológicas, alta temperatura, recuperações

¹ Posgraduando em Inspeção Manutenção e Recuperação de Estruturas, Engenheiro Civil
Email: engmarceloqar@gmail.com

² Professor Titular, Doutor, Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP Email: romildealmeida@gmail.com

³ Mestre em Engenharia Civil PPGEC UNICAP, Engenheiro Civil, Capitão do Corpo de Bombeiros – PE. Email: marcelo.lima@bombeiros.pe.gov.br

PATHOLOGY AND RECOVERY OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING BURNED

ABSTRACT

The protection of human life and property, makes it highly important to carry out firefighting projects in order to reduce casualties and property losses. The generation of smoke and toxic gases, reducing the amount of available oxygen and the heat developed in more advanced stages are characteristic factors risky for human life in a fire. ABNT NBR 15200:2012, has the main objective that the structures in fire situation, have performance to enable the victims being rescued and evacuated properly the building. The concrete is a material composed of several components having different characteristics by reacting with the fire, which makes the effect quite complex. One can get a sense of this behavior by analyzing the structure and properties of its constituents, and the relationship between them. It is important knowledge of the conditions as well as the possible reinforcement techniques and recovery depending on the analysis submitted in the technical inspections before, to take the necessary solutions. For such properties the concrete has several relevant aspects, fire resistance, because the structure can spend enough time resisting high temperatures in case of fire, keeping different resistance levels within tolerable values.

Keywords: Fire, reinforced concrete, pathological manifestations, high temperature, recoveries

Artigo recebido em 04/08/16 e Aceito em 15/10/16.

1 INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio tem como principal finalidade a proteção à vida. Por isso é primordial a realização de projetos de prevenção e combate a incêndio e pânico, a fim de reduzir vítimas fatais e perdas patrimoniais. Não só basta identificar o possível dano à propriedade devido ao fogo, mas, por motivos econômicos, é necessário avaliar a extensão do dano que pode ser considerado tolerável, objetivando otimizar os custos com dispositivos de segurança.

Um sistema de segurança contra incêndio consiste em um conjunto de meios ativos (extintores, rede de hidrantes, detectores automáticos de calor ou fumaça, sistema de chuveiros automáticos, sistema de exaustão de fumaça, brigada contra incêndio, etc.) e meios passivos (verificação de segurança das estruturas em situação de incêndio, rotas de fugas, incluindo escadas de segurança desobstruídas, bem dimensionadas e sinalizadas, compartimentação horizontal e vertical, uso de materiais de revestimento que minimizem a propagação das chamas, projeto de instalações elétricas respeitando as normas técnicas, etc.).

Historicamente as regulamentações relativas a segurança contra incêndio, só receberam maiores atenções após as ocorrências de grandes tragédias, das quais foram retiradas lições que mostraram a necessidade do aperfeiçoamentos das regulamentações que forneceram subsídios para melhores condições de projetos. O quadro 1 mostra alguns casos de incêndio com vítimas fatais. (PORTAL G1, WWW, 2013)

No Brasil, a segurança contra incêndio é atribuição dos estados. Além das normas técnicas brasileiras devem ser respeitadas as regulamentações estaduais estabelecidas pelo Corpo de Bombeiros.

Quadro 1: Alguns casos de incêndios em edificações em concreto armado no Brasil

| Incêndio | Ano | Localização | Nº de mortes |
|--------------------|------------|--------------------|---------------------|
| Ed. Joelma | 1974 | São Paulo, SP | 179 |
| Lojas Renner | 1976 | Porto Alegre, RS | 41 |
| Ed. Andorinha | 1986 | Rio de Janeiro, RJ | 23 |
| Ed. Grande Avenida | 1981 | São Paulo, SP | 17 |
| Ed. Andraus | 1972 | São Paulo, SP | 16 |
| Boate Kiss | 2013 | Santa Maria, RS | 231 |

Devem ser atendidas as normas de projeto de estruturas em situação de incêndio: ABNT NBR 14323:2013 (aço), ABNT NBR 15200: 2012 (concreto) e ABNT NBR 7190:2012 (madeira). As normas brasileiras para estruturas de concreto ou para aço incluem formulações ou tabelas para dimensionamento simplificado em situação de incêndio. Além de fornecerem elementos para que se possam desenvolver procedimentos mais avançados.

Conhecer a evolução do problema, estudar as causas, fornecer informações para os trabalhos de reparo e manutenção além de contribuir para o entendimento do processo de produção minimizando a incidência total de problemas, fazem parte do estudo das patologias. Segundo Helene (1992, apud, MORALES, *et al*, 2011), patologia é a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

As patologias podem ter origens congênitas, construtivas, adquiridas ou acidentais como são nos casos de incêndio.

O processo de degradação no concreto armado ocorre quando há uma transformação dos materiais ao interagirem com o meio ambiente, afetando a durabilidade e reduzindo a vida útil da estrutura.

A preocupação com a estabilidade das estruturas incendiadas requer uma

inspeção detalhada, a fim de sugerir soluções de reforço ou recuperações para cada caso específico. Deve ser considerada a importância da proteção contra incêndios nas edificações, como também a manutenção dos equipamentos de segurança.

O objetivo do presente trabalho é apresentar as frequentes patologias manifestadas nas estruturas de concreto armado decorrentes da ação do fogo.

Como metodologia foi efetuada uma ampla revisão bibliográfica da qual resultaram: as análises das fases de um incêndio, os mecanismos de propagação do fogo, considerações sobre proteção ativa e passiva, os parâmetros empregados nos projetos de proteção contra incêndio, o comportamento do concreto armado em alta temperatura e as manifestações patológicas resultantes. Por fim é apresentado um estudo de caso onde foram aplicados alguns conceitos aqui tratados.

2 INCÊNDIO

Como definição para a palavra “incêndio”, tem-se que a ABNT NBR 13860 considera o incêndio como o fogo fora de controle, nesse tom, a norma ISO 8421-1, ao definir o mesmo termo, afirma que o incêndio é “a combustão rápida disseminando-se de forma descontrolada no tempo e no espaço”. (ABNT, 1997 e IOFS, 1987)

Esses conceitos deixam claro que o incêndio não é medido pelo tamanho do fogo.

Alguns fatores influenciam para o início e o desenvolvimento dos incêndios, podendo-se citar: dimensões do local, materiais combustíveis envolvidos, quantidade do material combustível incorporado, abertura de ventilação do ambiente, medidas de prevenção contra incêndio, dentre outros. Não existem dois incêndios iguais.

O início do incêndio é o surgimento de um foco a partir da interação dos materiais combustíveis existentes no interior do edifício e dos materiais combustíveis integrados ao sistema construtivo. Caso haja uma oxigenação do ambiente através de comunicações diretas ou indiretas com o exterior, o fogo irá progredir atingindo o estágio de inflamação generalizada. Grande quantidade de fumaça e gases são gerados e os materiais combustíveis do ambiente, aquecidos por convecção, radiação e condução, inflamar-se-ão conjuntamente. O fogo, então, atingirá rapidamente a sua máxima severidade.

Através dos mecanismos de radiação, convecção e condução a propagação do incêndio ocorrerá, provocando uma incidência maior de fluxos de calor nas fachadas. Somente quando a grande parte dos materiais combustíveis forem consumidos é que o fogo entrará no processo de extinção.

O fluxo de calor por convecção é gerado pela diferença de densidade entre os gases do ambiente em chamas. Os gases quentes são menos densos e tendem a ocupar a atmosfera superior, enquanto os gases frios, de densidade maior, tendem a se movimentar para a atmosfera inferior do ambiente. Esse movimento gera o contato entre os gases quentes e as estruturas, transferindo calor.

A radiação é um processo de transferência de calor, na qual há uma propagação de ondas, de um foco de fogo para a superfície de um corpo com temperatura mais baixa. Quando a superfície aquecida do elemento estrutural gera um fluxo de calor na direção do interior do elemento, aquecendo-o, essa transferência de calor chama-se condução. O fluxo de calor radiante e convectivo atua também sobre os elementos de vedação (lajes, paredes, portas, etc.), que devem ter resistência ao fogo suficiente para impedir a propagação do incêndio.

Para proteção a situações de incêndio pode-se citar, extintores, rede de hidrantes, detectores automáticos de calor ou fumaça, sistema de chuveiros

automáticos, sistemas de exaustão de fumaça e brigada contra incêndio. Isso consiste na proteção ativa, pois ela tem a intenção da rápida detecção do incêndio, isso alertar os usuários do edifício para a desocupação imediata e às ações de combate com segurança.

A compartimentação da edificação, rotas de fuga, escadas de segurança são medidas de proteção passiva fundamental para evitar a propagação, minimizando as consequências do incêndio. Os elementos de construção têm a propriedade de resistir à ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua segurança estrutural (estabilidade e integridade), estanqueidade a gases e chamas e isolamento térmico.

Existem várias fases identificadas em um incêndio. Consideram-se três fases: ignição, aquecimento (aumento de temperatura) e resfriamento (diminuição de temperatura). O período de maior crescimento da temperatura em um incêndio ocorre no período seguinte ao “flashover”, ponto esse onde todo material orgânico existente no ambiente entra em combustão espontânea. Porém, se a edificação tem medidas de combate a incêndio eficientes para extinguir o fogo antes do “flashover”, a segurança da estrutura será pouco afetada. (SILVA, 2012)

2.1 Exigência de resistência ao fogo

Uma estrutura, em situação de incêndio, é considerada segura quando possui capacidade para suportar, sem colapso, os esforços, considerando-se a redução de resistência dos materiais estruturais devido à exposição a altas temperaturas.

O aço e o concreto, assim como outros materiais estruturais, quando submetidos a altas temperaturas sofrem redução de resistência à tração quanto a compressão (figura 1, 2) e de módulo de elasticidade (rigidez) .

A curva apresentada na figura 3 é conhecida como “curva-padrão” ou “incêndio-padrão” ela foi adotada como modelo para a análise experimental de estruturas, materiais de revestimento contra fogo, portas corta-fogo.

Figura 1 - Redução da resistência à tração em função da temperatura (Adaptação, Silva, 2012).

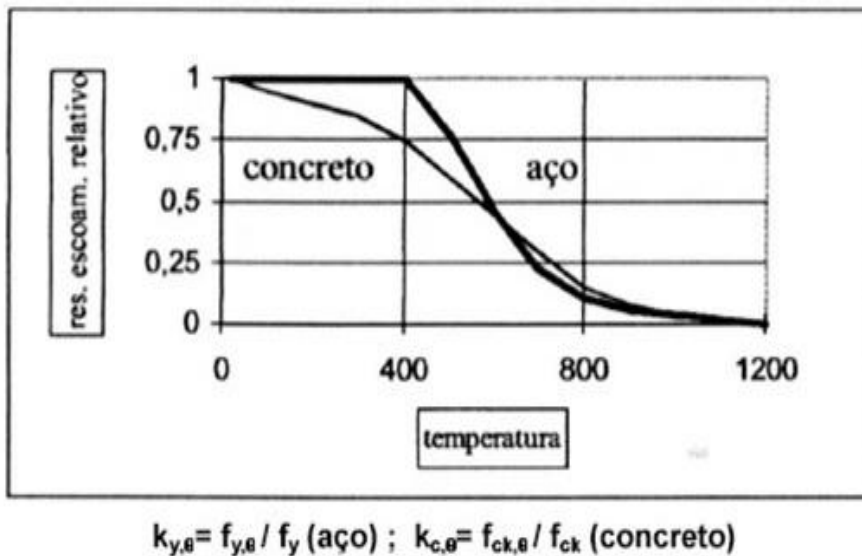


Figura 2 Redução da resistência à compressão do concreto em função da temperatura (Adaptação, NEVILLE, 2011)

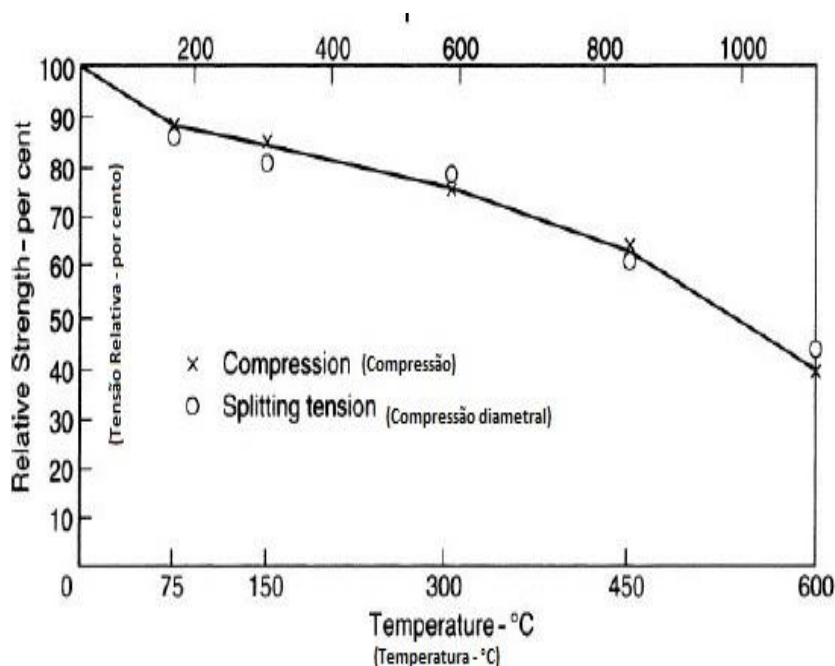
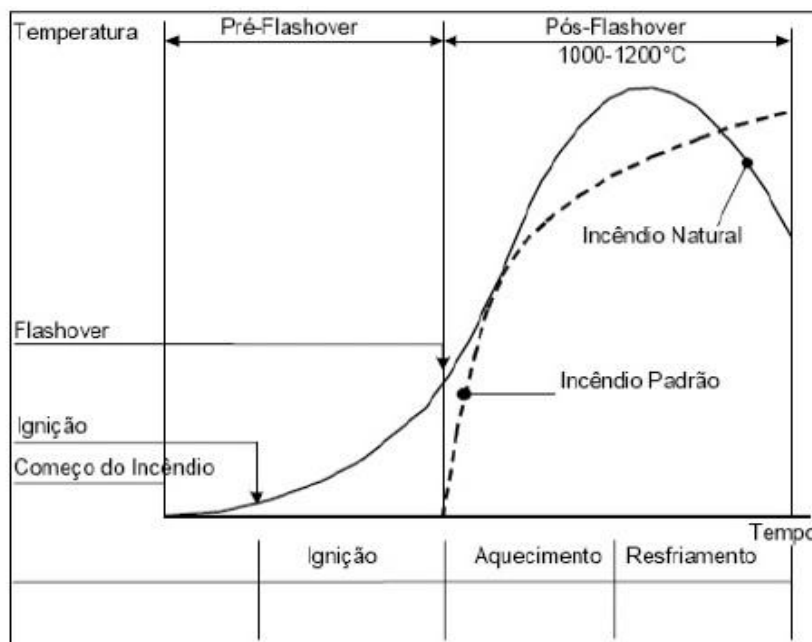


Figura 3 – Fases de um Incêndio natural comparado ao incêndio-padrão (ISO 834,1994)



Por motivos do risco de incêndio nas edificações foi avaliado o tempo conhecido por “tempo requerido de resistência ao fogo” (TRRF) das estruturas e é estabelecido em normas. A partir desse tempo, é possível determinar-se a temperatura na estrutura e, assim, dimensioná-la. O TRRF é um tempo que, associado à curva-padrão, também fictícia, supõe-se conduzir à máxima temperatura no elemento.

Segundo a ABNT NBR 14432:2001, o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) é o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão. A resistência ao fogo é a propriedade de um elemento de construção resistir à ação do fogo por determinado tempo. (ABNT, 2001)

Tendo a ABNT NBR 15200:2012 (estruturas de concreto), como principal objetivo que as estruturas tenham um desempenho significativo que permitam

às vítimas serem resgatadas e evacuadas de forma segura. (ABNT, 2012)

3 Comportamento e Manifestações Patológicas no Concreto Armado em Temperaturas Elevadas

O concreto armado é um material composto por diversos constituintes possuindo diferentes características ao reagirem com o fogo, o que torna o efeito bastante complexo. A estrutura do concreto é altamente heterogênea, dificultando o estabelecimento de modelos exatos que permitam estimar, com segurança, como será o seu comportamento frente a algumas ações. No entanto, pode-se obter uma noção desses comportamentos através da análise da estrutura e das propriedades dos seus constituintes, bem como da relação entre eles. Em termos visuais, uma amostra de concreto pode ser identificada como sendo composta por partículas de rocha com formas e tamanhos variados, distribuídas em um meio ligante, constituído de uma massa contínua de pasta endurecida. Ou seja, pode-se considerar o concreto como um material bifásico, formado por partículas de agregados dispersas em uma matriz cimentícia. (LIMA, *et al*, 2004)

Os efeitos decorrentes da elevação da temperatura sobre o concreto armado segue esquematicamente abaixo:

Até 80 °C – processo físico-químico estável.

Até 300 °C – Evaporação das águas livres nos interstícios, reduzindo as forças de Vander Walls entre as camadas de C-S-H. Início da perda de resistência e aparecimento de fissuras.

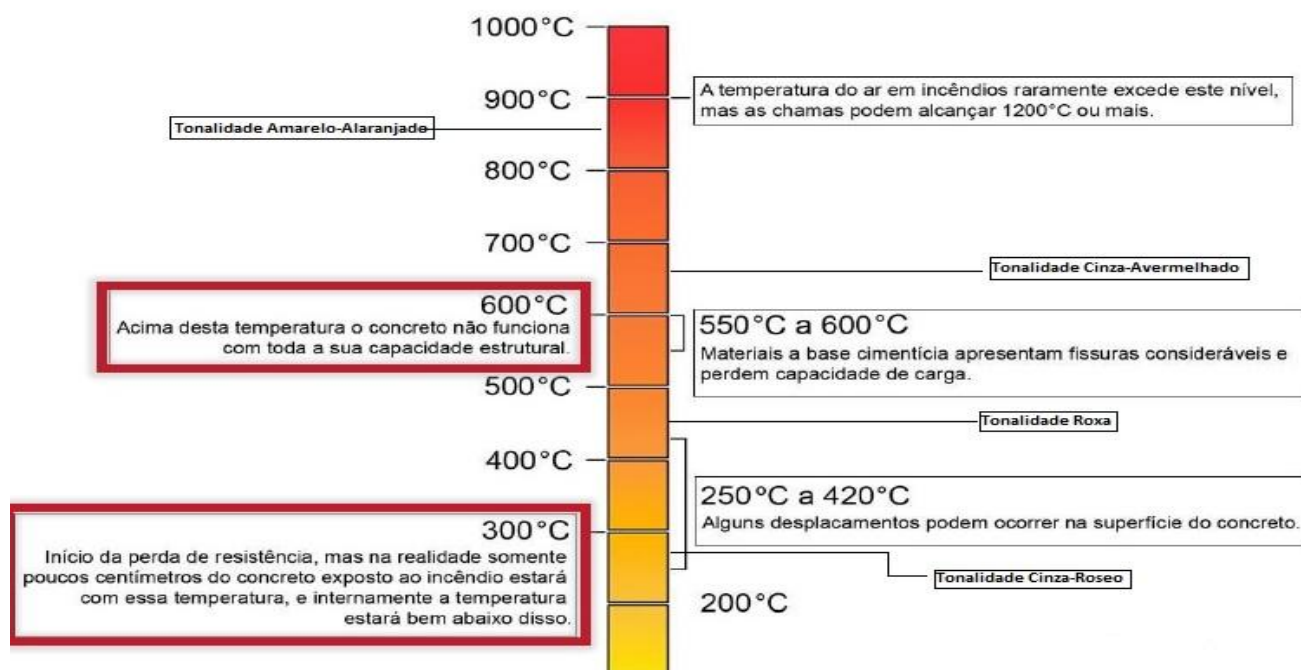
De 400 °C a 600 °C - Provoca dessecação dos poros seguida de decomposição dos produtos de hidratação e destruição do gel de C-S-H. A reação endotérmica da desidratação do hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ libera o

óxido de cálcio CaO e água, contribuindo para o aparecimento de fissuras consideráveis e a perda da capacidade de carga.

Acima de 600 °C – O concreto não trabalha com toda a sua capacidade estrutural. (BRITTEZ, 2011)

A cor do concreto varia à medida que a temperatura aumenta, assim, a partir de aproximadamente 300 °C, a cor do elemento estrutural começa a sofrer alteração de tonalidade. Até atingir cerca 600 °C a tonalidade varia de tons róseos a vermelho, devido à alteração dos compostos de ferro. Acima de 600 °C a tonalidade varia de cinza-avermelhado a amarelo-alaranjado (figura 4). (MORALES, *et al*, 2011)

Figura 4 – Comportamento do concreto armado em alta temperatura (adaptação, BRITTEZ, 2011)



Nos agregados, o calor provoca expansão que pode ser destrutivo para o concreto. Isso ocorre porque os agregados ocupam volume entre 60 e 80 % do concreto. Quanto à condutividade térmica, no basalto, é baixa; nos calcários, calcítico e dolomítico é média e o quartzo possui uma condutividade mais elevada. A condutividade térmica quantifica a habilidade dos materiais de conduzir calor. Materiais com alta condutividade térmica conduzem calor de forma mais rápida que os materiais com baixa condutividade térmica. Desta maneira, materiais com alta condutividade térmica são utilizados como dissipadores de calor e materiais de baixa condutividade térmica são utilizados como isolamentos térmicos. (ABNT, 2001)

O resfriamento rápido pela ação da água, no combate ao incêndio, produz uma reidratação destrutiva da cal, porque o óxido de cálcio quando entra em contato com a água sofre uma expansão abrupta. Poderá causar prejuízos adicionais ao concreto endurecido, levando à desagregação após o incêndio. A adição de pozolana à pasta pode ser benéfica por retirar o hidróxido de cálcio. A adição de fibras poliméricas para aliviar as pressões de vapor, comuns em pastas pozolânicas, pode impedir uma desagregação precoce e explosiva do concreto. Assim pode ser considerada como senso comum a noção de que a elevada resistência ao fogo é uma das vantagens essenciais dos elementos de concreto, quando comparados aos demais elementos estruturais, principalmente os fabricados com aço. Convém evidenciar que, embora o concreto apresente uma redução de sua capacidade estrutural quando da exposição a temperaturas elevadas, o mesmo normalmente resiste à ação do calor, por um tempo considerável, sem chegar ao colapso. (MORALES, *et al*, 2011 e NEVILLE, 2011)

Devido à ação do fogo e conseqüentemente à elevada temperatura na estrutura de concreto armado ocorrem várias conseqüências patológicas. Dentre elas, lascamento (spalling), delaminação gradual (sloughing), calcinação superficial, esfarelamento e fissuração.

Lascamento, conhecido como “spalling”, é o destacamento de pequenas placas de forma abrupta e violenta que costumam ocorrer a temperaturas entre 250 e 400 °C, ou seja quando as partículas de água existentes nos interstícios do concreto entram no estado de vapor, provocando o desprendimento do concreto das armaduras. Sua manifestação é mais frequente em concretos que apresentam alta permeabilidade facilitando a evaporação (figura 5).

Delaminação gradual (sloughing) é o efeito progressivo do lascamento, pois libera novas camadas de concreto à exposição das camadas, conduzindo a novos descascamentos sucessivos e o aumento da perda de aderência entre a armadura e o concreto (figura 6).

Calcinação superficial do concreto é a transformação do calcário (CaCO_3) existente na sua composição química em óxido de cálcio (CaO), devido a ação da alta temperatura. A Calcinação influencia na resistência mecânica do concreto, deixando a armadura interna susceptível a ataques corrosivos e expostos ao fogo (figura7).

Figura 5- Lascamento (spalling).

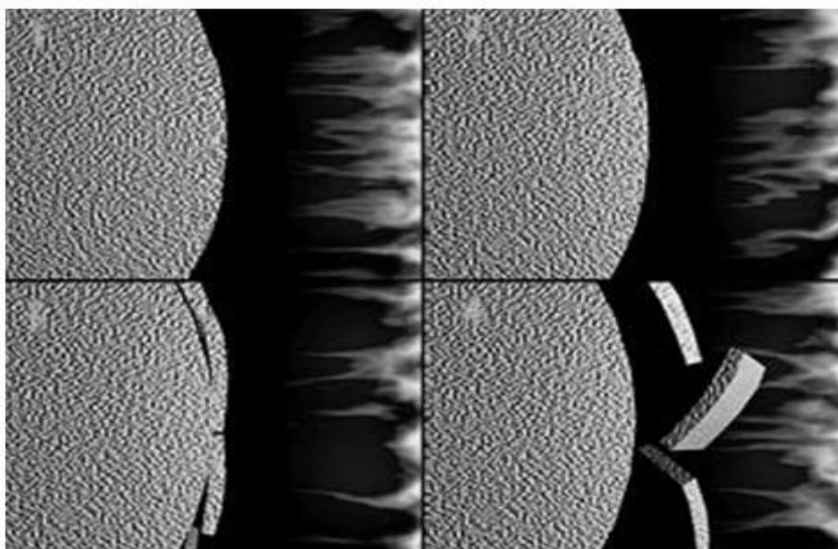


Figura 6- Delaminação gradual (sloughing).

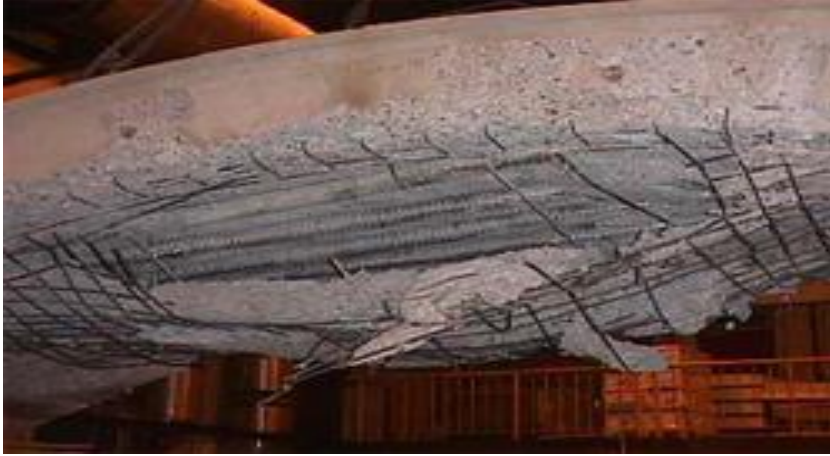


Figura 7- Calcinação Superficial do Concreto.



Outra forma de deterioração é a ocorrência de esfarelamento superficial decorrente da ação da alta temperatura sobre a parte carbonatada do concreto e a fissuração proveniente da evaporação de água interna no concreto e a dilatação térmica dos componentes.

Os incêndios de matérias biodegradáveis, existentes em edifícios, geralmente não chegam a temperaturas que possam causar fusão do aço. Apresentam temperaturas suficientes para aquecer a região periférica da estrutura de concreto a ponto de reduzir, significativamente, a resistência.

Diante da baixa condutividade térmica do concreto, os efeitos da ação

térmica ficam inerentes às camadas externas dos elementos estruturais, onde as armaduras estão alojadas.

A altas temperaturas fazem com que o aço sofra efeitos de fluência, redução da resistência e do módulo de elasticidade.

Outro fator é a diminuição da aderência entre as barras de aço e concreto em função do aumento da temperatura. Ensaio realizados com corpos de provas aquecidos em fornos elétricos até um patamar de temperatura por 30 minutos no interior do forno e com resfriamento natural após esse período observaram que a degradação térmica da aderência é quase nula até os 200° C, sendo crescente até os 400° C, mais gradual até os 600 °C e chega a valores quase que definitivos acima dos 800 °C (CAETANO, 2008).

Normalmente os incêndios não chegam a temperaturas que possam causar a fusão do aço (aproximadamente 1550° C). As máximas temperaturas alcançadas aproximam-se dos 1200° C. (SILVA, 2015)

4 PROCEDIMENTOS PARA INSPEÇÃO E RECUPERAÇÕES EM ESTRUTURA DANIFICADA PELA AÇÃO DO FOGO

Ao se verificar que uma estrutura de concreto armado está danificada, isto é, que apresenta problemas patológicos, torna-se necessário efetuar uma vistoria detalhada e planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura. Devem ser avaliados os danos existentes, suas causas, e as respectivas providências a serem tomadas conforme métodos a serem adotados para recuperação ou reforço.

A fase de levantamento de dados, em uma estrutura incendiada, é extremamente delicada, sendo capaz de caracterizar com o máximo de rigor a necessidade ou não de adoção de medidas especiais. Na segunda etapa, verificar se há necessidade de realizar exames como: uso de percussão,

verificação do PH, verificação de porosidade, etc. Na terceira etapa, deve-se verificar se houve modificação das resistências mecânicas do concreto através de ensaios, como ensaios esclerométricos, retirada de testemunhos, ensaios de ultrassom e outros.

Sabendo-se que a finalidade dos exames é compreender qual foi o real prejuízo para a estrutura, qual a necessidade de reforço e estabelecer, a partir daí, o melhor método para garantir a recomposição e durabilidade da estrutura comprometida.

A seguir, um possível procedimento de inspeção que pode ser considerado para um caso de estrutura incendiada:

- Inspeção visual;
- Ensaio de carbonatação;
- Ensaio de esclerometria;
- Ensaio de ultrassom (uniformidade e módulo de deformação do concreto);
- Resistência do aço (resistência ao escoamento e resistência à ruptura à tração)
- Resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto (corpo de prova extraído– ABNT NBR 5739:99). (ABNT, 1999);
- Deslocamento de componentes estruturais;
- Avaliação do alcance das fissuras do revestimento;
- Monitoramento das aberturas das juntas;
- Mapeamento das fissuras e medida do deslocamento do edifício.

O diagnóstico depende de fatores econômicos, técnicos, de segurança e de conforto, podendo levar a análises a conclusões diversas, inclusive em casos extremos, à demolição da estrutura. A relação custo-benefício pode indicar a

viabilidade ou não de efetuar reparos ou reforço, em virtude da gravidade e extensão dos danos e do alto custo envolvido. No entanto, a finalidade dos exames é compreender qual foi o real prejuízo para a estrutura, qual a necessidade de reforço e estabelecer, a partir daí, o melhor método para garantir a recomposição e durabilidade da estrutura que foi comprometida.

Após a análise da estrutura e sua condição de segurança e estabilidade, quando ainda existe a possibilidade de reparo pode-se considerar algumas ações corretivas dependendo do caso, dentre elas:

- Escoramento;
- Reparo com grout ou micro-concreto fluido;
- Reparo com argamassa de forma manual;
- Reforço com adição de armadura e concreto projetado;
- Reforço com chapas metálicas ou perfis metálicos;
- Recuperação do monolítico com injeção epóxi;

Os locais encontrados com calcinação devem ser removidos e posteriormente verificados as características mecânicas do concreto e do aço nas áreas envolvidas e próximas, para garantir a homogeneidade das peças estruturais. (DE SOUZA e RIPPER, 1998)

Nas lajes, onde houver deformações excessivas e perda de resistência da armadura, aplica-se nova armadura de reforço, utilizando-se geralmente, tela de aço soldadas, fixadas com pinos e equipamentos especiais. Dependendo do estado de deformação, é necessário efetuar um reforço estrutural também nas armaduras negativas. Nesse caso, deve-se remover todo o revestimento do piso, até atingir a camada de concreto homogênea e resistente.

Nos pilares, deve-se retirar todo material calcinado e recompor com produtos químicos de alta resistência tipo epóxi ou grout, por encamisamento.

Também se pode utilizar o composto filamentososo de fibra de carbono.

Nas vigas, deve-se a tratar o concreto superficial fissurado por substituição de concreto projetado. Quando houver dano nas armaduras, recomenda-se a substituição das barras deterioradas, pela utilização de chapas metálicas. (VALENTE, 2014)

5 AVALIAÇÃO DE COMPROMETIMENTO ESTRUTURAL EM UMA EDIFICAÇÃO INCENDIADA.

Para realizar um estudo de caso acerca das patologias, analisa-se um estabelecimento comercial sinistrado pelo fogo, localizado na Região Metropolitana do Recife, composta por dois pavimentos, estruturados de concreto armado, lajes e vigas pré-moldadas e telhados de fibrocimento. A edificação sediava uma loja de colchões. O incêndio consumiu todo estoque prejudicando toda a estrutura.

O procedimento de inspeções realizados foram: inspeção visual, ensaios de esclerometria, ensaio de carbonatação, extração de testemunhos para ensaios de resistência a compressão, medições das deformações através de trena a laser em linhas cruzadas e a utilização do programa computacional FTOOL para a determinações dos esforços solicitantes.

Através das análises, foram obtidos vários resultados para compreender o prejuízo real da estrutura. Os ensaios de compressão do corpo de prova dos testemunhos mostraram uma resistência de 20 Mpa, e foi percebido que a região afetada pela ação do fogo foi menor que dois milímetros de espessura dos elementos expostos, e nas regiões com revestimento argamassado foi ainda menor (figura 8). Com a análise estrutural realizada pelo programa computacional FTOOL, concluiu-se através dos diagramas de esforços que as

capacidades resistentes das vigas e pilares eram suficientes para suportar as ações. Nas armações foram verificadas as necessidades de receber tratamento de limpeza e proteção contra corrosão.

Figura 8- Testemunho de viga com revestimento argamassado pouco afetado pelo fogo.



Mesmo a edificação tendo sofrido a ação do fogo, ainda apresentou capacidade resistente para suportar as novas cargas de utilização comercial, excetuando a laje do primeiro piso, pois a armadura sofreu bastante com a ação de carbonatação.

Tendo em vista todas essas situações foi indicada algumas soluções para recuperação da estrutura, por exemplo: demolição da laje do primeiro piso; retirada do cobrimento das peças de concreto; limpeza das armaduras com escova de aço até a retirada do resquício da carbonatação, partes não aderidas e poeira; refazer a laje demolida; utilização de grout ou concreto aditivado de 35 Mpa para reparo das peças estruturais com cobrimento de quatro centímetros.

Imagem abaixo mostra os danos ocorridos a situação e o prejuízo do estabelecimento comercial afetado pela ação do fogo, sem sistemas de

segurança contra incêndio (figuras 9, 10) (PIRES SOBRINHO, 2013).

Figura 9 - Estrutura interna danificada armaduras expostas.



Figura 10 - Viga central danificada armaduras expostas.



6 CONCLUSÕES

O concreto, além da redução da resistência, perde área resistente por causa do lascamento e delaminações graduais, decorrente do comportamento a altas temperaturas dos materiais componentes do concreto e da pressão

interna da água ao evaporar-se, como também ocorre a redução a área resistente do concreto e expõe a armadura.

As patologias decorrentes de um incêndio abreviam a vida útil da edificação sinistrada. As suas identificações são de grande importância para a reabilitação do imóvel. Porém, as estruturas em concreto possuem elevada resistência ao fogo, pois passam tempo elevado resistindo a altas temperaturas, mantendo diferentes níveis de resistência, dentro da tolerância.

Apesar da redução das propriedades mecânicas do concreto e do aço em função da temperatura, é importante frisar que a estrutura em concreto armado possui uma elevada resistência ao incêndio. Assim, edificações com os sistemas de proteção contra incêndio feitos de maneira responsável, podem garantir mais segurança para o ser humano, bem como reduzir as perdas patrimoniais.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações – Procedimento***. NBR 14432. ABNT. RJ, 2001.

_____. ***Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio***. NBR 15200/04. RJ: ABNT, 2012.

_____. ***Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio***. NBR 14323. ABNT. 2013.

_____. ***Projeto de estruturas de madeira***. NBR 7190. ABNT. 2012.

_____. ***Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio***. NBR 13860. ABNT. 1997.

_____. ***Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de prova cilíndricos***. NBR 5739. ABNT. 1999.

BRITZ, C. A. **Avaliação de pilares de concreto armado colorido de alta resistência, submetido a elevadas temperaturas.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

CAETANO, L. F. **Estudo do comportamento da aderência em elementos de concreto armado submetidos à corrosão e elevadas temperaturas.** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

DE SOUZA, V.C.M., RIPPER.T. **Patologia, Recuperação e reforço de estrutura de concreto.** Editora Pini, São Paulo, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8421-1.** 1987

LIMA, R. C. A.; KIRCHHOF, L. D.; SILVA FILHO, L. C. P. Efeito de altas temperaturas no concreto. In: Seminário de Patologias das Edificações, 2, 2004, Porto Alegre. **Anais do Seminário de Patologias das Edificações.** Porto Alegre: UFRGS., 2004.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A.M.P. **A ação do fogo sobre os componentes do concreto.** In : Seminário de Ciências Exatas e Tecnologia, Londrina, v.32, n.1, p.47-55, jan/mar. 2011.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto, 5th ed., São Paulo, Bookman, 2011.

PORTAL G1. Lembra piores tragédias por incêndios no Brasil. Disponível em: <<http://g1.globo.com/fantastico/noticia/2013/01/fantastico-relembra-piores-tragedias-por-incendios-no-brasil.html>>, Acesso em: 30Jan13.

PIRES SOBRINHO, C. W. **Relatório Técnico Avaliação do comprometimento estrutural de edifício sinistrado pelo fogo,** Recife, jun. 2013.

SEITO, A.I.; GILL, A.A.; PANNONI, F.D.; ONO, R., DA SILVA, S.B.; CARLO, U.D.; SILVA, V.P. **A segurança contra incêndio no Brasil.** Projeto Editora, São Paulo, 2008.

SILVA, V.P.. Segurança das estruturas em situação de incêndio- Uma visão da América Latina. **Revista Flammae-** seção 3- atas de eventos técnicos científicas-volume nº 01- edição de JAN a JUN 2015.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

Seção 1 – Artigos Técnico Científicos

Artigo publicado no Vol.02 Nº05 - Edição Especial 2016 - ISSN 2359-4829

Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>

SILVA, V. P.. ***Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012***, São Paulo, Blücher, 2012.

VALENTE, L.S. Patologias estruturais por efeito de sismo, explosão e exposição ao fogo. ***Revista Engenharia Estudo e Pesquisa***, ABPE, v.14- n.2 –p.08-19-jul./dez.2014.