

CARACTERÍSTICAS RESIDUAIS DO CONCRETO ARMADO APÓS SER SUBMETIDO À SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.

Alexandre Vieira ¹

Vanderlei Vanderlino Vidal ²

RESUMO

Uma das situações mais severas a que estão sujeitas as edificações é o incêndio, colocando em risco a vida das pessoas e o próprio patrimônio. Para isto, o perito precisa identificar na estrutura de concreto armado os vestígios e sinais que possam lhe auxiliar na identificação das causas do incêndio e na definição dos danos, provocados pelo incêndio, nos elementos estruturais. Nesta pesquisa bibliográfica foram investigadas quais são as características residuais demonstradas pelo concreto armado ao perito de incêndio, após o elemento estrutural ser submetido à situação de incêndio. Para tanto, fez-se o estudo do comportamento do concreto armado após ser submetido à situação de incêndio, em temperaturas elevadas; com a compreensão de como ocorre o fenômeno *spalling*; e a descrição das características residuais do concreto armado, após o incêndio; com sugestões para novas pesquisas.

Palavras-chave: Concreto armado. Incêndio. *Spalling*. Perícia.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo, o material mais utilizado na construção da estrutura das edificações é o concreto armado, devido ao baixo custo, facilidade de moldagem dos elementos estruturais, excelente resistência aos esforços solicitantes e mão de obra disponível.

Numa situação de incêndio, as estruturas das edificações sofrem uma redução da sua resistência mecânica e rigidez, conseqüentemente, aumentando as deformações da peça, em função da elevação da temperatura.

A fim de permitir a evacuação dos usuários em segurança e o acesso do Corpo de Bombeiros, para prestar o socorro e o combate ao incêndio, a estrutura necessita ser superdimensionada para suportar os esforços e as deformações decorrentes do incêndio, ou é necessário incorporação à construção da edificação medidas de proteção para a estrutura.

¹ Major do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC). Perito em Incêndio e Explosão pelo CBMSC. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. Especialista em Gestão de Eventos Críticos pela Universidade do Sul de Santa Catarina. e-mail: alexandrevieira@cbm.sc.gov.br

² Tenente Coronel do CBMSC. Perito em Incêndio e Explosão pelo CBMDF. Bacharel em Administração pela Universidade Federal de Santa Catarina. Especialista em Gestão de Serviços Públicos pela Escola Superior de Administração e Gerência da Universidade do Estado de Santa Catarina. e-mail: vanderlino@cbm.sc.gov.br

Para isto, o perito de incêndio precisa identificar na estrutura de concreto armado vestígios e sinais que possam lhe auxiliar na identificação das causas do incêndio e na definição dos danos, provocados pelo incêndio, nos elementos estruturais. Sendo assim, nesta pesquisa foi investigado o seguinte problema: quais são as características residuais demonstradas pelo concreto armado ao perito de incêndio, após o elemento estrutural ser submetido à situação de incêndio?

A justificativa para o estudo do tema proposto tem como fundamento um dos objetivos da perícia de incêndios, que é determinar as conseqüências do incêndio nas edificações, a fim de permitir a atualização das normas de segurança contra incêndio e o aprimoramento dos procedimentos de combate ao incêndio e salvamento do Corpo de Bombeiros. Desta forma é essencial para o perito de incêndio saber identificar na estrutura da edificação, os efeitos do incêndio sobre o concreto armado.

Para responder ao problema apresentado, esta pesquisa tem por objetivo geral descrever as características residuais que o concreto armado, após o incêndio, pode fornecer à perícia de incêndio. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) estudar o comportamento do concreto armado submetido a elevadas temperaturas;
- b) compreender como ocorre o fenômeno *spalling*; e
- c) descrever as características residuais do concreto armado após o incêndio.

O método de pesquisa adotado neste trabalho foi à pesquisa puramente bibliográfica, com base na literatura técnica e acadêmica disponível.

2 O CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Numa situação de incêndio, o concreto armado não é material combustível, não libera gases tóxicos, e resiste ao calor por um intervalo de tempo relativamente longo, mantendo suas características; porém quando exposto a elevadas temperaturas por tempo prolongado, o concreto sofre alterações químicas decorrentes da desidratação da pasta de cimento, e alterações físicas causadas pela variação volumétrica dos agregados (NEVILLE, 1997).

Todos os materiais estruturais perdem a sua resistência mecânica e rigidez à medida que são submetidos a elevadas temperaturas, podendo entrar em colapso a estrutura. A segurança estrutural é garantida quando a temperatura da estrutura no incêndio atinge um valor menor do que a sua temperatura crítica (BUCHANAN, 2001).

De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15575-1 (2013), os principais objetivos em garantir a resistência ao fogo dos elementos estruturais são:

- a) possibilitar a saída com segurança dos ocupantes da edificação;
- c) minimizar os danos da edificação, das construções adjacentes e ao meio ambiente; e
- b) garantir o acesso para as ações de salvamento e combate a incêndio.

Conforme a ABNT NBR 15200 (2012), utilizada no projeto de estruturas de concreto armado em situação de incêndio, o calor transmitido à estrutura, em função da sua forma e exposição ao fogo, gera uma redução da resistência dos materiais e da capacidade do respectivo elemento estrutural, além da ocorrência de esforços solicitantes resultantes de alongamentos axiais restringidos ou de gradientes térmicos. A Tabela 01 apresenta os fatores de redução para a resistência à compressão do concreto e os fatores para a redução da resistência à tração para aços de armadura passiva, em função da elevação da temperatura.

Tabela 01 – Fatores de redução da resistência do concreto armado

Temperatura (°C)	Fator de redução da resistência à compressão de concreto com agregado silicoso	Fator de redução da resistência à tração para aços de armadura passiva	
		CA-50	CA-60
20	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00
200	0,95	1,00	1,00
300	0,85	1,00	1,00
400	0,75	1,00	0,94
500	0,60	0,78	0,67
600	0,45	0,47	0,40
700	0,30	0,23	0,12
800	0,15	0,11	0,11
900	0,08	0,06	0,08
1000	0,04	0,04	0,05
1100	0,01	0,02	0,03
1200	0,00	0,00	0,00

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15200 (2012).

2.1 EFEITOS DO INCÊNDIO NO CONCRETO

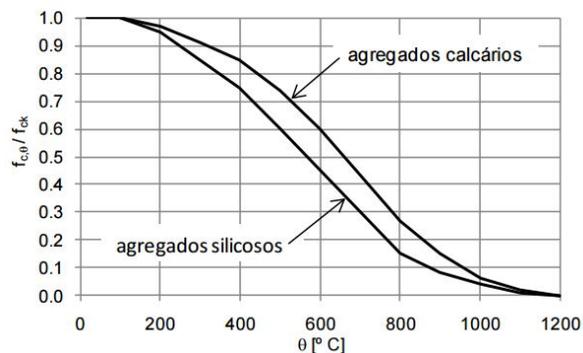
Mehta e Monteiro (1994) explicam que o comportamento do concreto exposto a elevadas temperaturas é determinado por uma série de fatores que interagem, tais como: a composição e a permeabilidade do concreto, o tamanho da peça, a taxa de elevação da temperatura, entre outros fatores.

Costa *et al.* (2002), explica que a deterioração do concreto ao ser exposto ao fogo, manifesta-se na forma de rachaduras, estalos (pipocamentos) e lascamentos (*spalling*). O concreto armado por ser um material heterogêneo, constituído de pasta, agregados graúdos, agregados miúdos e aço, ao ser submetido a altas temperaturas, a sua degradação é diferencial, causando redução na resistência e no módulo de elasticidade, o que gera perda de rigidez da estrutura, podendo levar os elementos estruturais à ruína. Logo, a composição do concreto é um dos principais fatores que deve ser considerado, quando o concreto é exposto às altas temperaturas de um incêndio.

Segundo Lima *et al.* (2004), a elevada resistência ao fogo do concreto é uma das vantagens deste elemento estrutural, quando comparados aos demais elementos estruturais, principalmente os fabricados em aço. Em alguns projetos, o concreto é utilizado como proteção passiva das próprias estruturas metálicas. Embora o concreto apresente uma redução de resistência quando exposta a temperaturas elevadas, o mesmo resiste à ação do calor por um tempo considerável, sem chegar ao colapso.

A Figura 01 mostra a redução da resistência à compressão do concreto e a Figura 02 demonstra as curvas de tensão-deformação do concreto, ambas em função da temperatura.

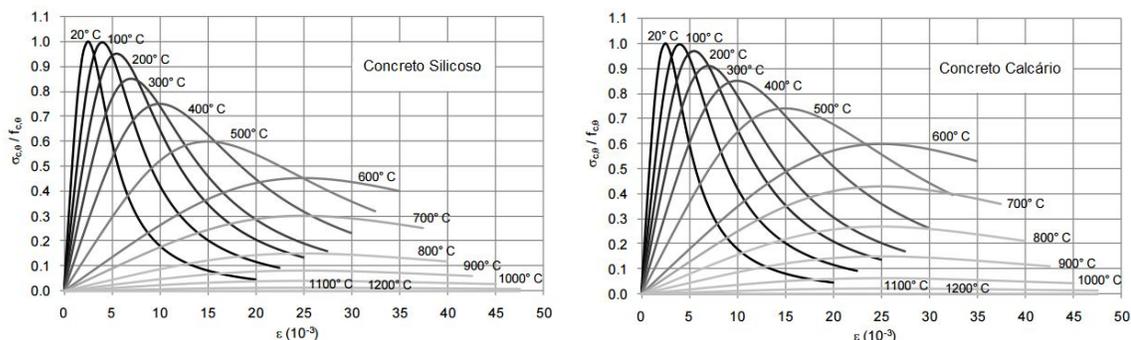
Figura 01 – Redução da resistência à compressão do concreto em função da temperatura



Fonte: EN 1992-1-2 (2004) *apud* Rigobello *et al.* (2010).

Os diferentes tipos de agregados (britas e areias) que compõem o concreto ocupam de 60% a 80% do seu volume, logo, as variações das propriedades dos agregados durante o aquecimento influenciam significativamente nas características do concreto. Os agregados possuem diferentes coeficientes de dilatação térmica, causando o aparecimento de expansões internas com diferentes intensidades (LIMA *et al.*, 2004).

Figura 02 – Curvas tensão-deformação dos concretos em função da temperatura



Fonte: EN 1992-1-2 (2004) *apud* Rigobello *et al.* (2010).

A norma europeia prevê que o módulo de elasticidade dos diferentes tipos de concreto é afetado drasticamente pela elevação da temperatura do concreto; conforme demonstram as diferentes curvas de deformação do concreto na Figura 02 para cada faixa de temperatura, diminuindo a rigidez do material. Os concretos siliciosos são mais sensíveis a elevação da temperatura, quando comparados aos concretos calcários.

A Tabela 02 apresenta um resumo do estudo realizado por alguns pesquisadores, sobre as alterações físico-químicas que ocorrem no concreto com a elevação da temperatura.

Tabela 02 – Resumo das transformações físico-químicas no concreto durante o incêndio

Temperatura	Efeitos no concreto
20 a 100 °C	Ocorre a evaporação da água livre nos poros, gerando retração do concreto, com aumento da porosidade e causando micro-fissuras. Pouca alteração da resistência mecânica.
150 °C	Pico do primeiro estágio de decomposição do silicato de cálcio hidratado.
100 a 300 °C	Perda da água ligada fisicamente ao concreto nos poros, ocorrendo a contração da pasta, provocando micro-fissuras.
350 °C	Ruptura de alguns agregados do tipo seixos de rio.
374 °C	A partir desta temperatura não existe mais água livre nos poros.
400 a 600 °C	Perda da água ligada quimicamente ao concreto, com decomposição dos produtos de hidratação e desidratação do hidróxido de cálcio. Resultando em grande queda na resistência, retração de volume e aumento de fissuras.
700 °C	Dissociação do CaCO_3 em $\text{CaO} + \text{CO}_2$.
720 °C	Segundo pico da decomposição do silicato de cálcio hidratado.
800 °C	Perda total da água quimicamente combinada.
1200 °C	Início da sinterização do concreto.
1400 °C	Concreto sinterizado.

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2002); Castellote *et al.* (2003); Georgali e Tsakiridis (2005); Marcelli (2007).

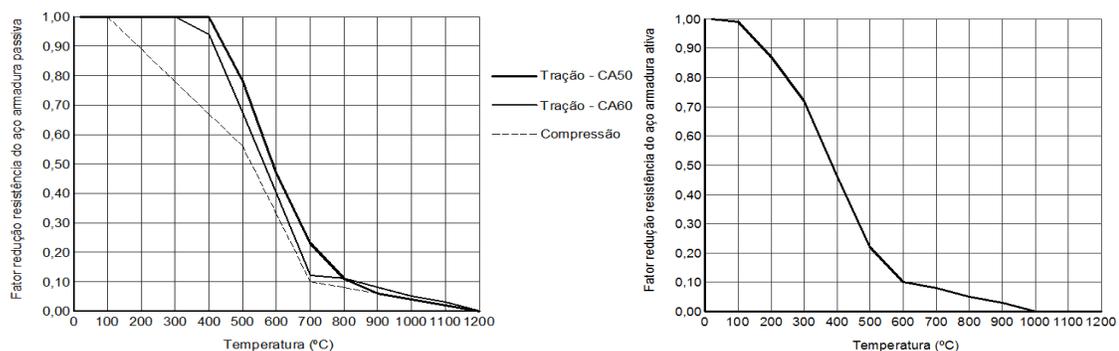
Mehta & Monteiro (1994) explicam que o concreto, quando submetido a temperaturas de 700 a 800 °C, é capaz de manter resistência suficiente por período relativamente longo, permitindo as operações de combate ao incêndio e o resgate das vítimas, sem risco de colapso estrutural. O concreto em temperatura ambiente (25 °C) é um material com comportamento homogêneo, porém ao ser submetido a altas temperaturas, sofre degradações e passa a se comportar como um material heterogêneo.

2.2 EFEITOS DO INCÊNDIO SOBRE O AÇO

Segundo De Oliveira e Monteiro Jr (2009) o aço, das armaduras do concreto armado, é um bom condutor térmico, que ao ser exposto a uma temperatura elevada, absorve melhor o calor que a massa de concreto, propagando-se o calor rapidamente ao longo das armaduras que estão mais próximas das faces da peça expostas à fonte de calor. O aço por ser um bom condutor térmico, irá sofrer maior dilatação térmica que o concreto (mau condutor térmico), resultando na flambagem das barras de aço, causando a perda da aderência com o concreto e a possibilidade de destacamentos de cobrimentos de concreto, acentuando o efeito.

A Figura 03 mostra a diminuição da resistência ao escoamento do aço das armaduras ativa e da passiva com o aumento da temperatura. Já a Figura 04 apresenta a relação tensão/deformação adotado para o aço, em função da elevação da temperatura.

Figura 03 – Redução da resistência do aço das armaduras passiva e ativa

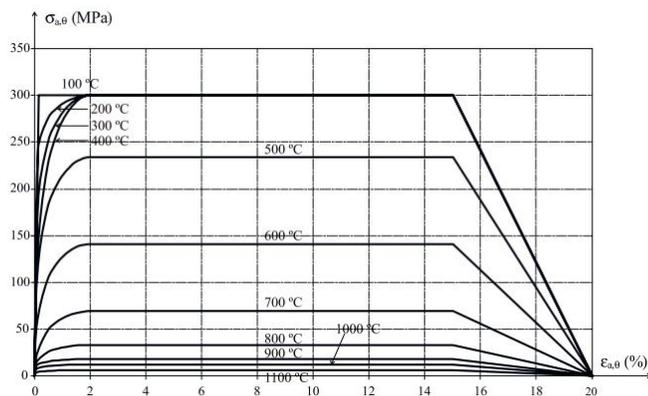


Fonte: ABNT NBR 15200 (2012).

Conforme os gráficos da Figura 03, a ABNT NBR 15200 (2012) prevê para o aço da armadura passiva das estruturas de concreto armado, uma redução 50% da resistência à tração

do aço na temperatura de 600 °C; já para o aço de peças de concreto protendido (armadura ativa) a norma prevê uma redução de 90% da resistência à tração, para a mesma temperatura.

Figura 04 – Relação tensão/deformação para o aço em função da temperatura



Fonte: EN 1993-1-2 (2005) *apud* Rigobello *et al.* (2010).

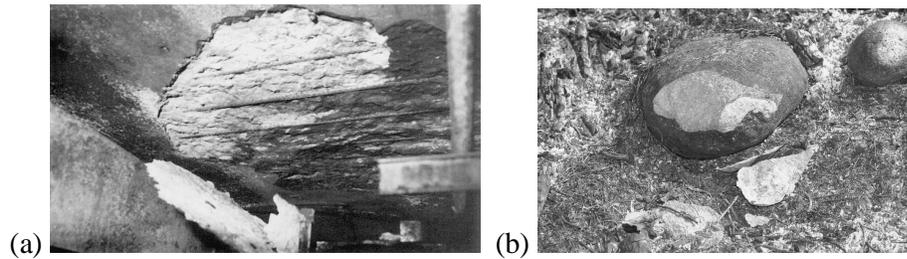
Da mesma forma que ocorre a redução do módulo de elasticidade do concreto, com a elevação da temperatura, também no aço ocorre a redução da rigidez do material com a elevação da temperatura, sendo previstas pela norma européia, diferentes curvas para o módulo de elasticidade do aço, conforme demonstrado no gráfico da Figura 04.

3 O FENÔMENO *SPALLING*

O *spalling* é um fenômeno que pode ocorrer em concreto ou na rocha, durante um incêndio, com a fragmentação ou o lascamento imprevisível, violento ou não, de pedaços ou camadas da superfície do elemento. O *spalling* ocorre com maior incidência entre temperaturas de 250 a 400 °C. A Figura 05 mostra o *spalling* ocorrido num teto de concreto armado e em uma rocha (LIMA, 2005; DE SOUZA e MORENO JR, 2009; NFPA 921, 2011).

O *spalling* resulta basicamente de dois processos que ocorrem no interior do concreto. Um dos processos, o termo-mecânico, é devido às tensões geradas pelas diferentes deformações térmicas internas dos compostos do concreto; e o outro processo, o termo-hidráulico, é devido à pressão gerada pela evaporação da água interna nos poros do concreto, que aumenta a uma velocidade maior do que o alívio de pressão pela liberação do vapor para o ambiente (LIMA, 2005; NINCE, 2006).

Figura 05 – *Spalling*: (a) em laje de concreto armado e (b) em rocha



Fonte: NFPA 921 (2011).

As diferentes deformações térmicas internas do concreto se devem aos diferentes coeficientes de dilatação térmica dos agregados utilizados na composição do concreto e da própria pasta de cimento. O concreto exposto a elevadas temperaturas sofre deformação térmica diferencial, gerando rupturas nas ligações entre os agregados e a pasta de cimento que os envolve (NEVILLE, 1997; WENDT, 2006).

Segundo Mehta & Monteiro (1994), Neville (1997) e Lima (2005), o concreto endurecido possui uma grande quantidade de água, que está presente na pasta de cimento do concreto em diferentes condições. Estes diferentes tipos de água influenciam as propriedades térmicas e mecânicas do concreto durante o incêndio, sendo:

a) a **água livre** presente nos poros do concreto, ao ser extraída dos poros maiores, não causa retração do concreto; já quando presente em poros menores, ao ser extraída, pode causar a retração volumétrica do concreto;

b) a **água adsorvida** aos poros do concreto sofre a influência das forças de atração exercida pela superfície sólida, e ao ser extraída, influencia na retração da pasta;

c) a **água quimicamente combinada** é aquela que faz parte da estrutura dos diversos produtos hidratados da pasta de cimento. Esta água só é extraída por temperaturas elevadas, causando a decomposição do concreto.

Segundo Da Silva (2009), os concretos com alta resistência (baixa porosidade), dificultam a liberação do vapor d'água, bem como a saturação dos poros gera uma pressão de vapor elevada, que ultrapassa a taxa de liberação de vapor pelos poros para a atmosfera.

A água ao passar do estado líquido para vapor aumenta em 1673 vezes o seu volume, mantendo-se a pressão constante, ou seja, 01 litro de água líquida ao evaporar ocupa um volume de 1673 litros. (ASCOJOUOMATIC, 2015).

3.1 PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM O *SPALLING*

De acordo com Buchanan (2001); Costa (2002) e Nince (2006), os principais fatores que influenciam no *spalling* do concreto são:

a) **relação água/cimento muito baixa e a adição de partículas muito finas** (sílica ativa, metacaulim, cinza volante, etc): deixam o concreto mais denso e menos poroso;

b) **alta densidade ou baixa porosidade do concreto**: impede a liberação do vapor d'água formado nos poros do concreto com a elevação da temperatura, aumentando a pressão interna e rompendo o concreto;

c) **alta taxa de aquecimento do concreto**: a grande diferença entre a temperatura na superfície aquecida do concreto e a temperatura interna fria da peça de concreto, gera elevadas tensões térmicas e o lascamento do concreto;

d) **distribuição não-uniforme de temperatura nas peças de concreto**: o aquecimento não-uniforme da superfície do concreto gera no elemento gradientes térmicos elevados e assimétricos, causando o lascamento do concreto;

e) **altas concentrações de armadura do elemento estrutural**: os pilares com armadura principal de grandes diâmetros (por exemplo diâmetros de 25 mm) estão mais propícios ao lascamento, do que aqueles com barras de diâmetro menor;

f) **carregamento nos elementos estruturais compridos**: tensões de compressão adicionais podem aparecer em elementos estruturais durante o aquecimento devido à restrição imposta à dilatação térmica do concreto confinado, causando o lascamento;

g) **pressão de vapor no interior do concreto**: a água existente nos poros do concreto evapora com o aumento da temperatura, gerando elevados gradientes de pressão, porém, se a velocidade de evaporação d'água for maior que a liberação do vapor para a atmosfera, isto causa fissuras e o lascamento violento do concreto;

h) **transformações mineralógicas dos agregados**: os agregados silicosos (como o granito) sofrem alterações na sua estrutura cristalina, causando aumento do volume do agregado dentro do concreto, gerando dilatação térmica diferencial entre a pasta e o agregado;

i) **tensões térmicas no interior do concreto**: a elevação da temperatura causa a dilatação térmica dos agregados, enquanto que a pasta se contrai devido à perda de água; gerando as tensões térmicas, que provocam deformações diferenciais na microestrutura do concreto.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DO SPALLING

Na literatura não foi encontrado um consenso em relação à classificação dos tipos de *spalling*. Segundo Khoury (2003) e Lima (2005), o *spalling* pode ser classificado como:

a) ***spalling* nos agregados**: ocorre pela deterioração dos agregados localizados na superfície do concreto, provocando estalos e danos apenas superficiais (sem gravidade), não afetando o cobrimento da armadura. O fenômeno é influenciado principalmente pela taxa de aquecimento e pelo coeficiente de dilatação térmica dos agregados;

b) ***spalling* nos cantos e quinas**: ocorre de forma gradual e não violenta, com o aparecimento de fissuras e a perda de pedaços do concreto nos cantos de vigas e pilares. O fenômeno é influenciado principalmente pela temperatura do elemento;

c) ***spalling* na superfície**: caracteriza-se pelo desprendimento violento de pedaços na superfície do concreto, com a exposição da armadura de aço. O lascamento é progressivo e ocorre em concretos de alta resistência. O fenômeno é causado principalmente pela evaporação da água nos poros do concreto;

d) ***spalling* durante o resfriamento**: é causado pela absorção de umidade pelo concreto, durante o resfriamento, com a conseqüente re-hidratação do óxido de cálcio (CaO), que gera uma expansão do concreto;

e) ***spalling* completo do elemento estrutural (violento)**: ocorre pela ruptura de forma extremamente violenta de pedaços do concreto. Este fenômeno é causado principalmente pela evaporação da água nos poros do concreto e pela taxa de aquecimento da peça em concretos de alta resistência (com baixa porosidade). Concretos com baixa resistência (mais porosos) têm probabilidade menor de ocorrência deste tipo de *spalling*.

A Figura 06 ilustra alguns tipos de *spalling* ocorridos em concreto.

Figura 06 – Alguns tipos de *spalling*: (a) Superficial, (b) Violento e (c) De Quina



Fonte: Nince (2006).

Conforme demonstra a Figura 06, a degradação do concreto causado pelo fenômeno *spalling*, pode ir desde fissuras e lascamentos superficiais até a destruição total do elemento estrutural, sempre em função da elevação da temperatura e das características do concreto.

A tabela 03 apresenta um resumo dos diferentes tipos de *spalling*, com as respectivas características.

Tabela 03 – Resumo das características dos diferentes tipos de *spalling*

Tipo de <i>Spalling</i>	Tempo (min.)	Natureza	Som	Dano	Influência
Agregado	7 a 30	Intenso	Estalo	Superficial	H A S D W
Cantos e quinas	30 a 90	Não violento	Nenhum	Pode ser sério	T A Ft R
Superfície	7 a 30	Violento	Estampido	Pode ser sério	H W P Ft
Resfriamento	Durante	Não violento	Nenhum	Pode ser sério	T X
Todo elemento	7 a 30	Violento	Estrondo	Sério	H A S Fs G L O P Q R S W Z

Legenda:

A	Expansão térmica do agregado	P	Permeabilidade
D	Difusão térmica do agregado	Q	Seção transversal
Fs	Resistência ao cisalhamento do concreto	R	Armadura
Ft	Resistência a tração do concreto	S	Tamanho do agregado
G	Idade do concreto	T	Temperatura máxima
H	Taxa de aquecimento	W	Umidade
L	Carregamento/restrições	X	Re-hidratação do óxido de cálcio
O	Perfil do aquecimento	Z	Tamanho da seção

Fonte: Khoury (2003) *apud* Lima (2005).

A partir de suas pesquisas, Khoury (2003), fez a classificação dos diferentes tipos de *spalling* em função da sua natureza, do tempo, tipo de dano causado no concreto e dos diferentes fatores que influenciam a ocorrência do fenômeno.

4 CARACTERÍSTICAS RESIDUAIS DO CONCRETO APÓS O INCÊNDIO

Toda edificação, após a ocorrência de incêndio, deve ser submetida a uma perícia, a fim de realizar uma estimativa dos danos causados na estrutura e a determinação da causa do incêndio. A temperatura máxima atingida no incêndio pode ser estimada por meio de ensaios e pela alteração da cor do concreto (ANDERGERG, 2003).

Conforme Costa (2002), basicamente, as formas de degradação do concreto, após ser submetido à situação do incêndio são: o lascamento do concreto e o esfarelamento da

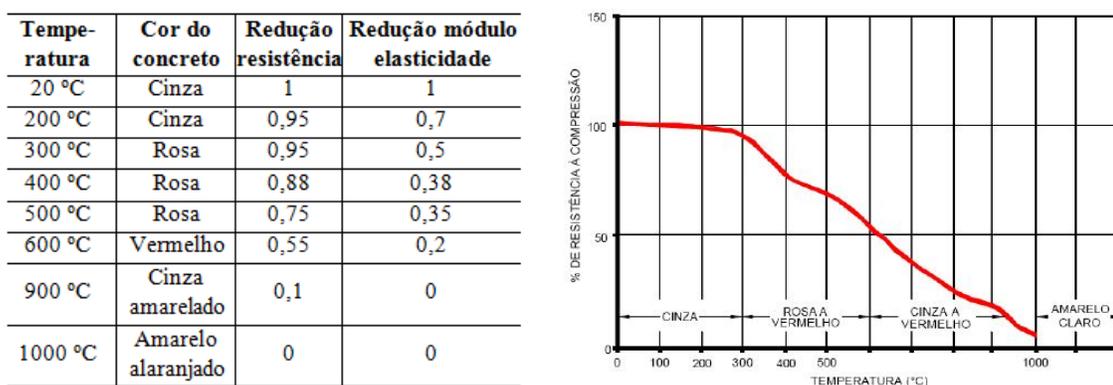
superfície calcinada. Sendo o esfarelamento da superfície do concreto causado pela sua exposição constante à ação térmica de elevadas temperaturas.

4.1 ALTERAÇÃO DA COR DO CONCRETO

Os danos causados no concreto decorrentes de um incêndio podem ser desde uma simples descoloração ou mancha produzida pela fumaça, até a total destruição do elemento estrutural, com a perda da sua resistência mecânica. Esses efeitos do incêndio sobre a estrutura, a intensidade e a extensão do incêndio, estão condicionados à capacidade que a edificação tem para contribuir com o incêndio (DE SOUZA e MORENO JR, 2010).

Alguns autores como Cánovas (1988), Neville (1997) e Lima (2005), explicam que a cor do concreto sofre alteração com a elevação da temperatura, devido à presença de compostos ferrosos na mistura, que depende do tipo de agregado utilizado e da temperatura a qual o concreto é submetido. Essa mudança de cor do concreto pode ser um indicativo da redução da resistência do concreto após o incêndio, conforme mostra a Figura 07.

Figura 07 – Alterações na cor e na resistência do concreto, em função da temperatura



Fonte: Adaptado Neville (1997) e Cánovas (1988).

A Figura 07 mostra a relação entre as alterações na cor, na resistência à compressão e no módulo de elasticidade do concreto, sofridas em função da elevação da temperatura, que dependem basicamente dos tipos de agregados usados na composição do concreto, disponíveis em uma determinada região.

4.2 FISSURAÇÃO DO CONCRETO

As deformações dos elementos estruturais causam fissuras no concreto armado, sendo que em situação de incêndio, com grandes variações de temperatura, esta fissuração do concreto é acentuada e influenciada pela dilatação térmica diferencial significativa existente entre os compostos do concreto, pela perda da aderência entre o aço e o concreto, dentre outros fatores. Quanto maior a elevação da temperatura no concreto, menor será a resistência do material, e maiores serão as deformações do elemento estrutural, aumentando a quantidade e o tamanho das fissuras (LIMA, 2005; DA SILVA 2009).

Segundo De Souza e Moreno Jr (2010), o resfriamento brusco das estruturas de concreto armado em situação de incêndio, submetido a elevadas temperaturas, causa uma grande redução da resistência mecânica e retração volumétrica devido aos intensos gradientes térmicos que se originam no concreto, causando fissuras no elemento estrutural.

4.3 RESISTÊNCIA RESIDUAL DO CONCRETO

Os ensaios ou métodos para a determinação da resistência do concreto podem ser destrutivos ou não destrutivos, sendo que os ensaios não destrutivos não causam danos (ou apenas pequenos danos) para serem reparados na estrutura avaliada e nem redução da resistência do elemento estrutural após o ensaio. Os ensaios não destrutivos são usados na avaliação *in loco* da estrutura de concreto armado, e não substituem os ensaios de resistência à compressão em corpos-de-prova (EVANGELISTA, 2002; DA SILVA 2009).

A tabela 04, trás um resumo de alguns tipos de ensaios não destrutivos usados para estimar a resistência do concreto *in loco* na estrutura.

Tabela 04 – Alguns tipos de ensaios não destrutivos para estimar a resistência do concreto

Tipo de ensaio	Descrição do método	Acurácia
Esclerometria	Relaciona a dureza superficial do concreto com a resistência.	±15% (em laboratório); ±30% (<i>in loco</i>).
Ultra-som	Relaciona a velocidade de propagação de pulsos ultra-sônicos com a resistência e o módulo de elasticidade do concreto.	±20% (em laboratório); ±50% (<i>in loco</i>).
Penetração de pinos	Relaciona a profundidade de penetração de um pino com a resistência do concreto.	De ±15% a ±20% (em laboratório).
Pulloff	Relaciona a força de tração necessária para arrancar um disco metálico colado na superfície do concreto, com a resistência.	±8% (em laboratório); ±20% (<i>in loco</i>).

Fonte: Adaptado de Evangelista (2002).

Para uma determinação mais precisa da resistência residual à compressão e do módulo de elasticidade do concreto é necessário a realização de ensaios destrutivos, com a extração de corpos de testemunho (corpos-de-prova) do elemento estrutural após o incêndio. Este método causa danos no elemento estrutural, sendo necessários reparos, o que custa caro e demanda tempo (GONÇALVES, 1995).

A redução da resistência do concreto no incêndio, já foi abordada neste trabalho.

4.4 PERDA DA ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO

Num incêndio, a partir de 100 °C, a perda da aderência entre o aço e o concreto é função da duração do aquecimento e do aumento da temperatura. Quando a temperatura ultrapassa os 400 °C a perda da aderência do aço das armaduras é maior que a diminuição da resistência à compressão do concreto; e acima dos 600 °C a perda da aderência do aço no concreto é total. A perda da aderência entre o aço e o concreto gera fissuras e pode levar o elemento estrutural ao colapso (CÁNOVAS, 1988).

A redução da resistência do aço durante o incêndio, já foi abordada neste trabalho.

4.5 CORROSÃO NA ARMADURA

No combate ao incêndio de edificações, o principal agente extintor usado é a água, pelo princípio do resfriamento. Porém este resfriamento brusco da estrutura pode danificar mais o concreto do que o próprio incêndio. Com o resfriamento brusco do concreto, ocorre a retração do material e o surgimento de novas fissuras; além do que, a partir dos 400 °C ocorre a desidratação do hidróxido de cálcio da pasta de cimento, reduzindo o pH do concreto, e a produção do óxido de cálcio. A redução do pH do concreto causa a despassivação da armadura permitindo a corrosão do aço. Uma vez molhado (hidratado) o óxido de cálcio, este produz o hidróxido de cálcio nas camadas superficiais, que por sua vez expande e causa nova fissuração do concreto (CÁNOVAS, 1988; METHA & MONTEIRO, 1994).

4.6 SPALLING

Na ocorrência do *spalling*, as áreas desprendidas podem aparecer com cor mais clara do que as áreas adjacentes. Este clareamento pode ser causada pela exposição do material de

sub-superfície limpa. Áreas adjacentes podem também ser escurecidas pela deposição da fuligem (NFPA 921, 2011).

O fenômeno *spalling*, ocorrido durante o incêndio, já foi abordado neste trabalho.

5 CONCLUSÃO

O concreto armado é um excelente material utilizado nas edificações, pois numa situação de incêndio não é combustível, não emite gases tóxicos e oferece uma boa resistência ao fogo, por um período de tempo satisfatório, permitindo a evacuação da edificação e possibilitando as ações de combate ao fogo e de socorro as vítimas.

Após um incêndio, o concreto armado apresenta algumas características e sinais que podem ser observados pelo perito, a fim de avaliar os danos causados na estrutura, bem como auxiliar na identificação das causas do incêndio, desta forma possibilitando a atualização das normas de segurança contra incêndio e o aprimoramento das técnicas e táticas de combate ao fogo em estruturas e o de salvamento de pessoas.

Os objetivos da pesquisa foram alcançados ao se estudar o comportamento do concreto armado após ser submetido à situação de incêndio, em temperaturas elevadas, com a compreensão de como ocorre o fenômeno *spalling* e ao se descrever as características residuais do concreto armado, após o incêndio.

Para o estudo das características residuais do concreto armado, após ser submetido à situação de incêndio, ficam algumas sugestões para futuras pesquisas:

- a) realizar ensaios, em laboratório e *in loco*, para verificar e comparar a resistência residual ao fogo de elementos estruturais de concreto armado;
- b) ampliar a pesquisa para o estudo das características residuais de outros materiais usados em estruturas na construção civil, como o aço e a madeira;
- c) estudar os efeitos do *spalling*, e as formas de prevenção, nos concretos de alto desempenho estrutural, usados principalmente em edificações muito verticalizadas.

REFERÊNCIA

ANDERBERGY, Y. **Design methods & structural performance**. In: Course on effect of heat on concrete. Udine, Itália: International centre for mechanical sciences. 2003.

ASCOJOUOMATIC. **Aplicações água quente e vapor – Informações técnicas**. Disponível em <http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_pt/pdf1/00099pt.pdf>. Acesso em 10/11/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

BUCHANAN, A. H. **Structural for Design Safety**. John Wiley & sons Ltd. Chichester (U.K.), 2001.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CASTELLOTE, M. *et al.* **Microstructure: solid phases**. In: Course on effect of heat on concrete, Udine, Itália: International Centre for Mechanical Sciences, 2003.

COSTA, C. N. **Estruturas de concreto em situação de incêndio**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D. de; SILVA, V. P. e. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas incêndio – uma revisão crítica**. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON. Belo Horizonte, 2002.

DA SILVA, D. D. S. **Propriedades mecânicas residuais após incêndio de concretos usados na construção civil na grande Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

DE OLIVEIRA, C. R.; MORENO JR, A. L. **Efeito do fogo nas estruturas de concreto reforçadas com FRP**. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON. 2009.

DE SOUZA, A. A. A.; MORENO JR, A. L. **Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto**. Revista IBRACON de estruturas e materiais. Volume 3, Número 4. São Paulo: IBRACON, 2010.

DE SOUZA, A. A. A.; MORENO JR, A. L. **Proposta de avaliação em laboratório do lascamento explosivo do concreto em situação de incêndio**. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON. 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.2: General Rules – Structural Fire Design. EN 1992-1-2, Brussels, 2004. *Apud in* RIGOBELLO, R.; *et. al.* **Influência da vinculação em modelos numéricos de**

vigas mistas de aço e concreto em situação de incêndio. Revista IBRACON de estruturas e materiais. Volume 3, Número 3. São Paulo: IBRACON, 2010.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules - Structural fire design. EN 1993-1-2, Brussels, 2005. *Apud in* RIGOBELLO, R.; et. al. **Influência da vinculação em modelos numéricos de vigas mistas de aço e concreto em situação de incêndio.** Revista IBRACON de estruturas e materiais. Volume 3, Número 3. São Paulo: IBRACON, 2010.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

GEORGALLI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. Microstructure of fire-damaged concrete. A case study. **Cement and Concrete Composites.** Amsterdam, 2004.

GONÇALVES, A. **In situ concrete strength estimation.** Simultaneous use of cores, rebound hammer and pulse velocity. International symposium NDT in Civil Engineering. Germany, 1995.

KHOURY, G. **Spalling.** In: Course on effect of heart on concrete, 2003, Udine, Itália: International Centre for Mechanical Sciences, 2003.

LIMA, R. C. A.; KIRCHHOF, L. D.; CASONATO, C. A.; SILVA FILHO, L. C. P. **Efeito de altas temperaturas no concreto.** II Seminário de Patologia das Edificações “Novos Materiais e Tecnologias Emergentes”. Porto Alegre, 2004.

LIMA, R. C. A. de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras.** São Paulo: Pini, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA 921). **Guide for Fire and Explosion Investigations.** Quincy, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2ª Ed. São Paulo: Pini, 1997.

NINCE, A. A.. **Lascamento do concreto exposto a altas temperaturas.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

WENDT, Sheila Cristina. **Análise de mudanças de cor em concretos submetidos a altas temperaturas como indicativo de temperaturas alcançadas e da degradação térmica.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.