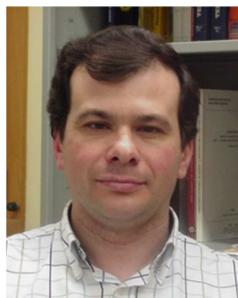


REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO APÓS INCÊNDIO



Cristina Calmeiro dos Santos

Equiparada a Profa. adjunto
Instituto Politécnico de Castelo
Branco, Portugal.
ccalmeiro@ipcb.pt



João Paulo Correia Rodrigues

Professor
Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de
Coimbra, Portugal.
jpaulocr@dec.uc.pt



António Leça Coelho

Investigador Principal
Laboratório Nacional de
Engenharia Civil, Portugal.
alcoelho@Inec.pt

SUMÁRIO

Um incêndio numa estrutura de betão pode provocar danos muito leves, cuja intervenção é simples e superficial, ou muito graves podendo exigir a demolição total ou parcial da estrutura. A seguir ao incêndio será necessário fazer uma avaliação e classificação dos danos seguida duma selecção dos métodos e materiais de reparação mais apropriados. Nesta comunicação apresenta-se uma visão geral dos diferentes aspectos da avaliação e classificação dos danos das estruturas após incêndio e suas técnicas de reparação.

Palavras-chave: incêndio; betão; dano; classificação; reparação.

1. DANOS APÓS INCÊNDIO

As estruturas de betão armado têm em geral um bom comportamento quando sujeitas a um incêndio. No entanto, estas estruturas podem ser afectadas, dependendo os seus danos da severidade do incêndio. A diminuição da resistência dos elementos estruturais resulta fundamentalmente da degradação das propriedades mecânicas dos materiais betão e aço, devido às elevadas temperaturas a que estão sujeitos [1].

As estruturas de betão armado podem apresentar após incêndio características tais como a coloração, a fissuração e o “spalling”, a deformação dos elementos, a encurvadura de armaduras principais e o ataque químico dos cloretos resultantes da combustão de plásticos que permitem identificar e avaliar os danos. A avaliação e classificação dos danos após incêndio têm um papel importante na definição do método de reparação a utilizar para os elementos bem como na determinação da sua capacidade resistente residual.

As cores que o betão pode apresentar após o incêndio permitem a avaliação das temperaturas que foram atingidas durante o mesmo e indirectamente determinar as suas propriedades mecânicas residuais. Associado às diferentes colorações estão alterações

químicas dos constituintes do betão. O betão apresenta a cor rosa quando sujeito a temperaturas da ordem de 300^oC. Os betões de agregados siliciosos mostram-se mais sensíveis a esta alteração de cor do que os betões de agregados calcários ou basálticos.

Na gama de temperaturas entre os 300^oC e 600^oC a cor do betão varia entre o rosa e o cinzento escuro, enquanto que entre os 600^oC e 800^oC a cor do betão oscila entre o cinzento escuro e o cinzento esbranquiçado [2].

Outro tipo de danos que ocorre em geral neste tipo de estruturas diz respeito à fissuração; diferentes tipos de fissuras podem ser observados. Os movimentos de dilatação dos elementos estruturais devido às altas temperaturas causam fissuras ou fendas mais ou menos profundas em elementos que, encontrando-se em zonas mais frias, vão exercer limitação à sua expansão. Estas fissuras podem surgir por vezes em zonas do edifício afastadas do incêndio. A fissuração pode também surgir localmente ao longo das armaduras, como resultado da diferente expansão do betão e do aço sob acção da temperatura. Outro tipo de fissuração é a que resulta da diferença entre os coeficientes de dilatação térmica da pasta de cimento e dos agregados podendo ser interna ou superficial. A água utilizada pelos bombeiros no combate ao incêndio pode também causar fissuras de retracção graves na superfície do betão provocando fenómenos de “spalling” (destacamento do betão) (Fig. 1). Ao soltarem-se os recobrimentos devido ao “spalling” as armaduras ficam expostas a elevadas temperaturas podendo encurvar.



Figura 1. Parede com destacamento do betão após incêndio.

A acção das temperaturas elevadas vai provocar diminuição da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do betão e diminuição da resistência à tracção e do módulo de elasticidade do aço, que se traduz numa diminuição da capacidade resistente dos elementos. À perda de capacidade resistente do elemento estão frequentemente associadas grandes deformações permanentes que caso sejam superiores aos valores toleráveis referenciados nos regulamentos de engenharia civil, podem implicar a demolição do elemento. A tensão de aderência entre o betão e o aço diminui também com o aumento de temperatura.

A rotura por corte na ligação viga - pilar é muitas vezes observada após incêndio. Este tipo de danos podem ser motivados pela introdução de esforços de flexão que as vigas adjacentes de betão armado lhes transmitem durante o seu processo de dilatação (Fig. 2).

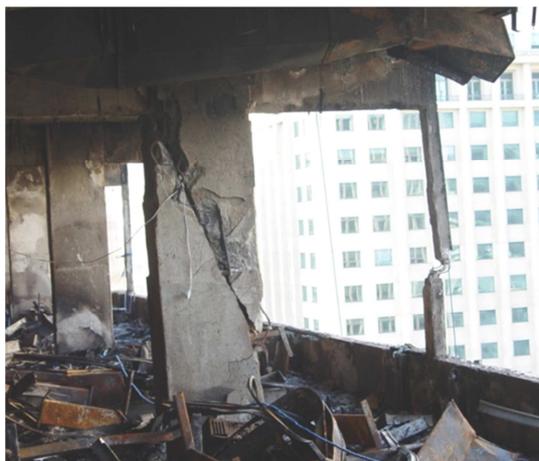


Figura 2. Rotura por corte dos pilares após incêndio (foto cedida por Valdir Silva, USP-Brasil).

Nas lajes de betão armado os danos motivados pelo incêndio, são em geral maiores que em vigas e pilares, devido à sua pequena espessura e ao pequeno recobrimento que as armaduras em geral possuem. Quando o betão de recobrimento desaparece, as armaduras ficam expostas ao incêndio, sofrendo deformações plásticas permanentes que se traduzem em grandes deformações das lajes (Fig. 3).



Figura 3. Laje de betão armado danificada após incêndio.

A combustão de plásticos, tais como o PVC, provocam a libertação de iões cloro que em determinadas condições penetram no elemento podendo provocar o ataque químico das armaduras. Deve ser feita a determinação da profundidade de penetração destes iões no betão, para determinar se existe o risco de ataque às armaduras.

2. ASPECTOS QUE ENVOLVEM A REPARAÇÃO

Após a avaliação dos danos causados pelo incêndio tem que se decidir entre reparar ou demolir os elementos estruturais [3, 9, 10]. A reparação dum elemento estrutural pretende dotá-lo, das funções para as quais tinha sido inicialmente concebido, e que foram perdidas durante o incêndio. Propriedades como a resistência à flexão, à corrosão, ao fogo são restabelecidas mediante critérios de reparação escolhidos em função dos danos sofridos. A cada tipo de danos corresponde um tipo de reparação, que poderá ir desde uma ligeira lavagem de superfícies sujas com fuligem até uma substituição total de elementos.

Para proceder aos trabalhos de recuperação deve-se ter em consideração se se procede à reparação total ou parcial dos elementos estruturais; se o edifício manterá todas as funções originais ou se as mesmas serão restringidas; e até mesmo considerar a hipótese da alteração do uso do edifício. Se a recuperação for demasiado dispendiosa e, portanto, não for considerada uma hipótese viável, deve proceder-se à demolição total seguida de reconstrução.

Qualquer que seja o processo de reparação considerado mais adequado a uma dada situação, deve-se assegurar a ligação entre os materiais a usar e os existentes na estrutura, bem como garantir a qualidade dos materiais quer em termos de durabilidade quer em termos de resistência (em situação alguma devem ser de qualidade inferior aos existentes na estrutura).

Por outro lado, o processo de reparação deve garantir/restaurar a capacidade de carga original do elemento e, sempre que possível, corrigir erros de projecto ou de construção quando o edifício foi construído.

Deve-se ainda, aquando do processo de intervenção, restabelecer e/ou reforçar a resistência ao fogo dos elementos estruturais, assim como assegurar as condições de serviço da estrutura.

Quando se procede a trabalhos de demolição deve-se garantir que os mesmos não interfiram com reparações já efectuadas. De igual modo, deve-se ter um cuidado especial com eventuais libertações súbitas de energia que podem acontecer em demolições de elementos pré-tensionados bem como prever escoramento de pilares pois em operações de demolição o seu comprimento de encurvadura pode sofrer um ligeiro aumento [3].

No final do processo de reabilitação das estruturas danificadas pelo fogo deve estar assegurada a estabilidade e a capacidade resistente da estrutura.

A Figura 4 resume todas as acções que o processo de reparação envolver.

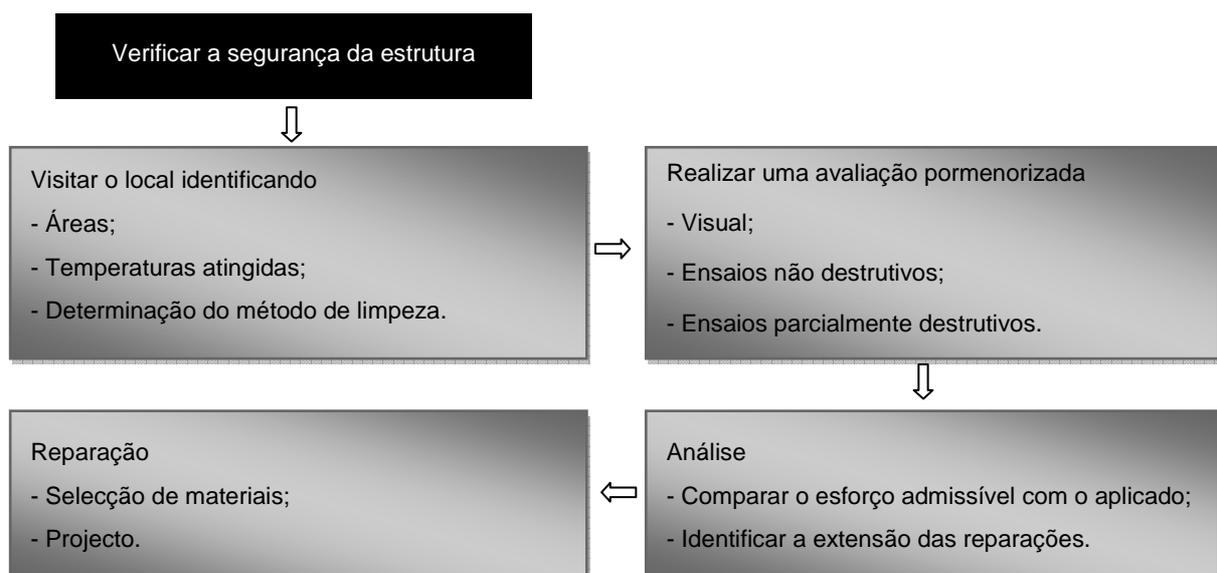


Figura 4. Fases do processo de reparação [4].

Qualquer trabalho de reparação deve obedecer a uma planificação cuidada contendo as fases/instantes de intervenção obedecendo a uma fiscalização permanente devido ao grau de complexidade que tais tarefas requerem.

3. TÉCNICAS DE REPARAÇÃO

Os trabalhos de reparação das estruturas de betão armado envolvem sempre a remoção de todo o betão que esteve submetido a temperaturas superiores a 300°C. A superfície (isotérmica), correspondente a esta temperatura é caracterizada por uma coloração rosa do betão. A profundidade da sua posição na secção pode ser avaliada através da extracção de pequenas carotes ou pelo cálculo analítico, elaborado com conhecimento da duração do incêndio e das suas características.

As zonas onde se observou “spalling” do betão devem ser convenientemente inspeccionadas verificando se a armadura que tenha sido exposta ao fogo não tem a sua resistência enfraquecida. Caso tenha sido afectada terá que ser substituída ou reforçada com armadura adicional.

Poderão existir outras zonas que, embora apresentando bom aspecto, não se encontrem em bom estado. Estas zonas, quando percutidas por um martelo registam um desprendimento de algum betão danificado deixando as armaduras sem recobrimento. Todo o betão nesta situação deve ser retirado. Nestas operações de desmontagem de betão, podem utilizar-se para além do martelo, ferramentas pneumáticas ligeiras.

Depois da remoção do material alterado, a superfície deve ser tratada com jacto de areia ou água de elevada pressão, para limpar a superfície de fuligem e outras impurezas, bem como retirar pequena fissuração superficial que possa existir. Nesta fase deve-se observar e analisar a existência de fendas contínuas de maior profundidade, e que possam comprometer a estabilidade do próprio elemento.

As superfícies depois de devidamente tratadas, serão de seguida revestidas com betão projectado, ou com outros materiais tais como resinas de reparação, argamassas modificadas com polímeros, argamassas de cimento, rebocos à base de gesso e preparações de fibras minerais projectadas.

Actualmente existem um conjunto de técnicas de reforço de estruturas por colagem ou fixação mecânica de elementos à superfície do betão. Nestas técnicas destacam-se a colagem de chapas de aço e a colagem de laminados ou tecidos de fibra de carbono CFRP (carbon fiber reinforced plastic) ou de mantas ou fios de fibra de vidro GFRP (glass fiber reinforced polymer).

Betão projectado

A projecção de betão, usando uma mistura de cimento, areia e outros agregados, é aplicada por meio de equipamento adequado de projecção. Basicamente o processo da mistura utilizada em obras de reabilitação é o processo da mistura seca. O processo de mistura seca consiste em passar a areia húmida e o cimento através da mangueira de distribuição para a agulheta adicionando água.

Neste método, utiliza-se um material de grande densidade e durabilidade, com propriedades mecânicas superiores às do betão ordinário ou argamassa, que apresentam grande resistência na aderência a uma superfície adequada tal como o betão.

Uma importante característica deste processo é a baixa quantidade de água que contém. A baixa relação água/cimento prevê alguns resultados importantes. Existem poucos vazios, toda a água é praticamente absorvida na hidratação do cimento. Além do mais, o endurecimento começa imediatamente, resultando um material com grande resistência mecânica, densidade e baixa permeabilidade.

A aderência deste material projectado com o betão in situ é boa, no entanto exige uma limpeza e preparação cuidada da superfície com remoção de toda a fuligem.

A durabilidade deste material é boa no entanto a resistência ao fogo pode não ser a melhor devido à alta compacidade do betão projectado bastante sensível a fenómenos de spalling.

Resinas de reparação

As resinas são usadas para diferentes configurações de zonas de trabalho. Podem consistir na infiltração de epoxy, poliéster ou argamassa acrílica. Este método é muitas vezes usado para reparar áreas com spalling ligeiro.

A informação existente acerca do comportamento destes materiais sujeitos a temperaturas superiores a 60°C, mostra-nos que a maior parte das resinas de reparação só podem ser usadas se dotarmos os elementos reparados com adequada resistência ao fogo com materiais adicionais de protecção.

Argamassas modificadas com polímeros

Estas argamassas são boas para reparações manuais e para pequenas áreas (as argamassas cimentosas modificadas com polímeros podem ser usadas para áreas entre os 12 e 30mm de profundidade). Usualmente, as argamassas utilizadas são feitas à base de polímeros de borracha de estireno butadieno.

Perante o fogo apresentam comportamento satisfatório, tal como todos os produtos cimentosos. O uso de agregados finos melhora o seu desempenho quando comparadas com o betão devido à reduzida probabilidade de ocorrerem danos causados por separação de agregados.

As argamassas de cimento

Estas argamassas são normalmente aplicadas manualmente na reparação de áreas danificadas, exigindo a preparação prévia da superfície. Ainda que apresentem um comportamento satisfatório para áreas bem definidas (até 30mm de espessura), não são adequadas para áreas finas porque não garantem condições de aderência.

Revestimentos à base de gesso

São em geral aplicados em superfícies planas de betão com pequenas irregularidades. As superfícies a recobrir devem apresentar uma rugosidade conveniente, com vista a uma

adequada adesão. A sua aplicação melhora a resistência ao fogo do elemento. A elevada quantidade de água que encerram retardam o aquecimento dos elementos em caso de incêndio. Contudo, a sua durabilidade é limitada pois são facilmente afectados pela humidade.

Misturas de fibras minerais projectadas

À semelhança dos anteriores, as misturas de fibras minerais projectadas, à base de vermiculite e perlite, são usadas na melhoria da resistência ao fogo dos elementos. Uma vez mais a elevada quantidade de água que encerram retardam o aquecimento dos elementos em caso de incêndio. Não são contudo utilizadas, em casos em que se pretenda recuperar a resistência mecânica do elemento. A sua aplicação é feita de modo semelhante ao betão projectado.

Fibras de GFRP e CFRP

Estes produtos são colados criteriosamente nas faces dos elementos para resistir à flexão ou ao corte. Estes materiais apresentam elevada resistência à tracção, baixo peso específico, resistência à corrosão, elevada resistência à fadiga e comportamento perfeitamente elástico até à ruína. Este tipo de reparações permite reforços que ficam despercebidos e sem inconvenientes arquitectónicos.

Não existem ainda muitos estudos sobre o comportamento ao fogo de elementos reforçados com este tipo de materiais mas sabe-se que a resistência ao fogo é baixa. Embora estes materiais não sejam inflamáveis, a resina utilizada na composição da sua matriz e as colas de fixação aos elementos degradam-se com as altas temperaturas, podendo comprometer a estabilidade dos elementos. O revestimento destes materiais com isolantes ao fogo pode ser uma das formas de aumentar a resistência ao fogo dos elementos reparados.

Suportes alternativos

Os projectistas podem considerar o uso de suportes alternativos tal como novos pilares ou vigas que subdividam os vãos. Tal procedimento pode ser económico e reduzir a reabilitação de elementos danificados. Os novos elementos de suporte, podem ser de betão armado, aço, madeira ou alvenaria e devem dotar a estrutura da necessária resistência mecânica para as acções actuantes, resistência ao fogo, durabilidade e aparência. A utilização deste sistema pode levantar questões arquitectónicas que se prendem com a limitação do espaço resultante após a reparação.

4. REPARAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

O modo de actuar e reparar as estruturas de betão difere em função do tipo de elemento em causa (lajes, vigas ou pilares).

Reparação de lajes

O grau de danos apresentado pelas lajes está associado ao tipo de armadura, sendo maior no caso da utilização de armaduras de aço endurecido a frio. Este tipo de aço ao ser

submetido a temperaturas elevadas apresenta uma redução significativa no valor da sua resistência. As lajes constituídas com este tipo de aço apresentam após - incêndio, um grau de deformação elevado devendo-se optar pela sua demolição.

Nos casos em que as lajes não se apresentem muito deformadas e as propriedades dos materiais não tenham sofrido alterações significativas pode proceder-se à reparação.

A reparação consiste sempre na remoção de todo o betão em más condições; limpeza e reforço dos varões se necessário; limpeza e criação de rugosidade na fase exposta do betão e restituição do betão removido.

A remoção do betão solto e a criação de alguma rugosidade é usualmente feita por ferramentas manuais, por ferramentas pneumáticas leves ou até mesmo por jacto de areia.

A remoção do betão, a limpeza e a rugosidade podem também ser realizadas num só passo através de jacto de água de elevada pressão ou hidrodemolição que utiliza a energia cinética da água a grande pressão [5]. As superfícies tratadas mediante jacto de água asseguram uma melhor fiabilidade na ligação entre o velho e o novo betão do que as tratadas recorrendo a martelo pneumático ou jacto de areia [6].

Por vezes, em reparações extensas, pode surgir a necessidade de adicionar armaduras de reforço. Esta armadura de reforço consiste na adição de uma malha electrosoldada fixa à existente através de amarração ou soldadura. Se os elementos de betão apresentarem fissuração extensa, deve proceder-se à sua colmatação utilizando a injecção de resina epoxi de modo a conferir monolitismo ao conjunto [7].

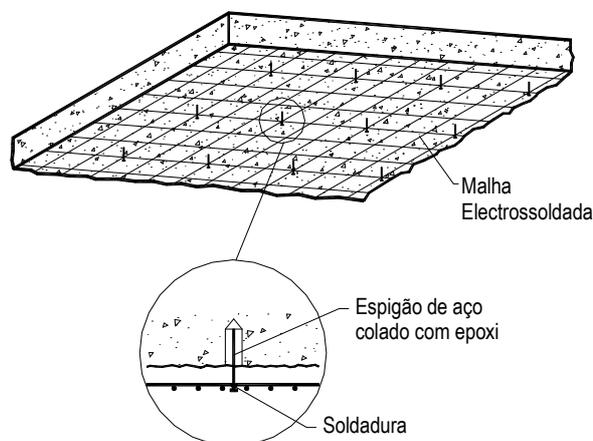


Figura 5. Reparação de lajes [8].

Reparação de vigas

A reparação de vigas é semelhante à reparação de lajes [7]. Para danos ligeiros deve retirar-se todo o betão solto e danificado e, posteriormente, proceder à projecção de um novo betão de modo a refazer toda a peça danificada.

Ao analisar a viga, se se verificar danos de média extensão, deve-se eliminar todo o betão danificado, fazer o reforço da armadura e recobrir toda a zona com betão projectado.

Quando os danos são muito extensos, atingindo grandes profundidades, a solução mais conveniente será demolir a viga e proceder à reconstrução com novo betão armado.

No caso da existência de fissuração nas vigas, deve injectar-se resina epoxi de modo a preencher todos os espaços vazios.

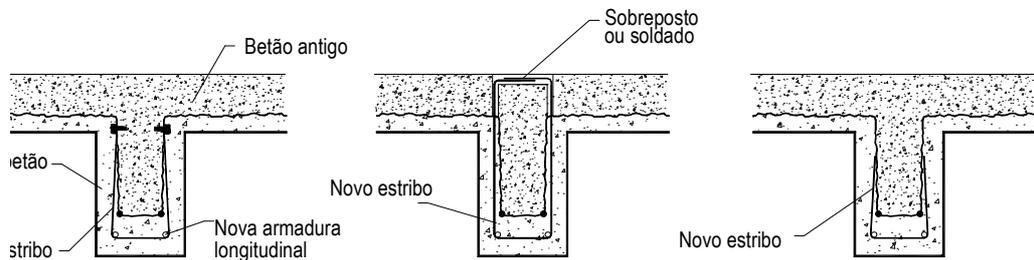


Figura 6. Reparação de vigas [8].

Reparação de pilares

A reparação de pilares normalmente é complexa envolvendo alterações arquitectónicas, pois as dimensões originais do pilar nem sempre são possíveis de manter.

A reparação deste tipo de elemento segue as linhas orientativas das descritas anteriormente.

Para danos superficiais, uma remoção com jacto de areia ou água e posterior recobrimento com betão projectado é suficiente. Para danos extensos poderá ser necessário o reforço longitudinal e transversal suplementar.

Quando as armaduras ficam expostas às temperaturas de incêndio os varões podem sofrer encurvadura. Se o deslocamento lateral destes varões for superior a metade do respectivo diâmetro, devem ser cortados e retirados para serem reparados. Exteriormente serão endireitados e novamente colocados no local recorrendo ao processo de soldadura. Trata-se de um processo muito complexo, que exige mão-de-obra qualificada, pelo que envolve elevados custos.

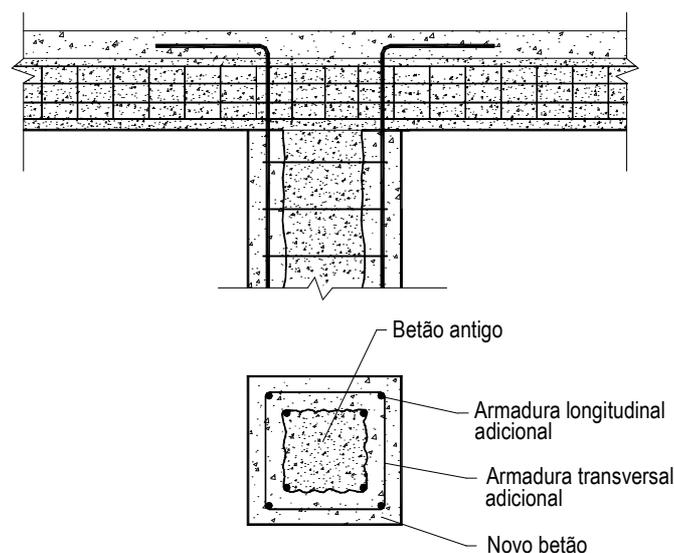


Figura 7. Reparação de pilares [8].

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de se proceder à reparação da estrutura deve sempre fazer-se uma avaliação e classificação dos danos. Os ensaios usados nesta avaliação são usuais em engenharia civil. Devem sempre fazer-se ensaios em zonas afectadas e não afectadas pelo incêndio, a fim de prever o grau de degradação dos materiais e elementos estruturais.

A decisão de proceder à reabilitação de uma estrutura depende do grau e extensão dos danos estruturais e não estruturais. Por vezes a reabilitação só é possível limitando o nível de utilização do edifício, surgindo a necessidade de mudar o respectivo uso.

A reparação das estruturas danificadas por incêndio segue as técnicas e processos normativos usados na generalidade de outros danos como, por exemplo, os resultantes de sismos ou ataque pelos cloretos. Critérios de bom senso e experiência profissional são mais relevantes do que análises e tecnologias sofisticadas.

A avaliação rigorosa dos efeitos provocados pelo incêndio nos materiais e elementos estruturais permite efectuar uma reparação eficaz e económica. Por vezes é mais barato demolir do que reparar.

REFERÊNCIAS

- [1] Drysdale D., Schneider U. – “Repairability of fire damaged structures”, CIB W14 Report. *Fire Safety Journal*, 1990, Vol.16, p. 251–336.
- [2] Rodrigues, J. P. C. - “Recuperação de estruturas danificadas por Incêndio - Propriedades mecânicas residuais do aço e do betão”, *Tese de Mestrado*, Coimbra, 1994, 214 p.
- [3] Correira, A. J .M.; Rodrigues, J. P. C. – “Edifícios danificados por incêndio – Parte 1 – Avaliação e classificação dos danos”, *Engenharia e Vida*, 2005, p. 56-61.
- [4] Gosain, N. K. – “Evaluation and Repair of Fire-Damaged Buildings”, *Structure magazine*, 2008, p. 18-22.
- [5] Harmathy, T. Z. - “Fire Safety Design and Concrete”, *John Wiley and Sons, Inc.*, New York, 1993, 412 p.
- [6] Silfwerbrand, J. – “Improving concrete bond in repaired bridge decks”, *Concrete International*, Vol 12, 1990, p. 61-66.
- [7] Cánovas, M. F.– “Patologia y Terapeutica del Hormigon Armado”, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1994, 487 p.
- [8] Correira, A. J .M.; Rodrigues, J. P. C. – “Reabilitação de edifícios danificados por incêndio – Parte 2 – Reparação dos danos”, *Engenharia e Vida*, 2005, p. 48-53.
- [9] Concrete Society - “Assessment and repair of fire damaged concrete structures”, *Technical Report n. 33*, 1990, 77 p.
- [10] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – “Présentation dès techniques de diagnostic de létat d'un béton soumis à un incendie”, *Report ME 62*, France, 2005, 114 p.