ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CONCRETO SUBMETIDO A ELEVADAS TEMPERATURAS

Fernandes, Roberta Alessandra de Morais[1]

[1]Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, estudante, e-mail: roberta__fernandes@hotmail.com

RESUMO

Cada vez mais, novas tecnologias são desenvolvidas e lançadas no mercado da construção civil. Contudo, as características e comportamentos desses materiais acabam não sendo estudados com a mesma presteza. O material de maior utilização neste setor é o concreto que, em condições normais de uso e conservação, possui características como resistência à compressão e tração, módulo de elasticidade, entre outros. Todavia, a exposição do concreto em situações de incêndio pode causar danos estruturais, pois a pasta de cimento decompõe-se na ação do calor. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos de elevadas temperaturas em estruturas de concreto convencional com resistência à compressão de 25MPa. Os ensaios realizados para avaliar a resistência à compressão e módulo de elasticidade foram feitos em corpos de prova com idade aproximada de 120 dias, submetidos às temperaturas de 300°C, 600°C e 900°C. Ficaram comprovados efeitos prejudiciais causados no concreto pelo aquecimento em todos os níveis de temperatura, observando-se queda de resistência à compressão e módulo de elasticidade conforme o aumento da temperatura. Os resultados obtidos foram comparados às recomendações da ABNT NBR 15200:2012 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio para a comprovação da confiabilidade do procedimento adotado nos ensaios.

Palavras chave: Concreto; Altas temperaturas; Incêndio; Degradação térmica do concreto;

ABSTRACT

New technologies are being developed and released in the construction market. However, characteristics and behavior of these materials aren't being studied with the same promptness. Concrete is the material of greater use in this department, which, in normal uses, has as the main characteristics of compressive strength and tensile, modulus, among others. However, the temperature rise due to thermal action may cause damage to the structure, once the concrete decomposes with the action of heat. Thus, the present study aimed to evaluate the impact caused by high temperatures in concrete structures in common use (25MPa). The tests conducted to evaluate the compressive strength and modulus of elasticity were made on samples, aged approximately 120 days, subject to three levels of temperature (300°C , 600°C and 900°C). It was proved harmful effects caused by heating in the concrete at all temperature levels by observing the decrease in compressive strength and tensile modulus with increasing temperature. The results were compared to the recommendations of the Brazilian standard *ABNT NBR 15200:2012* - Design of concrete structures in fire to prove the consistency of the procedure adopted for testing.

Keywords: Concrete; High temperatures; Fire exposure; Concrete thermic degradation;

1. INTRODUÇÃO

Projetistas estruturais têm grande interesse pelas características de resistências dos materiais e efeitos físicos como desgastes na estrutura, inclusive a exposição a temperaturas extremas (tanto fogo quanto congelamento), podem influenciar negativamente no desempenho e na durabilidade do concreto. (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Os vários materiais que compõem o concreto trabalham em conjunto como um único material – "concreto armado endurecido" – proporcionando boas características térmicas para o intervalo de temperatura dentro das condições normais de uso. (COSTA et al., 2002).

No caso de estruturas expostas a altas temperaturas, o estudo das alterações sofridas pelo concreto é uma ferramenta essencial, pois se torna um instrumento importante para determinar se uma estrutura de concreto ainda é estruturalmente eficiente (WENDT, 2006).

Campos et al. (2011) afirma que a elevação progressiva da temperatura em concretos e argamassas, provocam efeitos distintos nas estruturas, tais como alteração da coloração, perda da resistência mecânica, esfarelamento superficial, fissuração e até mesmo a degradação completa da estrutura.

Para Costa et al. (2002), proporcionar um complexo comportamento quando submetido a altas temperaturas é uma das características do concreto. E durante as situações de incêndio ocorrem mudanças em sua microestrutura que podem promover uma ruptura precoce da estrutura afetada. Por isso, esta deve ter uma resistência que responda a um período mínimo de tempo (padrão) que é requerido por normas ou legislação, garantindo assim que a fuga de seus ocupantes e até mesmo operações de resgate sejam efetuadas com cautela e segurança.

Quando estruturas de concreto são expostas a altas temperaturas causadas por incêndios, por exemplo, deve ser realizada uma avaliação para que seja possível determinar a sua integridade, bem como os seus métodos de recuperação em caso de danos severos à estrutura.

No Brasil, o número de pesquisas de caráter experimental relacionadas aos resultados de incêndio em estruturas é considerado baixo devido à deficiência de laboratórios equipados para avaliação dos efeitos do fogo em estruturas. Além disso, segundo Lima (2005), as normas e códigos utilizados atualmente são baseados em conhecimentos adquiridos a mais de dez anos, inibindo inovações. Todavia, normas relacionadas à segurança das estruturas em situações de incêndio publicadas recentemente ou em processo de revisão no Brasil têm causado o amadurecimento e a conscientização dos profissionais ligados à construção civil sobre o assunto.

2. O FENÔMENO INCÊNDIO E SEUS IMPACTOS SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO

O aumento da temperatura dos elementos estruturais em decorrência da ação de um incêndio (ação térmica) causa redução de resistência, do módulo de elasticidade, bem como, o eventual aparecimento de esforços solicitantes não previstos anteriormente decorrentes das restrições às deformações de origem térmica (SILVA, 2012).

Castro et al. (2011) afirma que a resistência de uma estrutura não está ligada somente ao material que a compõe, e sim ao próprio elemento estrutural. É importante que o material utilizado não comprometa a atuação da estrutura. Sendo assim, um dos fatores de maior importância durante um incêndio é a capacidade do em concreto aguentar a ação da água, atuar como uma barreira térmica impedindo que o calor do fogo alcance a armadura e do resfriamento conservando suas propriedades mecânicas.

Para Lima (2005), incêndios são relativamente raros, porém afetam diretamente a vida útil das estruturas e das pessoas, visto que as suas possíveis consequências envolvem, além de perdas materiais, perdas humanas.

2.1 Origem dos Incêndios

Segundo Souza (2005), o fogo pode ser descrito como um fenômeno físico-químico que se resulta em uma reação de oxidação com emissão de calor e luz. Para ocorrer, devem existir quatro elementos: combustível, comburente (oxigênio), calor e reação em cadeia, como mostra a Figura 1.



Figura 1: Triângulo do Fogo

(http://verdesperancajramos.blogspot.com.br/2012/04/quimica-do-incendio.html)

Para que o fogo seja extinto, é necessário que faça a remoção de um dos três elementos que compõem o triangulo do fogo, ou então extinguir a reação química. A retirada do material combustível consiste em impedir que o fogo seja alimentado e tenha um campo de propagação. Já a retirada do comburente pode ser alcançada por meio do abafamento do material combustível, para evitar seu contato com o material comburente (oxigênio). Por fim,

a retirada da fonte de calor representa a aplicação de um agente extintor, que irá resfriar o calor e cessar a reação em cadeia (LIMA, 2005).

2.2 Processo de Desenvolvimento do Incêndio

O material combustível, ao atingir seu ponto de fulgor e combustão, gera gases inflamáveis, os quais, misturados com um comburente precisam apenas de uma fonte de calor (uma chama ou um superaquecimento, por exemplo) para inflamar e começar uma reação em cadeia. (KLEIN, 2001 apud LIMA, 2005).

A proporção da combustão varia de acordo com a natureza do material presente no local do incêndio, sendo que, depois de generalizada a inflamação, essa taxa também depende diretamente da ventilação e aberturas do ambiente (SILVA, 2012).

De acordo com Souza (2005), o fogo se manifesta de maneira diferente de acordo com a composição química do material em combustão, entretanto um mesmo material pode queimar de modo diferente por conta da sua superfície específica, condições de exposição ao calor e da oxigenação e umidade presente no ambiente em chamas.

Com base em Silva (2012), pode-se concluir que o tempo de duração do incêndio e do resfriamento da estrutura também podem variar de acordo com o tipo de material combustível. Se for líquido ou gasoso, o incêndio acabará no momento em que o fogo consumir todo o material, o que certamente levará pouco tempo para acontecer, além de seu resfriamento ser mais rápido. Já se os materiais forem sólidos como a madeira, a queima levará mais tempo para acontecer e consequentemente, o resfriamento será mais demorado.

Para a avaliação da resistência de estruturas quanto submetidas ao fogo, normalmente é utilizada uma curva que relaciona o tempo do incêndio à temperatura média dos gases no local. Os principais parâmetros dessas curvas são (FIB, 2007 apud KLEIN JÚNIOR, 2011):

• A taxa de aquecimento, que influencia diretamente no desenvolvimento de gradientes de temperatura, de umidade e de pressão nos poros da estrutura de concreto;

• A temperatura máxima atingida durante o incêndio, que influencia as reações físico-químicas nos materiais, que, por sua vez, afetam as características termomecânicas;

• A duração do incêndio, que influencia diretamente na evolução das temperaturas na estrutura ao longo do tempo;

• A fase de resfriamento, pois diferentes tipos de resfriamentos apresentam impactos distintos nos materiais e na distribuição da temperatura;

Ainda segundo Klein Júnior (2011), no caso de incêndios reais, a evolução da temperatura dos gases em função do tempo do incêndio dentro do compartimento pode ser representada pela Figura 2.

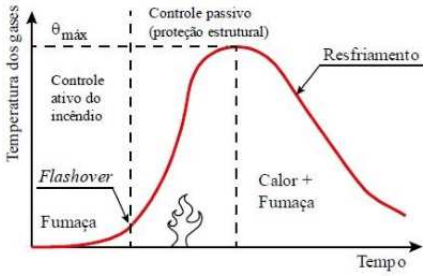

Figura2: Curva de incêndio real (SILVA, 2012)

Silva (2012) afirma que essa curva representa a parte inicial (fase de ignição) do incêndio onde são apresentadas baixa temperatura. Nesse momento, podem existir riscos à vida dos ocupantes devido aos gases tóxicos ou asfixiantes espalhados pelo material combustível incendiado. Contudo, nessa fase, chamada de pré-*flashover*, não haverá riscos estruturais, pois para que isso aconteça é necessário que ocorra a ação de temperaturas mais elevadas.

2.3 Consequência dos Incêndios

De acordo com Klein Júnior (2011), tradicionalmente, o concreto sempre foi considerado "à prova de fogo" por causa de suas propriedades de incombustibilidade e isolamento térmico. Os principais efeitos que podem ser observados no concreto submetido a altas temperaturas são: diminuição de suas propriedades mecânicas, danos causados pelas deformações térmicas e desplacamentos (*spalling*).

Porém o concreto possui um comportamento bastante instável nos primeiros momentos de aquecimento, devido às mudanças na microestrutura do material. As características termo-hidro-mecânicas também se modificam em função da temperatura, taxa de aquecimento, teor de umidade, geometria e dimensões do elemento estrutura, materiais, etc. (FIB, 2007 apud Klein Júnior, 2011).

Kowalski (2010) afirma que os efeitos das altas temperaturas no concreto tornam-se significantes a partir dos 100°C, que é quando começa a evaporação da água presente nos capilares.

Além disso, segundo FIB (2007 apud Klein Júnior, 2011), algumas alterações físico-químicas podem ser reversíveis após o resfriamento, outras não são e podem reduzir a resistência da estrutura após o incêndio. Abaixo estão descritas as alterações físico-químicas experimentadas pelo concreto quando elevado a altas temperaturas:

• 20°C a 80°C: aumento da hidratação do cimento, perda lenta de água nos capilares e redução das forças de coesão;

• 100°C: aumento expressivo da permeabilidade;

• 80°C a 200°C: aumento da taxa de perda de água capilar e água livre;

• 80°C a 850°C: perda da água unida quimicamente;

• 150°C: pico do primeiro estágio de decomposição dos hidratos de silicato de cálcio;

• Acima de 300°C: aumento considerável da porosidade e microfissuração;

• 350°C: ruptura de alguns agregados;

• 374°C: temperatura crítica para a qual não é possível haver água livre;

• 400°C a 600°C: dissociação do Ca(OH)2 em CaO e água;

• 573°C: agregados silicosos se expandem;

• Acima de 700°C: dissociação do CaCO3 em CaO e CO2;

• 800°C: agregados calcários se decompõem;

• 1060°C: início da fusão de alguns constituintes do concreto;

As consequências de incêndios em elementos estruturais de uma edificação irão depender da importância dos mesmos no controle do comportamento geral da estrutura. A falha de um pilar localizada na base de um edifício pode levar ao colapso da edificação, enquanto a falha de uma viga secundária pode resultar somente em um dano mínimo, visto que as cargas atuantes na viga poderão ser transferidas para os demais elementos não diretamente afetados pelo fogo (PANNONI, 2002 apud LIMA, 2005).

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Trabalho Experimental

O principal objetivo deste trabalho é estudar e avaliar o comportamento do concreto de uso geral não armado de resistência de 25MPa aos 28 dias submetidas a temperaturas de 300°C, 600°C e 900°C com a finalidade de simular uma situação de incêndio. Para isso foi utilizada uma amostra do concreto utilizado na obra de construção do campus da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), em Foz do Iguaçu-PR.

Em uma mufla cedida pelo Laboratório de Tecnologia do Concreto da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional, estes corpos de prova, com idade aproximada de 180 dias, foram submetidos aos diferentes patamares de temperatura e, posteriormente, foram realizados os ensaios de compressão e do módulo de elasticidade, além de demonstrar a influência do grau de saturação do concreto. Desta forma foi possível comparar os resultados obtidos nos experimentos com os corpos de prova que foram mantidos sem aquecimento.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para a produção do concreto avaliado foi o cimento Portland CP IV-32 Itambé. Todo o cimento utilizado foi coletado de um mesmo lote. As Tabelas 1 e 2 mostram, respectivamente, as características física e química do cimento utilizado, segundo o fabricante.

Tabela 1 - Características físicas do cimento Portland CP IV-32

Características Físicas	*Valor*
Tempo de início de pega:	3h e 42 min
Tempo de fim de pega	4h e 19 min
Resistência à compressão (MPa)	1 dia - 13,6 3 dias - 26,0 7 dias - 32,4 28 dias - 43,0

Fonte: Fabricante, 2013

Tabela 2 - Composição química do cimento Portland CP IV-32

Composição Química	*Teor em Massa (%)*
Al_2O_3	10,30
SiO_2	28,29
Fe_2O_3	3,76
CaO	44,82
MgO	3,25
SO_3	2,52
CaO libre	0,87
Perda ao fogo	3,25

Fonte: Fabricante, 2013

4.2 Água

A água utilizada para o amassamento foi originada da rede de abastecimento local, potável e isenta de materiais orgânicos e impurezas.

4.3 Aditivos

De acordo com a ficha técnica dos aditivos utilizados, o aumento do tempo de trabalhabilidade do concreto e redução da segregação dos agregados foi proporcionado com o uso do aditivo BASF BF30, que, por ser um aditivo polifuncional, também ajuda reduzir a

quantidade de água de amassamento e facilita o lançamento e adensamento do concreto. Já o aditivo BASF Delvo foi empregado para retardar o tempo de pega do concreto, promovendo retardos extensos ou moderados, dependendo da quantidade adicionada à mistura.

4.4 Agregados

A granulometria dos agregados está descrita nas Figuras 3 e 4.

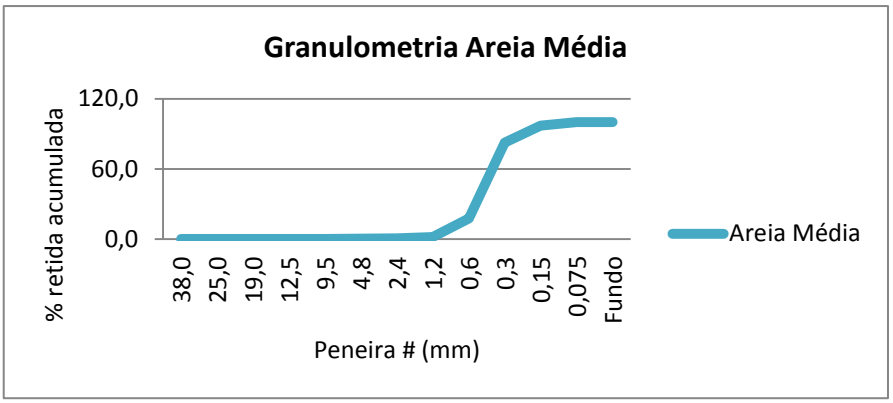

Figura 3: Granulometria Agregado Miúdo

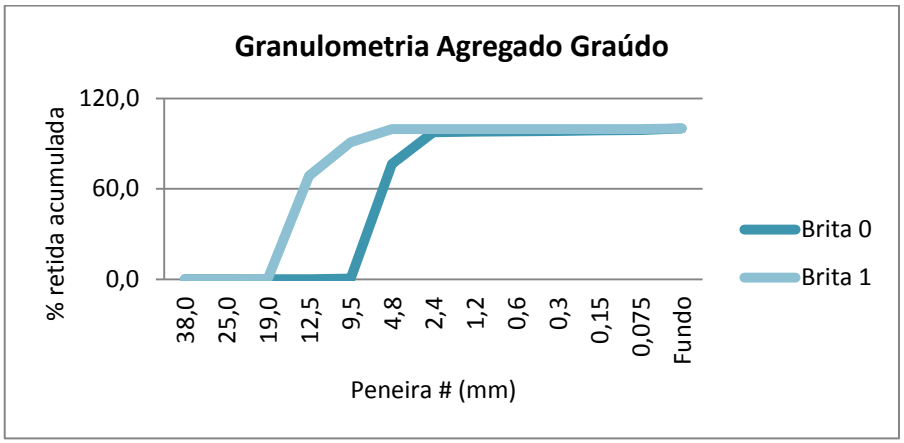

Figura 4: Granulometria Agregado Graúdo

4.5 Traço do Concreto

A amostra de concreto utilizada para a confecção dos corpos de prova foi coletada durante a concretagem de uma das cintas de fundação do que virá a ser o restaurante do campus da UNILA, e seu traço foi feito de acordo com o solicitado para a estrutura pelo projetista. A Tabela 3 exibe a especificação de traço do concreto empregado no estudo.

Tabela 3 - Traço do concreto

Dados Concreto: Hobimix		**Fck: 25 MPa**	**Slump: 100 +-20mm**				**Carta Traço:**
Cimento CP-V-Itambé (kg/m³)	Sílica Casca Arroz-GEEA (kg/m³)	Areia Média Maracaju (kg/m³)	Brita 0 Britafoz (kg/m³)	Brita 1 Britafoz (kg/m³)	Água ETA/Itaipu (kg/m³)	Aditivo BASF BF30 (kg/m³)	Aditivo BASF Delvo (kg/m³)
272	8	900	327	763	182	1,68	0,56

Fonte: Concreteira, 2013

4.6 Moldagem dos Corpos de prova

As amostras foram coletadas e moldadas de acordo com a *ABNT NBR 5738:2003* – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.

5. MÉTODO DE EXPOSIÇÃO A ELEVADAS TEMPERATURAS

O método de exposição dos corpos de prova a elevadas temperaturas consistiu em colocá-los em uma mufla elétrica (Figura 5), da marca Fornitec e modelo F2DM, de alta capacidade de aquecimento, podendo atingir até 1200°C, com o intuito de simular a quantidade de calor que a estrutura estaria submetida caso estivesse exposta a uma situação de incêndio real.

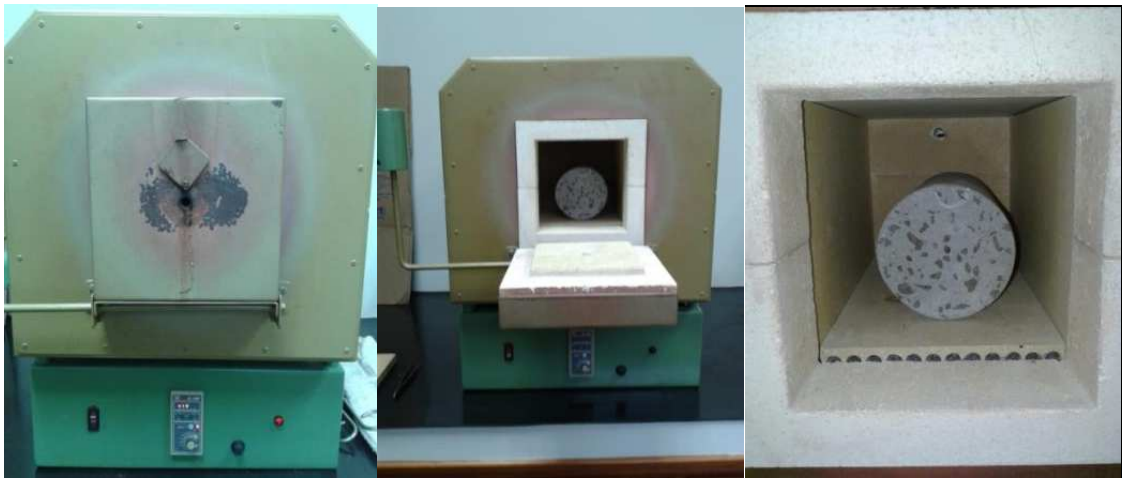

Figura 5: Mufla utilizada (AUTOR, 2013)

A escolha pela mufla foi feita devido à possibilidade de um controle da temperatura que será designada aos corpos de prova através do indicador de temperatura do próprio aparelho.

Para que perdessem o excesso de água, antes da queima, os corpos de prova foram mantidos em uma estufa FANEM modelo 320/3MP de potência 2500 W, a uma temperatura de 50°C por 15 dias. Após esse procedimento, todas as amostras foram envoltas por papel filme, como mostra a Figura 6, para que não voltassem a absorver água do ambiente.



Figura 6: Corpos de prova aguardando ensaios (AUTOR, 2013)

Uma vez atingida a temperatura desejada (300°, 600° ou 900°), os corpos de prova foram conservados neste patamar por 30 minutos, para simular o período mínimo de tempo que se espera que uma estrutura resista ao fogo, sugerido pela norma brasileira *ABNT NBR 14432:2001* Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimentos.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Todos os ensaios foram realizados em 6 corpos de prova submetidos a cada patamar de temperatura, aproximadamente 180 dias após sua moldagem. O equipamento utilizado foi uma Máquina Universal de Ensaios servo-controlada com capacidade de 1000kN, da marca Time.

A Figura 7, que apresentam os resultados obtidos nos ensaios de compressão, mostram que o grau de saturação dos corpos de prova de referência pouco influenciou na resistência à compressão. Além disso, comprovam que, como já esperado, a resistência à compressão é inversamente proporcional ao aumento da temperatura. A redução da resistência tem baixo impacto até os 300°C, se cresce exponencialmente aos 600°C, e ainda maior em temperaturas da ordem de 900°C.

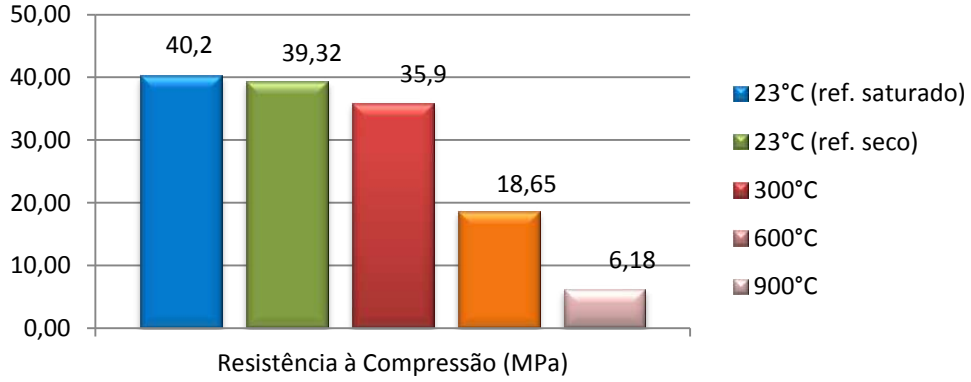

Figura 7: Comparação de resultados dos ensaios de resistêmncia à compressão (AUTOR, 2013)

A Tabela 4 apresenta os fatores de redução para cada temperatura utilizada no aquecimento, calculados a partir dos experimentos realizados.

Tabela 4 - Fator de redução da resistência à compressão

Temperatura	23°C (ref. saturado)	23°C (ref. seco)	300°C	600°C	900°C
Fator de Redução	1,00	0,98	0,89	0,46	0,15

Fonte: Autor, 2013

Já o módulo de elasticidade, apesar de apresentar as maiores perdas, não sofre uma queda tão brusca após os 300°C como a que observamos na resistência à compressão. A Figura 8 mostra essa redução gradativa.

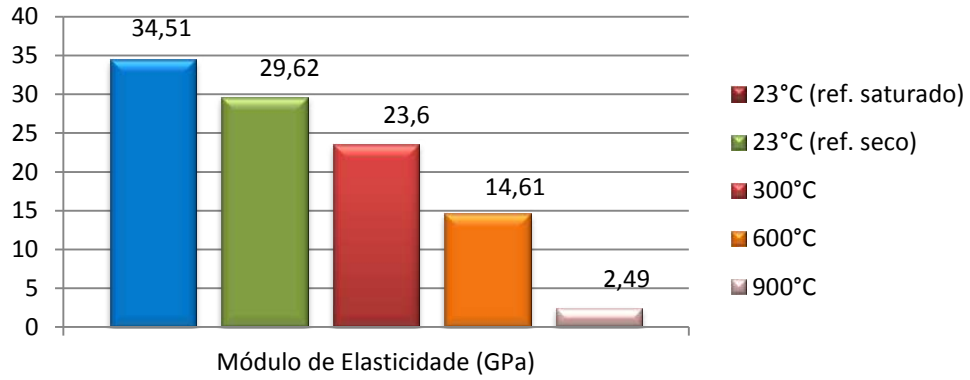

Figura 8: Comparação de resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (AUTOR, 2013)

A Tabela 5 apresenta os fatores de redução para cada temperatura, calculados a partir dos experimentos realizados para ensaios de módulo de elasticidade.

Tabela 5 - Fator de redução do módulo de elasticidade

Temperatura	23°C (ref. saturado)	23°C (ref. seco)	300°C	600°C	900°C
Fator de Redução	1,00	0,86	0,68	0,42	0,07

Fonte: Autor, 2013

A Figura 9 mostra os corpos de prova após o rompimento, destacando a diferença de coloração obtida em cada patamar de temperatura atingido.

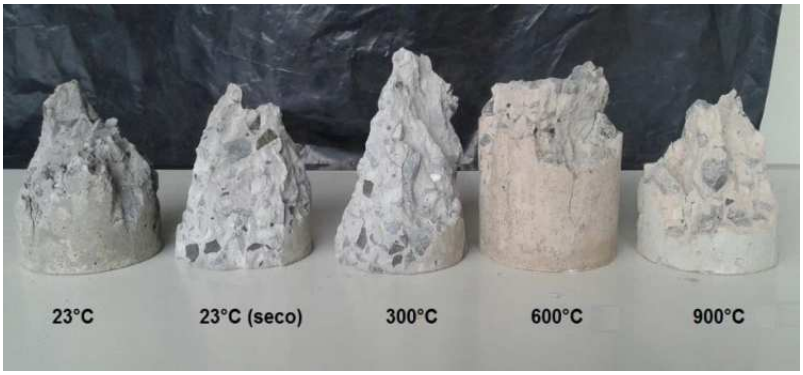

Figura9: Corpos de prova depois do rompimento (AUTOR, 2013)

7. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AS DETERMINAÇÕES DA NORMA ABNT NBR 15200:2012

A norma *ABNT NBR 15200:2012* - Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio propõe critérios para projetos de estruturas de concreto quando submetidas a situações de incêndio. Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos durante o estudo, foi feita uma comparação com as determinações da norma.

As Figuras 10 e 11 apresentam uma comparação dos valores dos fatores de redução da resistência à compressão e do módulo de elasticidade, respectivamente, obtidos durante os ensaios e os valores propostos pela norma.

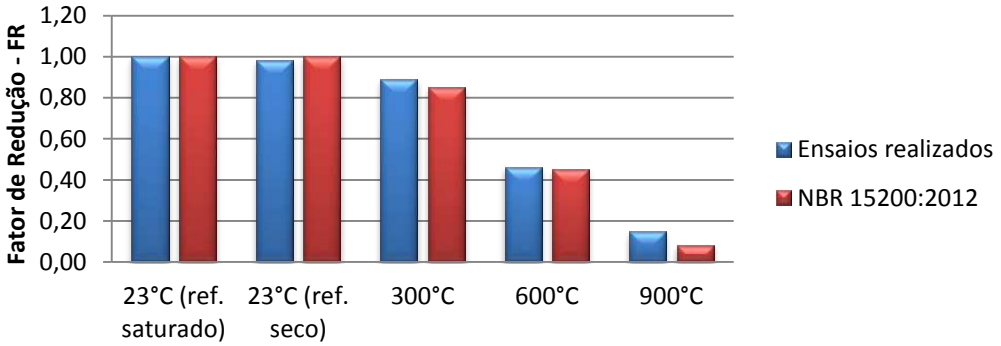

Figura 10: Comparação de resultados dos ensaios de resistência à compressão (AUTOR, 2013)

Com base nos dados obtidos na resistência à compressão, observa-se que mesmo a norma tendo valores mais exigentes, a amostra de referência seca foi a única que apresentou resultados abaixo do recomendado.

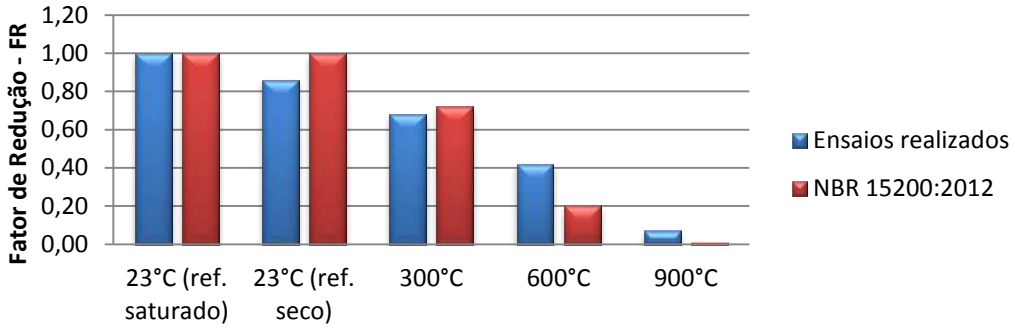

Figura 11: Comparação de resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (AUTOR, 2013)

No módulo de elasticidade é possível observar que a amostra de referência seca ficou abaixo do recomendado, assim como os resultados aos 300°C. Assim, pode-se afirmar novamente que o grau de saturação dos corpos de prova sem aquecimento exerce influência em seu módulo de elasticidade.

Já aos 300°C, mesmo seus resultados serem abaixo do recomendado pela *ABNT NBR 15200:2012*, a diferença dos fatores de redução foi pouco expressiva, de somente 0,04.

8. CONCLUSÕES

O programa experimental deste estudo contemplou a realização de ensaios de resistência à compressão e de módulo de elasticidade, voltados para a avaliação dos impactos de um incêndio em uma estrutura de concreto convencional (25MPa aos 28 dias). As perdas descritas são com base nos resultados obtidos após o aquecimento quando comparados com amostras não aquecidas.

Notou-se que o aquecimento a 300°C causa perdas na resistência à compressão do concreto (11%). Em relação ao módulo de elasticidade, observou-se uma perda de (37%), considerada amena. Também não ocorreram grandes modificações nas características visuais dos corpos de prova. Com esses resultados observa-se que a essa temperatura não ocorrem grandes danos à estrutura do concreto, podendo concluir que um rápido combate ao incêndio, e/ou a adoção de medidas de proteção ativas e passivas contribuiriam para a redução dos danos na estrutura.

Aos 600°C é possível observar uma deterioração mais acentuada na matriz do concreto, perdendo aproximadamente metade de sua resistência à compressão e também do módulo de elasticidade, de 54% e 58% respectivamente. Além disso, foi nesse patamar onde surgiram as primeiras fissuras e sinais de desgaste superficial. A partir desta temperatura torna-se necessária uma análise mais aprofundada na estrutura sinistrada e a adoção de reforços estruturais a fim de manter a integridade da edificação e de seus ocupantes.

Já aos 900°C ocorre uma severa perda tanto da resistência à compressão (85%) quanto do módulo de elasticidade do concreto (93%). Ainda, foi observado o intenso esfarelamento da

superfície, além de fissuras generalizadas e mais profundas. Os danos nesse patamar de temperatura são tão intensos que poderiam levar a condenação da estrutura.

Com base nos estudos conclui-se também que o grau de saturação do concreto exerce influência no módulo de elasticidade, pois causou uma redução de 14% no concreto de referência seco na estufa.

Alguns resultados obtidos divergiram dos apresentados por estudos anteriores. Esse fato pode ter sido ocasionado pelos diferentes tipos e teores de cimento utilizados na moldagem dos corpos de prova dos outros autores, aditivos empregados no concreto e até mesmo os métodos de exposição a elevadas temperaturas.

Em contrapartida, os fatores de redução alcançados no estudo se assemelharam aos propostos pela *ABNT NBR 15200:2012*. Essa compatibilização de resultados com a norma demonstra, no geral, a confiabilidade do procedimento adotado para os ensaios.

9. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738.** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 14432.** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15200.** Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. M.; MORALES, G. . A ação do fogo sobre os componentes do concreto. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas. **Anais...** Londrina, v. 32, n. 1, 2011, p. 47-55.

CASTRO, A. L.; TIBA, P. R. T.; PANDOLFELLI, V. C. . Fibras de polipropileno e sua influência no comportamento de concretos expostos a altas temperaturas. Revisão. **Cerâmica.** v. 57, n.341, 2011, p. 22-31. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 5 mai. 2013.

COSTA, C. N. ; FIGUEIREDO, A. D. ; SILVA, V. P. E. . Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas. In: Seminário Internacional - NUTAU'2002 - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano, 2002. **Anais…** São Paulo, 2002.

KLEIN JUNIOR, O. . **Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos à flexão normal composta.** 2011. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KOWALSKI, R. . **Mechanical Properties of Concrete Subjected to High Temperature.** 2010. The Silesian University of Technology. N. 2/2010. Poland.

LIMA, R. C. A. . **Investigação do comportamento de concretos em altas temperaturas.** 2005. 241 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. . **Concreto:** Microestrutura, Propriedades e Materiais. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

SILVA, V. P. . **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio:** Conforme ABNT NBR 15200:2012. São Paulo: Blucher, 2012.

SOUZA, A. A. A.. . **Influência do tipo de agregado nas propriedades mecânicas do concreto submetido ao fogo.** 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

WENDT, S. C. . **Análise da mudança de cor em concretos submetidos a altas temperaturas como indicativo de temperaturas alcançadas e da degradação térmica.** 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.