



DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA RESIDUAL DE CONCRETOS NACIONAIS, SUBMETIDOS A TEMPERATURAS ELEVADAS, EM FUNÇÃO DA CLASSE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Palavras-Chave: Incêndio, concreto, resistência mecânica.

Calel Martins da Silva-FECFAU-UNICAMP

Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Jr -FECFAU-UNICAMP

Msc Marcela Barros de Souza Sollero-FECFAU-UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A concepção estrutural de uma edificação depende da correlação entre o comportamento dos materiais desta estrutura, tanto em situação ambiente quanto em situação de incêndio. No caso das estruturas em concreto armado, a normatização nacional atual apresenta lacunas tanto em relação ao comportamento, sob elevadas temperaturas, de concretos com diferentes classes de resistência, propriedade mecânica que afeta marcadamente seu desempenho, quanto às condições de ensaio para avaliação da resistência mecânica residual do material pós aquecimento.

A exposição do concreto às altas temperaturas decorrentes de incêndios afeta progressivamente suas propriedades mecânicas. Como consequência, as estruturas de concreto podem apresentar comprometimento quanto aos aspectos da estabilidade, da funcionalidade e da durabilidade. Para sua avaliação e reabilitação, é necessário conhecimento das propriedades mecânicas residuais do concreto após a exposição às altas temperaturas. É notório que os principais parâmetros que afetam a resistência residual do concreto pós aquecimento a temperaturas elevadas são o tipo de agregado e a classe de resistência à compressão.

A norma brasileira ABNT NBR 15200:2012 apresenta curvas de redução das propriedades mecânicas de concretos executados somente com agregados silicosos e remete à norma europeia EN 1992-1-2 para concretos executados com agregados calcários ou de classe de resistência mais elevada (Figura 1).

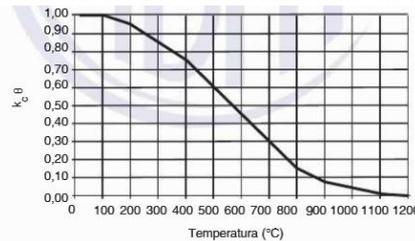


Figura 1: Comportamento do concreto durante o aquecimento

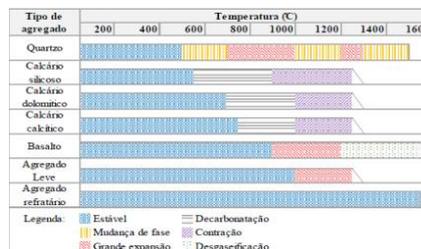


Figura 2: Comportamento dos agregados durante aquecimento.

O uso de agregados silicosos ainda é predominante no Brasil, tanto em obras correntes e especiais, quanto em estudos voltados ao comportamento do concreto em situação de incêndio. Quando o concreto contendo calcário é exposto a altas temperaturas em um incêndio, ocorre a decomposição térmica do carbonato de cálcio. Os poros resultantes enfraquecem a estrutura do concreto, reduzindo sua resistência e capacidade de suportar cargas.

Observa-se também o uso de resistências a compressão nominais cada vez mais elevadas nas edificações em concreto atuais em nosso país. O conhecimento do comportamento específico dos concretos brasileiros, executados com materiais de uso corrente em nosso país, expostos às altas temperaturas, e de classes de resistência à compressão variadas, portanto, possui grande valia para a elaboração de projetos para execução e recuperação de estruturas.

A pesquisa aqui apresentada é parte de pesquisa em andamento na FECFAU-UNICAMP dedicada à obtenção de curvas de decréscimo da resistência mecânica residual de amostras de concreto, executadas com agregados de uso comum em nosso país, expostas a temperaturas compreendidas entre 200 C e 800 C, e de resistência à compressão usual, alta e ultra alta. Neste projeto de pesquisa em particular avalia-se a resistência mecânica residual de concretos submetidos a temperaturas compreendidas entre 200 C e 800 C, de resistência à compressão usual e de elevada resistência, executados com agregado gráudo calcário. Ao final, os resultados obtidos são comparados com os previstos pelos códigos normativos nacionais e internacionais em vigor, bem como avaliados em relação a resultados obtidos em pesquisas nacionais e internacionais semelhantes.

METODOLOGIA:

Foram utilizados corpos de prova (CPs) de concreto com agregados gráudos de calcário e de característica binária tem a adição de sílica. Para estes estudos foram utilizadas duas classes de resistência de concreto, sendo a primeira com resistência convencional da ordem de 30 MPa e a segunda de alta resistência, com 70 MPa.

Tabela 1: Características dos corpos de prova de resistência convencional valores médios.

Ø (cm)	L (cm)	Densidade (g)	Coef. Poisson (v)	Massa Pré-Queima (g)
10,07	29,7	2394,59	0,207	5667,29

Ø=diâmetro de um objeto circular, L=comprimento de um objeto, Coef. Poisson= medida em relação a deformação lateral e axial.

Tabela 2: Características dos corpos de prova de alta resistência valores médios.

Ø (cm)	L (cm)	Densidade (g)	Coef. Poisson (v)	Massa Pré-Queima (g)
10,03	29,5	2350,68	0,247	5554,04

Os CPs foram moldados, sazoados e ensaiados para determinação de suas propriedades mecânicas residuais conforme as recomendações RILEM TC 129 MHT e RILEM TC 200 HTC. O traço C30 foi confeccionado com 1 parte de cimento Portland, 2,0 partes de areia natural média e 3,0 partes de agregado gráudo (em massa), com relação água/cimento de 0,49. Portanto, a proporção (em massa) foi de 1:2:3:0,49. Já o traço C70 foi confeccionado com 1 parte de cimento Portland, 1,5 partes de areia natural média e 1,5 partes de agregado gráudo (em massa), com relação água/cimento de 0,35. Também foi utilizado 10% de adição de sílica ativa em relação à massa de cimento. Portanto, a proporção foi de 1:1,5:1,5:0,1:0,35 (CP:areia:brita:SA:0,35), sendo expostos às temperaturas de 200 °C, 400 °C, 600 °C e 800 °C com taxa de aquecimento e resfriamento de 1 °C/min e patamar de 60 min. Antes e após o aquecimento, os corpos de prova foram alvo de ensaio de ultrassom conforme a norma ABNT NBR 8802:2019.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O calcário é um gráudo comumente utilizado, internacionalmente, para a execução de concreto na construção civil. Segundo os resultados obtidos, o calcário tem grande resistência em situação convencional, em temperatura ambiente. Quando exposto a temperaturas altas, como em situação de incêndio, o calcário se mostra um agregado de desempenho questionável em temperaturas próximas dos 600°C, perdendo resistência mecânica e sendo pouco resistente à compressão. Quando a exposição ao ambiente da construção civil deve prever o risco de incêndios e zelar pela segurança e integridade das pessoas e dos bens, a opção pelo concreto com agregado calcário deve levar em consideração a eventual exposição a temperaturas acima de 600°C, a depender do projeto que utilizará este concreto.



Figura 3: CP exposto a 600°C apresentando fissuras após o aquecimento



Figura 4: CP de 600°C após ensaio de compressão.

Na Tabela 1, são apresentados os resultados de resistência a compressão residuais médias do concreto convencional.

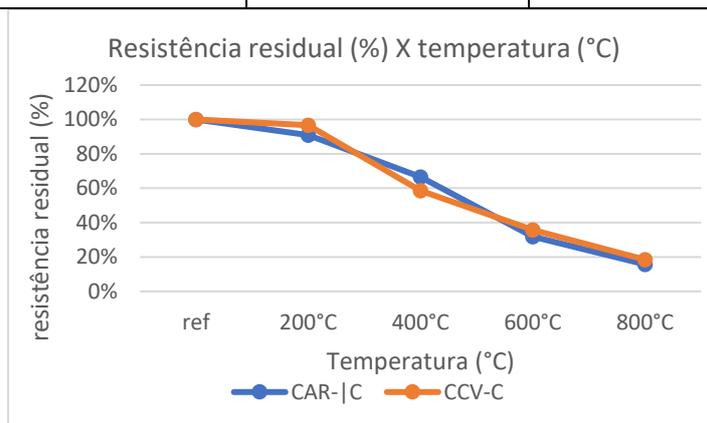
Tabela 1: Resistência a compressão residuais médias do concreto convencional

CORPOS DE PROVA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	
	MPa	% _{REF}
CCV-C REF	26,80	-
CCV-C 200°C	25,90	96,64
CCV-C 400°C	15,70	58,58
CCV-C 600°C	9,60	35,82
CCV-C 800°C	4,95	18,47

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de resistência a compressão residuais médias do concreto de alta resistência.

Tabela 2: Resistência a compressão residuais médias do concreto de alta resistência

CORPOS DE PROVA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	
	MPa	% _{REF}
CCV-C REF	70,50	-
CCV-C 200°C	64,13	90,97
CCV-C 400°C	46,9	66,53
CCV-C 600°C	22,49	31,90
CCV-C 800°C	11,08	15,72



CONCLUSÕES

O concreto convencional com agregados graúdos de calcário apresentou redução na resistência à compressão axial à medida que a temperatura aumentou, seguindo uma curva parabólica exponencial até 800°C.

Quando o concreto com calcário é exposto a altas temperaturas durante um incêndio, ocorre a decomposição térmica do carbonato de cálcio (CaCO_3), liberando dióxido de carbono (CO_2) e formando óxido de cálcio (CaO), conhecido como cal viva. A reação química é: CaCO_3 (calcário) \rightarrow CaO (cal viva) + CO_2 (dióxido de carbono). Essa decomposição do calcário resulta em uma perda de massa do concreto e cria porosidade significativa. Os poros enfraquecem a estrutura do concreto, reduzindo sua resistência e capacidade de suportar cargas. Em resumo, a exposição do concreto contendo calcário ao calor intenso em um incêndio pode comprometer severamente a integridade e a qualidade do material. Por tanto temos explicação de qual motivo a leitura de ultrassom também se torna mais difícil de ser realizada acima dos 600°C.

Os testes com concreto de calcário de alta resistência, adicionados com sílica ativa, apresentaram comportamento semelhante ao concreto de calcário de resistência convencional. Os resultados dos rompimentos mostraram perdas percentuais semelhantes em temperaturas mais altas. A 800°C, o concreto convencional com calcário teve uma resistência residual à compressão de 18% em relação ao valor de referência, enquanto o concreto de alta resistência com calcário teve 16%. A 200°C, a perda foi de 3,36% para o concreto convencional e 9,03% para o de alta resistência. A 400°C, as perdas foram de 41,42% para o convencional e 33,47% para o de alta resistência. E a

600°C, as perdas foram de 64,18% para o convencional e 68,1% para o de alta resistência. De acordo com a Eurocode 2 (EN 1992-1-2) os valores para a resistência a compressão em 200°C pode ser reduzida em cerca de 20-40%, em 400°C a resistência pode ser de 40-70%, 600°C pode sofrer redução superior a 70% e acima de 600°C a redução pode ser anulada. De acordo com a norma brasileira NBR 15200:2004 Para temperaturas de até 200°C: redução máxima de 10% na resistência; para temperaturas entre 200°C e 300°C: redução máxima de 20% na resistência; Para temperaturas entre 300°C e 500°C: redução máxima de 30% na resistência.

Com isto concluímos que de acordo com o Eurocode 2 (EN 1992-1-2) os testes estiveram todos dentro do padrão previsto, já para a norma brasileira nós temos uma redução maior da resistência mecânica para as temperaturas de 400°C.

BIBLIOGRAFIA

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1992-1-2**. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1.2: General Rules – Structural Fire Design. CEN, Bruxelas, 2004.

RILEM TC 129-MHT. **Recommendation of RILEM TC 129-MHT**: Test Methods for Mechanical Properties of Concrete at High Temperatures – Compressive strength for service and accident conditions. 1995.

RILEM TC 200-HTC. **Recommendation of RILEM TC 200-HTC**: Mechanical concrete properties at high temperature - Modelling and applications. 2007.

SCHNEIDER, Ulrich. Concrete at High Temperatures – A General Review. Fire Safety Journal [s.l.], v. 13, p. 55-68, 1988.

SOLLERO, Marcela Barros de Souza. **Propriedades Mecânicas Residuais do Concreto em Situação de Incêndio**. 2019. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2019.