

ESTUDO DO CONCRETO SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS COM DIFERENTES TIPOS DE AGREGADOS

GUSTAVO MATHEUS SANTOS¹
VINICIUS GONSALES DIAS²
REJANE GONÇALVES DA ROCHA ²

RESUMO: O concreto é elemento essencial na construção civil, estando presente em suas mais diversas áreas. Devido à sua alta heterogeneidade e à complexidade de seus componentes, seu comportamento em situações excepcionais se torna imprevisível. O presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento desse material submetido a altas temperaturas, assim como o efeito de sua reidratação e a utilização de diferentes tipos de agregado, comparando sua resistência à compressão. Para isso, foram moldados 45 corpos de prova de concreto, com traço 1 : 2,17 : 2,95 (cimento : areia : agregado graúdo), sendo utilizados como agregado graúdo a brita granítica e o calcário dolomítico e em três proporções diferentes. O ensaio foi feito com fogo a lenha, com duração de 1 hora e suas temperaturas não atingiram os 300°C. O concreto com brita foi o que melhor manteve sua resistência após exposto ao fogo, mostrando ineficiência da substituição da brita por calcário. Além disso, a reidratação submersa do concreto por 7 dias não resultou em recuperação, mas sim perda de resistência mecânica.

PALAVRAS-CHAVE: altas temperaturas; propriedades mecânicas; reidratação; resistência residual.

STUDY OF CONCRETE EXPOSED TO HIGH TEMPERATURES WITH DIFFERENT TYPES OF AGGREGATES

ABSTRACT: Concrete is an essential element in civil construction, being in its most diverse areas. Due to its high heterogeneity and the complexity of its components, its behavior in exceptional situations is unpredictable. The present study aims to analyze the behavior of this material subjected to high temperatures, as well as the effect of its rehydration and the use of different types of aggregate, comparing its resistance to compression. For this, 45 specimens of concrete with proportions of 1: 2,17: 2,95 (cement: sand: coarse aggregate) were molded, with crushed stone and dolomitic limestone being used as aggregates in three different proportions. The test was done with

¹ Engenheiro Civil, UNEMAT, Av. dois Ingás, 3001, Sinop - MT, CEP 78555-000.

² Professor, Curso de Engenharia Civil, FACULDADE FASIFE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: engenharia@fasife.com.br

wood fire, for 1 hour and its temperatures did not reach 300°C. Concrete with crushed stone was the one which best maintained its resistance after exposure to fire, indicating inefficiency of crushed stone replacement by limestone. Besides, the submerged rehydration of the concrete for 7 days did not cause any recovery, but instead loss of mechanical resistance.

KEYWORDS: high temperatures; mechanical properties; rehydration; residual resistance

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o material estrutural mais utilizado no mundo, contendo fases heterogêneas e altamente complexas que dificultam seu entendimento. Este material é a mistura de água, cimento e agregados graúdos e miúdos e sua principal propriedade mecânica é a resistência à compressão. Além disso, sua disponibilidade no mercado, seu baixo custo e a facilidade de ser modelado também são algumas vantagens do concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Em situações de altas temperaturas, como num incêndio, as estruturas têm sua resistência reduzida, podendo chegar ao colapso nos casos mais extremos, dependendo das temperaturas atingidas e do tempo de exposição. No geral, o concreto apresenta boas características em relação ao fogo, não emitindo gases tóxicos e tendo baixa condutividade. Entretanto, os materiais utilizados no concreto, o traço, o preparo e o tamanho da peça, entre outros fatores, também influenciam seu comportamento exposto ao fogo (MEHTA E MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 1997).

As fases do concreto, composto por pasta de cimento, agregado e zona de transição, não se comportam da mesma maneira quando submetidas a altas temperaturas, se decompondo, expandindo e até mesmo absorvendo calor em diferentes níveis. Dessa forma, o estudo de cada uma delas é fundamental para o conhecimento do comportamento do concreto como um todo (LIMA et. al., 2004).

Incêndios ocorrem de forma inesperada e em muitas vezes tomam grandes proporções, se propagando rapidamente e fugindo de controle. Podem causar danos materiais, ambientais e humanos. Quando um incêndio atinge uma construção, essa tem suas estruturas comprometidas. Com o passar do tempo em que a estrutura fica exposta ao fogo, ela perde sua resistência e, conseqüentemente, suas funções primárias.

Portanto, este trabalho pretendeu avaliar o desempenho de traços de concreto com substituição parcial e total do agregado graúdo, analisando seu desempenho frente a solicitações de incêndio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Incêndio

Segundo Costa e Silva (2002), o aumento de temperatura de um elemento numa situação de incêndio é provocado pelas ações térmicas ali presentes. Tais ações são provenientes do fluxo de calor condutivo no interior do elemento e o fluxo de calor radioativo e convectivo provenientes dos gases e chamas.

Rosso (1975, apud Morales, Campos e Faganello, 2011) afirma que um incêndio em uma edificação apresenta três fases. Na inicial a temperatura aumenta de

forma gradual podendo chegar aos 300°C, sendo que até os 250°C o elemento de concreto não sofre maiores danos em suas características. Na fase intermediária ocorre uma combustão generalizada, aumentando bruscamente a temperatura e causando os maiores danos de resistência da estrutura. A fase final é caracterizada pelo resfriamento, que pode ser brusco ou lento. O resfriamento brusco causa grande perda de resistência, enquanto o lento possibilita a recuperação de grande parte da resistência original do concreto, dependendo da temperatura máxima atingida no incêndio.

2.2 Concreto

Mehta e Monteiro (2008) descrevem o concreto como o resultado da mistura de água, cimento e agregados naturais ou britados, sendo o elemento estrutural mais utilizado no mundo. Sua característica mais relevante a resistência à compressão, que está diretamente ligada a outras propriedades, tais como o módulo de elasticidade e impermeabilidade. A resistência é definida pelos autores citados como a capacidade do material de suportar carga sem apresentar fissuras. Segundo Araújo (2014), a resistência à compressão do concreto será maior quando o consumo de cimento for maior e a relação água-cimento menor. Tal característica pode também sofrer influência dos agregados e aditivos usados, conforme a necessidade de cada caso.

De acordo com a ABNT - NBR 5738 (2008), a resistência do concreto é encontrada a partir do ensaio de compressão uniaxial de corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. Sua altura deve ser igual ao dobro do diâmetro e seu tempo de cura, úmida ou saturada, de 28 dias. O concreto é classificado pela ABNT - NBR 8953 de acordo com sua resistência característica à compressão (F_{ck}), que é um valor superior a apenas 5% dos valores de resistência de todos os corpos-de-prova (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

A NBR 15200 (2004) adverte que, com o aumento da temperatura, o concreto perde parte de sua resistência. A Figura 1 apresenta a resistência residual do concreto, em função da temperatura, com dois tipos de agregados: silicoso e calcário.

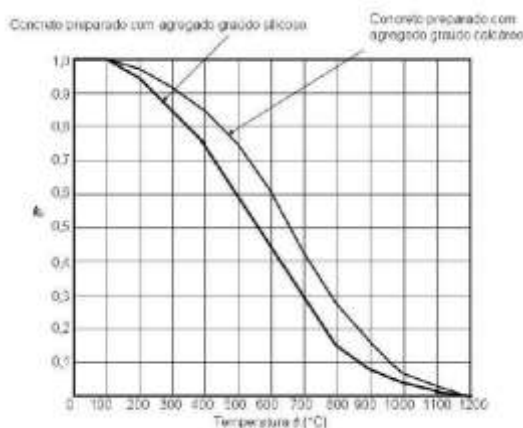


Figura 1 - Fator de resistência residual do concreto em função

2.3 Efeitos das altas temperaturas na macroestrutura do concreto

Ao analisar visualmente o concreto que sofreu aumento de temperatura, pode-se observar o surgimento de fissuras ou “deslocamentos”. Estes são conhecidos como efeito *spalling*, que, segundo Costa, Figueiredo e Silva (2002), é resultado pelo aumento

de pressão no interior da massa de concreto. Tal aumento decorre da rápida movimentação de ar, água e vapor nos poros, que se deslocam do interior para a superfície do concreto afim de serem liberados. Quando eles não são liberados através de fissuras ou devido à baixa permeabilidade do concreto, ocorre o efeito *spalling*.

Outro efeito na macroestrutura do concreto é a mudança de coloração. O concreto até a casa dos 200°C permanece cinza e não sofre grandes perdas de resistência. A partir dos 300°C passa a ter tonalidade entre rosa e vermelho e sua resistência, aos 600°C, já metade da inicial. Entre 600°C e 950°C, o concreto volta a apresentar coloração cinza com pontos avermelhados, tendo pouca resistência à compressão. Com temperatura de 950°C, o material se torna amarelo alaranjado e começa a sofrer sintetização. Por fim, com 1200°C o concreto é reduzido a um material calcinado e mole, de cor amarelo claro e resistência desprezível (CÁNOVAS, 1988).

A Figura 2 apresenta a resistência residual e a coloração do concreto em função da temperatura.

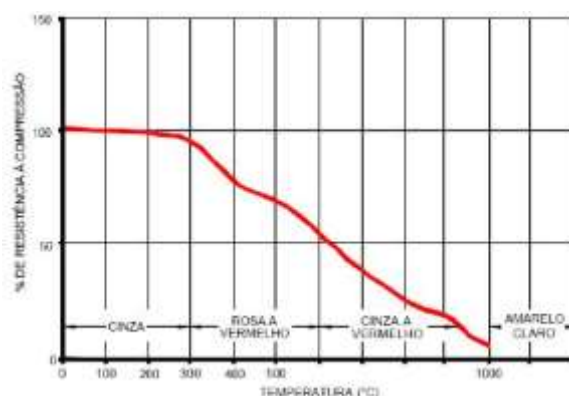


Figura 2- Resistência e coloração do concreto em função da

2.4 Efeitos das altas temperaturas na microestrutura do concreto

O concreto é um material heterogêneo que apresenta como componentes o agregado e a pasta de cimento. Entretanto, ao analisar sua microestrutura, pode-se considerar a existência de um terceiro componente: a zona de transição. Trata-se da porção de pasta de cimento que está em contato com o agregado, sendo da natureza de 1/20 mm. A zona de transição é a parte mais frágil do concreto pois apresenta relação água-cimento superior à da pasta de cimento, sendo mais porosa (LIMA et. al., 2004; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2008), a complexidade do concreto deve-se à complexidade de seus componentes. Eles afirmam que o agregado contém diversos minerais, vazios e microfissuras em suas partículas e tanto a pasta de cimento quanto a zona de transição são heterogêneas, podendo ser densas ou porosas em diferentes locais. Além disso, as duas últimas fases do concreto estão sujeitas a transformações com o tempo e alteração de temperatura.

As principais fases sólidas de uma pasta de cimento hidratada são: silicato de cálcio hidratado (C-S-H); hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂); sulfoaluminatos de cálcio; e grãos de clínquer não hidratados. A pasta, que contém também água capilar e adsorvida, não sofre aumento de temperatura até que toda a água contida nela evapore, o que acontece a temperaturas a partir dos 100°C, gerando grande pressão interna na massa e causando o efeito *spalling* (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.5 Efeitos das altas temperaturas no agregado

Deformações nos agregados influenciam significativamente o concreto, visto que eles representam de 60% a 80% do volume total dessa estrutura. Quando submetidos a altas temperaturas, os agregados têm seu volume aumentado, dependendo da temperatura atingida e de características como condutividade térmica, porosidade e tamanho do agregado. (METHA & MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 1997).

Segundo Neville (1997), os minerais que compõem os agregados têm papel fundamental no valor de condutividade térmica (capacidade de conduzir calor) e difusividade térmica (velocidade de variação de temperatura) do concreto. O basalto apresenta baixa condutividade, enquanto os calcários, média, e o quartzo tem alta condutividade.

Agregados silicosos sofrem expansão súbita de volume em temperatura em volta de 573°C. Por esse motivo, no concreto preparado com esse tipo de agregado ocorre o efeito spalling. Já o agregado calcário retarda o aumento da temperatura, sofrendo expansão e fragmentação, conhecido com efeito sloughing (COSTA E SILVA, 2002; OLIVEIRA, 2006).

2.6 Efeitos da reidratação do concreto

Souza e Moreno (2010) mostraram que o concreto com calcário como agregado graúdo, quando aquecido até 300°C, atingiu cerca de 70% de sua resistência inicial compressão após reidratação imersa em água por 28 dias e mais de 80% após 112 dias. Já ao atingir os 600°C, o mesmo tipo de concreto recuperou cerca de 50% e 60% após os mesmos períodos, respectivamente.

Os autores citados acima ressaltam ainda que o tipo de agregado tem interferência mínima na recuperação das propriedades do concreto, embora tenha grande influência na perda das mesmas devido às altas temperaturas. Segundo Cánovas (1988), um concreto que tenha atingido temperatura máxima não superior a 500°C pode recuperar até 90% de sua resistência inicial através do processo de reidratação após um ano. Essa afirmação é evidenciada posteriormente por Souza e Moreno (2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo experimental foi realizado no laboratório de concreto e solos da Universidade do Estado de Mato Grosso, *campus* de Sinop, sendo composto pelas seguintes etapas: moldagem, cura, exposição ao fogo, reidratação e ruptura das amostras de concreto e análise dos resultados.

Os corpos de prova foram preparados conforme a ABNT - NBR 5738 (2008), com dimensões 10 x 20 cm (diâmetro x altura) e adensamento manual com 12 golpes divididos em duas camadas. O concreto foi feito em betoneira e o traço utilizado foi para Fcm de 25 MPa, com proporções de massa de 1 : 2,17 : 2,95 (cimento : areia : agregado graúdo) e relação água/cimento de 0,5. Os agregados graúdos utilizados foram a brita 1 (tipo granítica) e o calcário dolomítico (dolomita comercial, destinada à jardinagem) e foram preparadas amostras com três proporções diferentes: uma contendo apenas brita; outra apenas dolomita; e a última com metade de cada agregado.

Para cada proporção foram moldados 15 corpos de prova, totalizando 45. Após 24 horas, as amostras foram retiradas dos moldes e passaram pelo processo de cura submersa durante 28 dias em água potável. Após a cura, 5 amostras de cada proporção de agregado foram testadas quanto à sua resistência à compressão, afim de se obter

valores de comparação. O restante das amostras foi submetido a uma simulação de incêndio.

A exposição das amostras ao calor foi realizada com fogo a lenha, envolto por tijolos para obtenção de maior aquecimento. Os corpos de prova foram dispostos de acordo com sua composição, afim de facilitar o reconhecimento de cada um deles após a ação do calor, e foram utilizadas madeiras de resíduo e de diversos tamanhos.

As temperaturas das amostras foram obtidas com a câmera térmica Flir T420, cedida pelo Departamento de Engenharia Civil da UNEMAT, que apresenta as temperaturas através das cores. As cores frias, partindo do azul, representam as temperaturas mais baixas, enquanto as quentes, como o vermelho, indicam as maiores. Antes do registro da imagem é feita a calibragem da câmera, sendo ajustada a escala das cores em relação às temperaturas.

A temperatura máxima no momento do registro é indicada no canto superior esquerdo da figura, podendo, entretanto, estar fora da escala de cores pois esta não é alterada automaticamente conforme a temperatura máxima do momento registrado. As temperaturas são apresentadas em graus Celsius.

Após a medição das temperaturas, os corpos de prova foram resfriados de forma lenta à temperatura ambiente, não sofrendo nenhuma queda brusca de temperatura. Passadas 24 horas do ensaio, na idade de 30 dias, 15 corpos de prova, correspondentes a 5 amostras de cada proporção, passaram pelo teste de resistência à compressão. Já os outros 15 foram submetidos novamente à cura submersa por 7 dias.

Após o período de reidratação, o restante dos corpos de prova foi rompido afim de analisar uma possível recuperação de sua resistência inicial. Todas as amostras passaram pelo ensaio de resistência à compressão uniaxial realizado em uma prensa hidráulica manual, seguindo as especificações da NBR 5739 (2007), Com isso, foram completados os ensaios e recolhidos os dados necessários para a análise de resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 03 apresenta os resultados do teste à compressão dos corpos de prova submetidos à cura por 28 dias, assim como a média dos valores para cada tipo de amostragem. A média apresentada não se refere à resistência característica (F_{ck}), mas à resistência média (F_{cm}).

| Agregado | Resistência (MPa) | Média (Mpa) | Desvio Padrão |
|-----------------|-------------------|-------------|---------------|
| Brita granítica | 24,71 | 26,41 | 1,17 |
| | 27,72 | | |
| | 25,38 | | |
| | 27,41 | | |
| | 26,83 | | |
| 50/50 | 24,89 | 25,53 | 0,54 |
| | 25,34 | | |
| | 25,29 | | |
| | 25,63 | | |
| | 26,51 | | |
| Dolomita | 27,11 | 26,99 | 0,91 |
| | 28,25 | | |
| | 25,52 | | |
| | 26,64 | | |
| | 27,44 | | |

Figura 3 -Resistência à compressão após cura de 28 dias.

Os valores apresentados acima cumpriram com a proposta inicial, que era produzir o concreto de resistência média à compressão de 25 MPa. Durante a realização do experimento com fogo a lenha, não foi observado o efeito *spalling*, tampouco alterações de cor ou grandes fissuras nas peças de concreto. O único efeito apresentado na macroestrutura desse material foi o surgimento de algumas pequenas fissuras na sua superfície. Entretanto, vale ressaltar que após cerca de 30 minutos do início do ensaio, pôde-se observar a evaporação da água do concreto através de seus poros.

As amostras do concreto preparado apenas com brita atingiu a temperatura de 236°C, Já as amostras contendo apenas a dolomita como agregado graúdo apresentaram temperatura máxima de 235°C, Por fim, a Figura 15 mostra os corpos de prova com os dois agregados em proporções iguais, com temperatura de 206°C no momento do registro da imagem térmica. As amostras expostas ao calor do fogo tiveram perda de resistência com médias entre 2,7 e 3,6 MPa, valores que representam porcentagens que variam de 10,5% a 14%.

Mesmo com pouca variação, as amostras que melhor mantiveram suas características foram as feitas apenas com brita, enquanto as mais afetadas pelas altas temperaturas foram as que continham tanto brita quanto calcário.

As resistências média e residual após essa etapa do experimento são apresentadas na Figura 4.

| Agregado | Resist. (MPa) | Média (Mpa) | Desvio Padrão | Resist. residual |
|-----------------|---------------|-------------|---------------|------------------|
| Brita granítica | 27,03 | 23,62 | 23,62 | 89,44% |
| | 23,55 | | | |
| | 21,73 | | | |
| | 22,51 | | | |
| | 23,27 | | | |
| 50/50 | 23,50 | 21,96 | 21,96 | 86,02% |
| | 23,02 | | | |
| | 20,61 | | | |
| | 21,21 | | | |
| | 21,45 | | | |
| Dolomita | 23,21 | 23,93 | 23,93 | 88,65% |
| | 24,23 | | | |
| | 21,73 | | | |
| | 24,92 | | | |
| | 25,54 | | | |

Figura 4 Resistência à compressão após a exposição ao fogo.

No momento em que foram colocados novamente para cura em água, foi possível notar a presença de vazios nas amostras através do “borbulhamento” da água, que estava se deslocando para o interior do concreto.

Após o período de 7 dias, era esperado que as amostras apresentassem alguma melhora em suas propriedades mecânicas devido à reidratação da pasta de cimento, como

mostrado por Souza e Moreno (2010) após 28 dias em reidratação imersa. Entretanto, o resultado obtido foi justamente o oposto: houve perda de resistência à compressão. De fato, não só houve decréscimo de resistência, mas também este foi maior que a perda devido à exposição ao fogo.

Os três tipos de concreto mostraram reações semelhantes, com perdas de resistência muito próximas se consideradas as proporções em relação à resistência inicial. As amostras que não continham calcário apresentaram a menor perda, como detalhado na Figura 5.

| Agregado | Resist. (MPa) | Média (Mpa) | Desvio Padrão | Recuperação/ Fc inicial |
|-----------------|---------------|-------------|---------------|-------------------------|
| Brita granítica | 18,07 | 19,09 | 0,70 | -17,15% |
| | 19,80 | | | |
| | 18,74 | | | |
| | 18,89 | | | |
| | 19,95 | | | |
| 50/50 | 17,85 | 17,53 | 0,72 | -17,35% |
| | 16,95 | | | |
| | 16,50 | | | |
| | 18,53 | | | |
| | 17,83 | | | |
| Dolomita | 18,69 | 19,24 | 0,79 | -17,35% |
| | 19,67 | | | |
| | 20,56 | | | |
| | 18,32 | | | |
| | 18,97 | | | |

Figura 5 - Resistência à compressão após a exposição ao fogo e a reidratação.

A Figura 6, mostra os valores de resistência média à compressão dos três tipos de amostras após cada etapa do experimento. No gráfico pode ser observado que, em valores absolutos, o concreto com dolomita apresentou os maiores resultados após todas as três etapas, enquanto o com metade de cada agregado, os menores. Já o concreto com brita granítica teve valores intermediários aos outros dois.

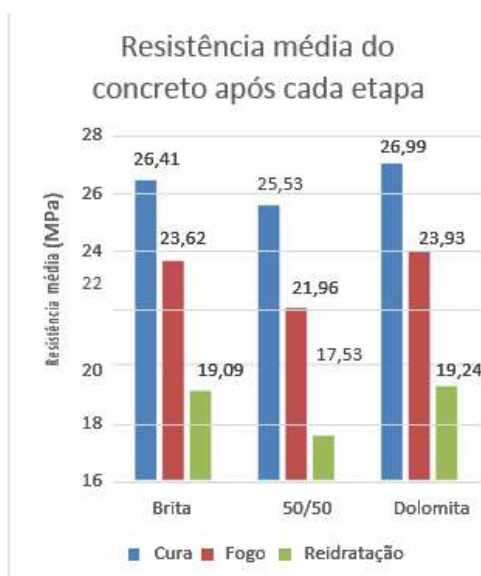


Figura 6 - Resistência média à compressão do concreto

5. CONCLUSÃO

Os dados colhidos no presente estudo mostraram a perda de resistência à compressão do concreto, quando exposto a temperaturas abaixo dos 300°C, com valores que não ultrapassaram os 14%, evidenciando o que já havia sido mostrado previamente pela ABNT na NBR 15200 (2004) e por Cánovas (1988). Mesmo em contato direto com as chamas, os três tipos de amostra tiveram boa reação a essas temperaturas, não apresentando mudanças de cor ou deslocamentos explosivos.

Analisando os valores de resistência, a substituição da brita por calcário dolomítico não apresentou resultados satisfatórios. O concreto com brita granítica foi o que melhor manteve sua resistência, com 89,44% após seu aquecimento, enquanto o concreto com substituição total apresentou 88,65% e a substituição parcial, 86,02%. A brita teve também a menor perda devido à cura posterior ao aquecimento, com um decréscimo de 17,15%. Já os concretos com substituições parcial e total sofreram o mesmo decréscimo: 17,35%.

Assim, com base nos dados aqui apontados, a substituição dos agregados graúdos não teve influência positiva no comportamento do concreto quando exposto a temperaturas de até 300°C, seja ela parcial ou total. Na mesma linha, a cura submersa de 7 dias influenciou negativamente a recuperação da resistência do concreto, contrariando as pesquisas realizadas anteriormente a este estudo.

As conclusões diretas sobre o motivo de não haver uma recuperação neste curto período de cura não podem ser respondidas neste trabalho. É necessário, então, um estudo dirigido à evolução da resistência do concreto submetido novamente à cura por diferentes períodos, após o mesmo ter sido exposto a altas temperaturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 13860: **Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 15200: **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**, Rio de Janeiro, 2004.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 4a ed. Rio Grande: Dunas, v.1, 2014.

BARROSA, **Marcelo R. da. Princípios fundamentais da transferência de calor**. 2004. 48 f. Trabalho (Curso de Engenharia Naval) – Departamento de Engenharia

BRITEZ, Carlos Amado e COSTA, Carla Neves. **Ações do fogo nas estruturas de concreto**. In ISAIA, Geraldo Cechella (editor). *Concreto: ciência e tecnologia* (pp. 1029-1068). São Paulo: Ipsilon gráfica e editora, 2011.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

Costa, C. N.; Silva, V. P. **Estruturas de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. In: XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. Anais. PECC-UnB/ASAEE. Brasília, 2002.

DE SOUZA, A. A. A.; MORENO JR, A. L. **Assessment of the influence of the type of aggregates and rehydration on concrete submitted to high temperatures**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 3, n. 4, p. 477-493, 2010.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor**. 4ª ed. Prentice Hall, México: LTC, 1999.

FIGUEIREDO, A. D.; COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas**. In: Seminário internacional núcleo de pesquisa em tecnologia da arquitetura e urbanismo, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: NUTAU/FAU-USP, 2002.

LIMA R. C. A., KIRCHHOF L.D., CASONATO C.A., SILVA FILHO L. C. P. **Efeito de Altas Temperaturas no Concreto**. Artigo - Grupo de Pesquisas LEME - UFRGS. In: II Seminário de patologia das Edificações. Porto Alegre, 2004.

LIMA, Rogério C. A. de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. 2005. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

MAÇANEIRO, Ronaldo M. **Análise da perda de resistência mecânica à compressão do concreto submetido a altas temperaturas: situação de incêndio**. In: Sinop, MT. 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3a ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MORALES Gilson; CAMPOS Alessandro; FAGANELLO Adriana M. Patriota. **A ação do fogo sobre os componentes do concreto**. In: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 32, n. 1, p. 47-55, jan./mar. 2011. Londrina: UEL, 2011.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo, SP. Ed. PINI, 1997.

OLIVEIRA, Tiago A. de C. P. de. **Gerenciamento de riscos de incêndio: Avaliação do impacto em estruturas de concreto armado através de uma análise experimental de vigas isostáticas**. 2006. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C.D.; SANTOS, S.P. **Estruturas de Concreto – Capítulo 2**. 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em 8 de Junho de 2017.