

ESTUDO DE CASO SOBRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM ELEVADAS TEMPERATURAS

Study case about the resistance of concrete at high temperatures

Higor Previatto¹
José Renato Bassani²
Marcelo Augusto Mosconi³

RESUMO

O principal material utilizado na construção civil é o concreto. Em razão de sua resistência e da facilidade em moldar as fôrmas, consegue-se desenvolver projetos de dimensões e formatos variados. Além disso, o concreto pode ser utilizado desde a fundação até os pavimentos mais altos e a cobertura. Mesmo com toda resistência e solidez do concreto, o fogo é altamente prejudicial a qualquer estrutura; quando em contato, por exemplo, com o concreto, causa dilatação diferenciada no aço e no concreto, ocasionando modificações em suas propriedades mecânicas. O intuito deste artigo é avaliar, através de corpos de prova, se o concreto, após submetido a uma elevada temperatura, conseguirá manter as condições de segurança para o local onde se encontra instalado. Para realização do teste prático, foram produzidos, no laboratório das Faculdades Integradas “Rui Barbosa”, Universidade Brasil, em Andradina, Estado de São Paulo, 25 corpos de prova de concreto com fck de 15 Mpa com tempo de cura de 90 dias. Os testes de efeito de altas temperaturas foram realizados no laboratório da ETEC em Ilha Solteira, no Estado de São Paulo. Os resultados obtidos com os ensaios ressaltam a necessidade de se aprimorar os estudos sobre o comportamento do concreto em altas temperaturas e o risco que há em relação a uma estrutura submetida a um incêndio, que pode atingir mais de 1.000 °C, levando ao risco de um desabamento ou desestabilização da estrutura, devido a perda de resistência e das propriedades dos materiais.

Palavras-chave: Concreto; Elevada temperatura; Resistência.

ABSTRACT

The main material for civil construction is concrete. Due to its resistance, it is possible to develop projects of varying dimensions, whose concrete is used from the foundation to the highest floors. Even being very resistant, the weather is harmful to any type of material. Fire, for example, in contact with reinforced concrete, causes steel and concrete to swell and can damage their mechanical properties. The purpose of this article is to evaluate, through specimens, if the concrete, after being subjected to a high temperature, still maintains conditions of safety for the place where it is. To carry out the practical test, in the laboratory of the Integrated Faculties “Rui Barbosa”, Universidade Brasil, in Andradina / SP, 25 concrete specimens with fck of 15 Mpa with curing time of 90 days. The high temperature effect tests were carried out at the ETEC laboratory in Ilha Solteira / SP. The results obtained with the tests highlight the need to improve studies on the behavior of concrete at high temperatures and the risk that exists in relation to a structure subjected to a fire, which can reach 800°C, and there will be a risk of collapse of the structure due to its loss of strength.

Keyword: Concrete; High temperatures; Resistant.

¹ Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB), Universidade Brasil – e-mail: higorpreviatto@hotmail.com

² Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB), Universidade Brasil – e-mail: zerenatotp@gmail.com

³ Orientador: Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP); Especialista em Docência do Ensino Técnico e Superior pela Faculdades Integradas Urubupungá; Docente do curso de Engenharia Civil, nas Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB), Universidade Brasil – e-mail: engenheirosconsoni@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado da população e a alta procura por habitação, novas construções de casas e edifícios estão sendo executadas todos os dias. Para atender toda a demanda, com um custo satisfatório, o material mais comum a ser utilizado é o concreto, o qual de acordo com Fusco (2008) tem durabilidade que o assemelham com as rochas naturais, embora ele seja um material essencialmente poroso, que precisa ser adequadamente entendido para que de fato possa ser garantida a sua durabilidade. Assim, devido a sua capacidade de suportar elevadas cargas e facilidade de manuseio, o concreto é o mais comumente usado nas construções.

Assim, em razão de sua resistência, o homem consegue desenvolver projetos desde pequeno porte, até edifícios que ultrapassam os 300 metros de altura, utilizando o concreto desde a fundação até os pavimentos mais altos.

O concreto é um material resultante da mistura de cimento, água, areia e pedra, tendo como papel principal a característica de resistir a esforços de compressões. O concreto combinado ao aço tem-se um material muito eficaz em termos de resistência mecânica. Nesse sentido, o presente artigo desenvolve uma pesquisa a respeito da resistência do concreto submetido à elevadas temperaturas.

Apesar de toda resistência, o fogo, por exemplo, em contato com o concreto, causa dilatação do concreto, podendo danificar suas propriedades mecânicas, tal como indica o estudo de Lorenzon (2014), que destaca que a natureza dos danos pode variar desde o simples manchado produzido pela fumaça, até a destruição total da edificação por combustão, a perda de resistência da estrutura depende basicamente do grau de severidade do incêndio.

Sabe-se que o concreto, quando submetido à altas temperaturas, está sujeito a ter falhas em sua estrutura, como fissuras e perda da resistência, devido à dilatação descontrolada do material exposto às temperaturas elevadas. Um incêndio em um edifício, por exemplo, pode chegar a temperaturas superiores a 1.000°C, fazendo com que esses materiais entrem em colapso, comprometendo toda a estrutura e desabem. Diante da situação exposta, algumas questões nortearam a pesquisa, tais como: Quais temperaturas podem ser consideradas não prejudiciais ao concreto? Quais consequências o concreto pode sofrer durante a sua exposição em um ambiente com temperaturas elevadas?

Diante do exposto, o projeto de pesquisa se justifica uma vez que as análises realizadas em laboratórios podem indicar a proporção de danos que o concreto sofre diante de um incêndio, comprometendo ou não a sua estrutura.

Nesse contexto, o intuito da pesquisa concentrou na avaliação, através de corpos de prova (CPs), se uma edificação, após submetida a uma elevada temperatura, ainda mantém condições de ser habitável. Para tanto, foi necessário fabricar CPs de concreto, para teste de compressão à temperatura ambiente e à temperaturas elevadas com resfriamento brusco de 10 minutos, e verificar visualmente se o concreto apresentou características diferentes do seu estado natural, após serem submetidos ao forno de aquecimento e resfriados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Todos os anos incêndios em prédios, casas, indústrias, shopping entre outros, ocorrem com frequência no mundo todo, às consequências desses incêndios podem ser sérias, causando desde uma simples mancha na parede até uma trinca, culminando no desmoronamento da construção.

No ano de 2018 (01 de maio), de acordo com divulgação do site G1 (2019), ocorreu um incêndio de grande proporção no prédio Wilton Paes de Almeida, no Largo do Paissandu, Centro de São Paulo. O edifício foi projetado em 1961, tombado em 1992, era ocupado irregularmente desde 2003 e ficou conhecido como “prédio de vidro”. O evento marcou a vida de várias pessoas e também do local. Dentre as consequências estão os danos na estrutura do prédio causado pelo incêndio os quais foram classificados como de grande gravidade o que provocou o desabamento do prédio, matando sete pessoas.

Este acontecimento mostra o quanto é importante à organização de ações diante de situações de incêndio, pois todo material exposto a certo grau de temperatura sofre modificações em sua estrutura molecular, podendo comprometer sua estabilidade mecânica para qual foi projetado.

2.1 Fogo

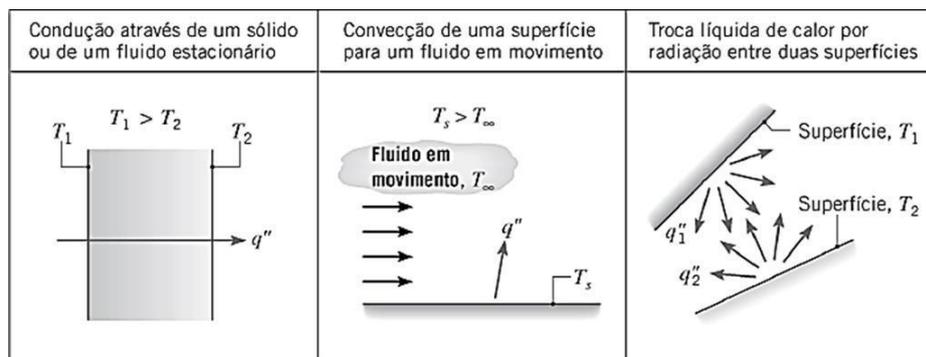
Para o fogo ocorrer é necessária a combinação de quatro elementos, sendo eles o combustível, o comburente, o calor, e a reação química em cadeia. A definição

de fogo, de acordo com a NBR 13860/1997, é um “processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz”. O combustível é o material que faz com que o fogo se propague, o comburente é o oxigênio para combustão e o calor é o elemento que faz a reação acontecer.

2.2 Transferências de calor

A transferência de calor é energia térmica em trânsito que se desloca de um corpo a outro com diferença de temperatura, seja por contato direto ou indireto, alguns materiais tem condutividade térmica alta como, por exemplo, o aço, e até mesmo os gases podem contribuir para uma condução térmica, o ar em algumas situações de incêndio, transfere calor de um local para outro. Os meios de transferência de calor são: condução, convecção e radiação (INCROPERA *et al*, 2007), tal como mostram as imagens na Figura 1.

Figura 1 – Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.



Fonte: Incropera et al (2007)

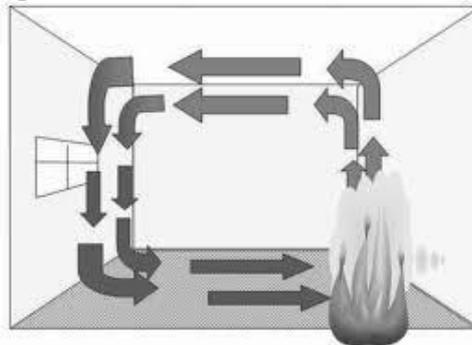
2.2.1 Condução

Condução é o processo pelo qual o calor se transfere através da movimentação e dos choques das moléculas que constituem os sólidos e líquidos. Os elementos que compõem as estruturas de algum material, ao serem aquecidos em alguma região, transferem calor para as demais regiões por condução. Em um incêndio com duração longa e constante, faz com que toda a estrutura atingida diretamente, alcance a mesma temperatura gerada pelo fogo, pelo efeito da condução (SILVA, 2012).

2.2.2 Convecção

Convecção é o processo pelo qual o calor flui, envolvendo movimentação do fluido que passa pelo interior das chamas, e arrasta o calor no sentido do escoamento, que segue no ambiente em chamas, eles se movimentam e tocam os elementos construtivos transferindo-lhes calor (SILVA, 2012). A Figura 2 mostra o movimento do fluido que passa pelas chamas e arrasta o calor para as demais áreas do ambiente.

Figura 2 – Fluxo de calor convectivo

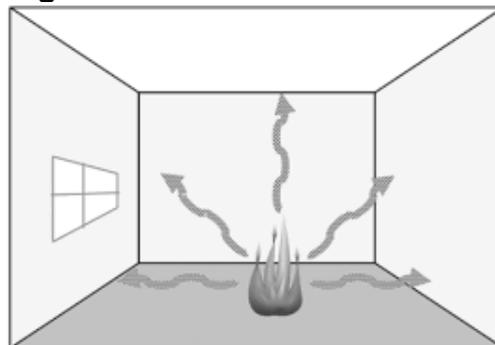


Fonte: Silva (2012)

2.2.3 Radiação

Radiação é o processo pelo qual o calor se propaga através de ondas de um corpo em alta temperatura para outro em temperatura mais baixa. Ao aproximar a mão em uma lâmpada, sente-se calor; mesmo no vácuo, há a propagação, em virtude do fluxo radiante (SILVA, 2012), tal como a imagem exposta na Figura 3.

Figura 3 – Fluxo de calor radiante.



Fonte: Silva (2012)

2.3 O incêndio

É considerado incêndio quando existe um fogo fora do controle humano, que pode causar danos materiais ou que coloque riscos as pessoas, animais e meio ambiente. De acordo com o site Segurança contra Incêndio, a velocidade com que se propaga um incêndio acontece de quatro formas:

- i. Lenta: quando ocorre a uma temperatura inferior a 500°C e não existe emissão de luz.
- ii. Viva: quando se produz luz (incandescente).
- iii. Deflagração: é uma combustão mais rápida cuja propagação tem uma velocidade inferior a do som (340m/s).
- iv. Explosão: combustão resultante de uma mistura explosiva que se propaga a mais de 340m/s.

2.4 Efeitos das altas temperaturas nos agregados do concreto

2.4.1 Água

Segundo Kalifa *et al.* (2000), a água contida no concreto quando se aquece, sofre uma dilatação térmica, isso faz com que o concreto tenha lascamento, devido a pressão interna associada a vaporização da água.

2.4.2 Pasta de cimento Portland

A pasta de cimento Portland quando exposto a alta temperatura, expande linearmente até 100°C, até a água ser toda evaporada (MINAMI *et al.* (1987), MINAMI *et al.* (1991)). Assim, a instabilidade da pasta de cimento começa ocorrer a partir dos 100°C, em 180°C se inicia a desestruturação química da pasta de cimento (KALIFA *et al.* (2000))

De acordo com Neville (1997), acima de 200°C, a pasta de cimento tem uma redução das forças de Van der Waals, das camadas de C-S-H. Com a perda parcial química do material, ocorrem pequenas fissuras na microestrutura do material e reduzindo levemente a resistência, persistindo até 300°C.

2.4.3 Agregados

Os agregados, quando submetidos à elevadas temperaturas, têm um ganho de volume devido à dilatação térmica chamada, dependendo da temperatura em que se encontra, pode ser destrutivo a eles, de acordo com Metha & Monteiro (1994).

Assim, a condutividade e difusividade térmica do concreto está ligada diretamente ao tipo de agregado que compõe o concreto como: granito, basalto, calcário e quartzito (NEVILLE, 1997).

Nesta situação, quando o concreto está exposto à ambientes com temperaturas elevadas, surgem tensões térmicas do interior para a face da argamassa, devido à diferença de expansão dos agregados graúdos e da pasta de cimento que compõe o concreto. A forma geométrica dos agregados resulta na diferença de intensidade das tensões resultantes, logo, esta diferença de intensidade influencia na forma em que as microfissuras aparecem e se propagam (MINAMI *et al.*, 1987). Dessa forma, o uso de agregados com menor coeficiente de dilatação diminui a aparição de fissuras que ocorrem com a expansão térmica (MINAMI *et al.*, 1987).

2.5 Efeitos das altas temperaturas no concreto

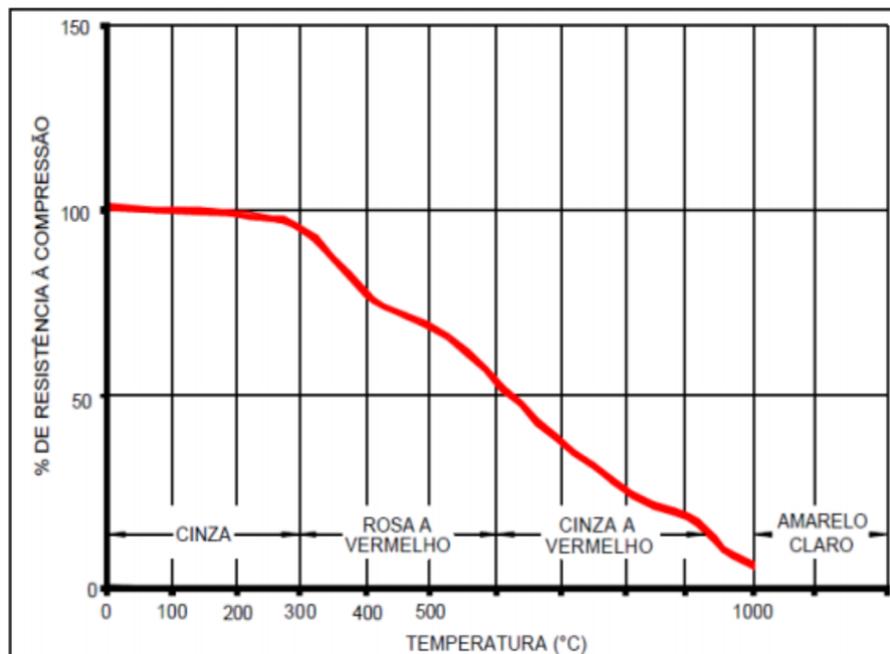
Quando o concreto é submetido a temperaturas elevadas, sua estrutura sofre com as mudanças físico-químicas na pasta do cimento e nos agregados, apresentando vários fenômenos, como a expansão dos agregados e a retração da pasta de cimento, isso pode contribuir com fissuras e desprendimentos da argamassa-agregado, o que interfere em seu comportamento mecânico para qual foi projetado (LANEYRIE *et al.*, 2016; LE: BOUSSA; MEFTAH, 2010 *apud* SILVA, 2017).

De acordo com Cánovaz (1988), o jeito mais prático de avaliar o concreto que sofreu com uma elevada temperatura, é a inspeção visual, pois o concreto, quando exposto à temperaturas elevadas, apresenta diferença na sua coloração original, podendo ter várias tonalidades de cores diferentes, isto depende do grau de temperatura.

Segundo os testes feitos por Cánovaz (1988), o concreto apresenta coloração (Figura 4) diferenciada de acordo com a temperatura em que fora exposto, tais como os efeitos descritos a seguir:

- à temperaturas até 200°C, mantém a coloração cinza e não sofre alteração nenhuma na resistência mecânica;
- à temperaturas de 300°C à 600°C, o concreto sofre mudanças na coloração passando de cinza para um rosa a vermelho, reduzindo sua capacidade mecânica em até 50% do valor de projeto;
- à temperaturas de 600°C até 950°C, sua coloração volta a mudar para um cinza mais avermelhado, que indica friabilidade e alta sucção de água, reduzindo sua resistência mecânica a compressão em até 90%; e,
- à temperaturas acima de 950°C, o concreto sofre com a sinterização, sua capacidade a resistências de compressão são nulas, o concreto fica todo esfarelado.

Figura 4 – Coloração e resistência do concreto



Fonte: Cánovaz, 1988

O gráfico mostra, por meio da curva representada pela linha, que a resistência à compressão está ligada diretamente com a temperatura, quanto mais alto for a temperatura menor é a resistência do concreto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo, inicialmente, teve foco na organização de informações a partir da leitura de livros, endereços eletrônicos, artigos científicos e trabalhos acadêmicos

sobre o tema em questão, as quais foram organizadas em fichamentos. As leituras concentraram nos estudos realizados por Silva (2012), que auxiliou na produção da fundamentação teórica e que deu sustentação as análises que foram realizadas no decorrer da pesquisa.

O método que foi utilizado para realização dessa pesquisa é o descritivo e experimental, com finalidades de coletar informações de especialistas no assunto, realizar os testes práticos em laboratórios específicos, coletar os dados e comparar com as informações existentes. Para realização do teste prático, foram produzidos, no laboratório das Faculdades Integradas “Rui Barbosa”, Universidade Brasil, em Andradina/SP, 20 corpos de prova de concreto com fck de 15 Mpa com tempo de cura de 28 dias. Os testes de efeito de altas temperaturas foram realizados no laboratório da ETEC de Ilha Solteira/SP e os de compressão dos CPs na Universidade Brasil (FIRB) de Andradina/SP, já que o laboratório da ETEC conta com um forno mufla, e o laboratório da FIRB com uma máquina de compressão, os quais foram utilizados para realizar os demais testes da pesquisa.

Para os testes foram utilizados os moldes com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para fabricação dos corpos de provas cilíndricos e o preenchimento dos corpos ficam de acordo com as normas ABNT NBR 5738. Para a fabricação do concreto foi utilizado uma pá de dosagem, uma balança de massa, uma betoneira e balde.

Os corpos de provas cilíndricos ficaram mais de 28 dias na câmara úmida, com umidade do ar de 100% para a cura. Após um determinado tempo de cura, os corpos foram retirados. Das 20 amostras, em três foi realizado o teste de compressão a temperatura ambiente utilizando a máquina de compressão. Os procedimentos para esta etapa consideraram as normas ABNT NBR 5739.

Os dados foram coletados fisicamente e visualmente tanto da tensão como da compressão do concreto em temperatura ambiente, em temperaturas a 200° C, 400° C, 600° C e 800° C.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os corpos-de-prova (CPs) foram testados e os resultados foram quantificados e avaliados em relação à possibilidade da redução da resistência à compressão do concreto submetido a altas temperaturas através de uma abordagem experimental.

Para tal, foram ensaiados CPs cilíndricos em forno mufla, em que se analisou a influência de diferentes picos de temperatura durante uma hora cada pico, assim como o modo de resfriamento da amostra, considerando a redução da resistência à compressão do concreto.

Nos itens a seguir, estão descritos os procedimentos adotados para a realização dos testes.

4.1 Materiais

Os materiais usados para a produção do concreto, objeto desta pesquisa, consiste em agregados graúdos, agregados miúdos, cimento e água. O agregado graúdo é de origem basáltica denominado brita 2 (19,0 mm – 38,0 mm). O agregado miúdo utilizado neste trabalho foi a areia grossa. O cimento utilizado é o cimento Portland comum – CPI, e a água empregada para a fabricação do concreto é a fornecida pela rede de abastecimento local.

4.1.1 Amostras e CPs

Para as amostras, foram considerados CPs de 15 MPa, sendo composto por 15 CPs cilíndricos de dimensões 10 cm por 20 cm, tendo em vista que, no Brasil, os ensaios para determinação da resistência à compressão axial são realizados em CPs cilíndricos.

A amostra foi dividida em 4 grupos de 3 CPs, os quais foram aquecidos nos níveis de temperatura (Tabela 1). Em cada grupo, as amostras foram submetidas a uma hora de tempo de exposição ao calor do forno e todas com o mesmo modo e tempo de resfriamento.

Tabela 1 – Esquematização dos ensaios

Pico de temperatura	Tempo de exposição	Resfriamento
200°C	1 h	Água 10 min
400°C	1 h	Água 10 min
600°C	1 h	Água 10 min
800°C	1 h	Água 10 min

Fonte: Elaborada pelos autores

4.1.2 Traço das amostras

O traço adotado foi obtido através de parâmetros definidos por recomendações da NBR 7212:2012, que estabelece requisitos para a execução de concreto dosado em central e inclui as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle de qualidade e inspeção, incluindo critérios de aceitação e rejeição do controle interno da central de concreto (ABNT NBR NM 67:1998).

Dessa forma, o traço utilizado foi o 1:2,5:5, sendo: 1 (uma) parte de cimento Portland comum - CPI; 2,5 (dois e meio) partes de areia grossa; e 5 (cinco) partes de brita 2. Esse traço determina que o concreto obtenha uma resistência de 15 MPa, o que o torna um concreto de boa resistência e baixo valor de custo, assim sendo um dos mais utilizados em obras convencionais.

4.1.3 Moldagem e cura

A moldagem dos CPs foi realizada no dia 06 de dezembro de 2019, com todos os materiais necessários separados, os moldes limpos e preparados com desmoldante (Figuras 4 e 5).

Figura 4 - Limpeza dos moldes



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 5 - Aplicação de desmoldante



Fonte: Elaborada pelos autores

Na sequência, iniciou-se a mistura dos materiais na betoneira com capacidade para 120L (Figura 6). Posteriormente, foram moldados os CPs através de adensamento manual de acordo com a NBR 14931.

Figura 6 – Mistura dos materiais na betoneira



Fonte: Elaborada pelos autores

Após mistura dos materiais, foi realizado o *slump test*, cujo abatimento do concreto foi de 7 cm, o que se enquadra na ABNT NBR NM 67:1998: que determina que para vigas, pilares e lajes com lançamento de concreto manual ou por caçambas, o *slump* mínimo varia entre 6 e 8 cm.

O *slump test* mede a consistência do concreto para conferir a trabalhabilidade e verificar se aquele concreto poderá ser utilizado para concretar determinada peça na obra (Pereira, 2019), tal como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Slump test.



Fonte: Elaborada pelos autores

Feito o *slump test*, foi realizado o preenchimento das formas com o concreto. (Figura 8).

Figura 8: Preenchimento das formas



Fonte: Elaborada pelos autores

Após 24 horas, os CPs foram desformados e armazenados em um tanque com água à temperatura ambiente, durante 28 dias (Figura 9 e 10). Após este período,

os CPs foram retirados da água e armazenados em uma câmara úmida até o dia de serem submetidos aos ensaios que foi 17/03/2020.

Figura 9 - Desforma dos CPs



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 10 - Cura dos CPs



Fonte: Elaborada pelos autores

4.4 Simulação de fogo em CPs de concreto

Os testes de efeito de altas temperaturas foram realizados no laboratório da ETEC de Ilha Solteira/SP, pois possui um forno mufla (Figura 11).

Figura 11 - Forno mufla com capacidade de três CPs por vez.



Fonte: Elaborada pelos autores

4.4.1 Resfriamento dos CPs

Após cada ensaio, os CPs foram submetidos ao resfriamento com água em temperatura ambiente durante 10 minutos (Figura 12).

Figura 12 - Resfriamento brusco dos CPs com água em temperatura ambiente



Fonte: Elaborada pelos autores

Neste momento, o CP, em temperatura ambiente, não apresentou perda de resistência, registrando 15 MPa.

4.4.2 Efeitos visuais dos CPs

Os CPs ensaiados apresentaram características visíveis quando submetidos à temperaturas diferentes, conforme a Figura 13 a seguir.

Figura 13 - Características visuais dos CPs.



Fonte: Elaborada pelos autores

Considerando que CP (I) foi exposto por 1 (uma) hora à temperatura de 200°C e resfriado bruscamente por 10 minutos, observa-se que, no ensaio, o CP teve a coloração levemente alterada para um cinza com pontos escuro.

Já o CP (II) foi aquecido à 400°C, com o mesmo procedimento do anterior, e, após os procedimentos, apresentou uma coloração de cinza com pontos escuros e rosado.

O CP (III) foi exposto a 600°C e teve sua coloração levemente mais escura que os CP (I) e (II), além disso apresentou micro fissuras na sua área externa e pequenos pontos de desagregação do concreto.

Exposto a 800°C, o CP (IV), submetido aos mesmos procedimentos dos CPs (I), (II) e (III), apresentou um nível elevado de desagregação do concreto seguido de fissuras e coloração cinza escuro, observado pelas perdas de massa no CP o que o marcou com um tipo de “buracos” na superfície.

4.5 Ensaio de compressão dos CPs

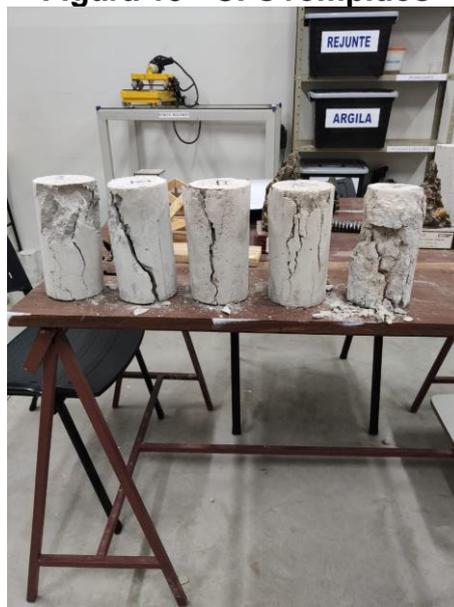
Nas instalações da Universidade Brasil em Andradina/SP, foram realizados os ensaios de compressão dos CPs, os quais demonstraram resultados, os quais, para fins de comparação, estão dispostos por meio das Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Ensaio de compressão dos CPs.



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 15 - CPs rompidos



Fonte: Elaborada pelos autores

Feito os ensaios de compressão, foram verificadas as percas de resistência dos CPs, conforme os efeitos ocasionados decorrentes a cada temperatura a que foram submetidos.

Observa-se que, na Figura 15, o CP mais danificado é o último, considerando a ordem da esquerda para a direita, o que foi submetido à exposição de temperatura de 800°C por uma hora e resfriado bruscamente por 10 minutos. De acordo com os testes, o corpo de prova teve uma redução de 85% da sua capacidade de compressão.

Com isso, constata-se que, quaisquer estruturas de concreto expostas a tal temperatura, entre em colapso, tal como estão dispostas as informações na Tabela 2.

Tabela 2 – Esquemática dos ensaios de resistência a compressão.

Pico de temperatura	Resistência (Mpa)	Perda de Resistência (%)
Temperatura ambiente	15 MPa	0%
200°C	12,03 MPa	19,8%
400°C	11,54 MPa	23,06%
600°C	6,75 MPa	55%
800°C	2,19 MPa	85,4%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que os testes realizados demonstram que em temperaturas de 200°C, o concreto sofre uma perda de 19,8% na capacidade de compressão; já à 400°C, há uma redução à compressão de 23,06%; submetido às temperaturas de 600°C, ocorre uma redução de 55%. Acima de 800°C, os resultados indicam que uma estrutura fica seriamente comprometida e é considerada como de alto risco devido ao colapso do conjunto que a sustenta, pois há uma redução de 85,4%, quando submetido ao teste de compressão. Vale destacar que os testes realizados tem um percentual de correção de 5% para mais e para menos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer dos testes, observaram-se resultados que evidenciaram perdas consideráveis em relação à resistência e à compressão quando o concreto fora exposto a altas temperaturas.

Assim, durante o aquecimento não foi verificado em nenhum dos CPs algum tipo de deslocamento explosivo, porém durante seu resfriamento, o concreto submetido à temperatura de 800° C acabou sofrendo deslocamento, o que ocasionou nos ensaios a sua enorme perda de resistência, sendo uma perda de 85,4%.

Nesse sentido, os resultados obtidos com os ensaios ressaltam a necessidade de se aprimorar os estudos sobre o comportamento do concreto em altas temperaturas, visto que há muitas questões a serem respondidas, como, por exemplo, até que ponto uma estrutura de grande escala pegando fogo, pode ter sua estrutura reutilizada ou, ainda, como saber se a estrutura oferece risco à população.

A norma ABNT NBR 14432 estabelece as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais internos para que uma edificação em chamas não entre em

colapso rapidamente, devendo atender requisitos obrigatórios para que cada elemento suporte um tempo determinado contra o fogo e, assim, poder garantir a evacuação dos ocupantes da edificação, da mesma forma que garantir as operações do combate ao incêndio, para a minimização aos danos da edificação.

Portanto, com a elaboração deste trabalho, pode-se notar o risco que há em relação a uma estrutura submetida a um incêndio, pois, de acordo com os resultados obtidos, um incêndio que pode chegar a 800°C, provavelmente, provocará risco de um desabamento da estrutura, devido a sua perda de resistência. Além disso, para o controle do fogo deve-se tomar precauções, como, por exemplo, não jogar água (se o incêndio chegar às devidas condições abordadas), pois pode ocorrer o deslocamento do concreto, fazendo com que a estrutura desmorone mais rápido, quando comparado a uma situação em que não houve o contato com o resfriamento brusco, assim, o tempo, em que as pessoas poderiam ter para evacuar determinado local, é drasticamente reduzido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13860**: Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=2882>> Acesso em 01 mar. 2020.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo, 2008. 13 p.

G1. Incêndio e desabamento do prédio no Largo do Paissandu completam um ano; veja o que se sabe sobre o caso. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/05/01/incendio-e-desabamento-do-predio-no-largo-do-paissandu-completa-um-ano-veja-o-que-se-sabe-sobre-o->

caso.ghtml> – Acesso em: 19 out. 2019.

INCROPERA, Frank P et al. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2007. 2 p.

KALIFA, Pierre; MENNETEU, François-Dominique; QUENARD, Daniel. **Spalling and Pore Pressure in HPC at High Temperatures**. Cement and Concrete Research, N° 30. Elsevier Science Ltd. Amsterdam, 2000.

LORENZON, Andressa. **Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas**. 2014. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2014.

METHA, P. Kumar, MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI. São Paulo, 1994.

MINAMI, Kazutaka; TAZAWA, Ei-Ichi; Satoru, KAGEYAMA; WATANABE, Yasumitsu. **Effect of Type of Aggregate on Mechanical Properties of Concrete Subjected to High Temperature..** Transactions of the Japan Concrete Institute. JCI. Tokyo, 1987. [Reprint]

MINAMI, Kazutaka; TAZAWA, Ei-Ichi; TERANISHI, Shuji. **Effect of Microscopic Thermal Stress on Mechanical Properties of Concrete Subjected to High Temperature**. Concrete Library of JSCE N°17. JSCE. Tokyo, June, 1991.

NEVILLE, Adam Matthews. **Propriedades do Concreto**. 2ª. Ed. PINI. São Paulo, 1997.

Segurança contra incêndio. Disponível em: <<http://www.segurancacontraincendio.pt/o-que-e-incendio.html>> Acesso em: 02 nov.2019

PEREIRA, Caio. **O que é Slump do concreto e como fazer o teste?**. Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/slump-test/>. Acesso em: 15 de maio de 2020.

SILVA, Pignatta Valdir. **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. São Paulo. 78 p. Disponível em: <https://issuu.com/editorablucher/docs/issu_projeto_estrut_concreto>. Acesso em: 20 out. 2019.

SILVA, Pignatta Valdir. **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio**. São Paulo. 21-79 p. Disponível em: <https://issuu.com/editorablucher/docs/issu_projeto_estrut_concreto>. Acesso em: 19 out. 2019.

SILVA, Jéssica Beatriz. **Comportamento Sob Altas Temperaturas de Concretos com Agregados Reciclados de Concreto**. Rio de Janeiro, 2017. 16 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. [Orientador: Prof. Romildo Dias Toledo Filho].