

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LISIANE DO ROCIO BUENO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE EXTINÇÃO DO FOGO
SOBRE A RESISTÊNCIA RESIDUAL DO CONCRETO SUBMETIDO A
ALTAS TEMPERATURAS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2019

LISIANE DO ROCIO BUENO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE EXTINÇÃO DO FOGO
SOBRE A RESISTÊNCIA RESIDUAL DO CONCRETO SUBMETIDO A
ALTAS TEMPERATURAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof. Me. Eng. Luciene Ferreira Schiavoni Wiczick

Coorientador: Prof. Dr. Wellington Mazer

CURITIBA

2019

RESUMO

BUENO, Lisiane R. Análise da influência do método de extinção do fogo sobre a resistência residual do concreto submetido a altas temperaturas. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O presente trabalho tem o objetivo de analisar o efeito dos métodos de extinção de incêndio, que utilizam resfriamento no combate ao fogo, na perda de resistência do concreto após este ser submetido à altas temperaturas. Amostras de concreto foram submetidas às temperaturas de 400°C, 600°C e 800°C, e resfriadas com três métodos: temperatura ambiente, carga de extintor de gás carbônico e submersas em um recipiente com água. Ao fim, verificou-se que o método utilizado para resfriar a amostra não demonstrou ter tanta influência na resistência residual do concreto quanto o a exposição a temperaturas maiores. As amostras aquecidas a 400°C apresentaram uma perda média na resistência de 18,2%, enquanto que as aquecidas a 600°C apresentaram uma perda média de 44% e as aquecidas a 800°C tiveram perda média de 84,4% na resistência de referência. Entretanto, não se obteve diferença estatística entre as resistências residuais das amostras de referência e as aquecidas a 400°C. A utilização de água para resfriamento não apresentou indícios de maior perda de resistência, como era o esperado devido ao maior choque térmico sofrido pelo concreto exposto a temperaturas elevadas. Verificou-se estatisticamente que o método de resfriamento não influencia na perda de resistência do concreto, somente a temperatura.

Palavras-chave: Concreto. Incêndio. Resfriamento. Fogo. Alta Temperatura.

ABSTRACT

BUENO, Lisiane R. Analysis of the influence of fire extinguishing methods on the residual resistance of the concrete subjected to high temperatures. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The goal of the present work is to analyze the effect of the fire extinguishing methods that use cooling in firefighting, in the loss of concrete resistance after exposing it to high temperatures. Concrete samples were submitted to high temperatures (400°C, 600°C and 800°C), and cooled with three methods: ambient temperature, carbon dioxide extinguisher charge and submerged in a vessel with water. Finally, the observations showed that the method used to cool the sample does not seem to have as much influence on the residual strength of the concrete as it does on exposure to higher temperatures. Samples heated at 400°C showed an average loss in strength of 18.2%, in absolute value. However, the results showed no statistical difference between the residual resistances of the reference samples and those heated at 400°C. The use of water for cooling showed no evidence of greater loss of strength, as was expected due to the higher thermal shock suffered by the concrete exposed to high temperatures. It was possible to verify statistically that the cooling method does not influence the loss of concrete resistance, but only the temperature.

Keywords: Concrete. Fire. Cooling. Structure. High Temperature.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE EXTINÇÃO DO FOGO SOBRE A RESISTÊNCIA RESIDUAL DO CONCRETO SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS.

Por

LISIANE DO ROCIO BUENO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado no primeiro semestre de 2019, pela seguinte banca de avaliação presente:

Orientadora – Luciene Ferreira Schiavoni Wiczick, MEng.
UTFPR

Coorientador Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

Adauto José Miranda de Lima, Dr.
UTFPR

Carlos J. Brunhara, Arq.
UTFPR

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução de um incêndio real compartimentado.....	13
Figura 2 – Curva para o incêndio-padrão definido pela NBR 14432:2001, considerando temperatura ambiente igual a 20°C.	14
Figura 3 – Mufla disponibilizada no laboratório e utilizada nos ensaios.	20
Figura 4 - Amostras inseridas duas de cada vez para as temperaturas de 400°C e 500°C.	21
Figura 5 - Amostra inserida na mufla uma de cada vez para a temperatura de 800°C.	21
Figura 6 - Resfriamento em recipiente metálico com água.	22
Figura 7 - Resfriamento utilizando extintor de CO ₂	23
Figura 8 - Teste de resistência à compressão realizado nas amostras depois de resfriadas.....	24
Figura 9 – Resistência média em função da temperatura, para cada método de resfriamento.	26
Figura 10 - Resultado do teste de variância (ANOVA).	27
Figura 11 - Camada de gelo na amostra após resfriamento com uma carga de CO ₂	29
Figura 12 - Gelo formado no difusor do extintor de gás carbônico.....	29
Figura 13 - Amostra fissurada após aquecimento a 800°C e resfriamento com CO ₂	30
Figura 14 - Amostra fissurada após aquecimento a 800°C e resfriamento natural. ...	30
Figura 15 – Amostra após aquecimento a 800°C e resfriamento com água.	31
Figura 16 - Fissura na zona de transição de uma amostra aquecida a 600°C e resfriada com água.....	32
Figura 17 - Perda de aderência na zona de transição de uma amostra aquecida a 800°C e resfriada naturalmente.....	32
Figura 18 - Perda de aderência em amostra aquecida a 800°C e resfriada naturalmente.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de corpos de prova testados.....	22
Tabela 2 – Valores de Resistência à compressão obtidos para as amostras.	25
Tabela 3 – Valores médios das perdas percentuais nas resistências residuais dos corpos de prova.....	26
Tabela 4 – Resistências médias estatisticamente iguais.	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVO GERAL	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.3 JUSTIFICATIVA.....	10
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FOGO E INCÊNDIO	12
2.1.1 Fogo e Incêndio	12
2.1.2 Meios de Extinção do Fogo	14
2.1.3 Emprego de Extintores	15
2.2 EFEITO DAS ALTAS TEMPERATURAS NO CONCRETO	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1 MOLDAGEM DAS AMOSTRAS DE CONCRETO	19
3.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5 CONCLUSÃO.....	34
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	34
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A prevenção e combate à incêndios ainda não está enraizada na cultura dos brasileiros, mas é um tema que necessita de mais atenção por parte dos profissionais da área de construção civil e da população em geral.

Nos últimos 5 anos, o Brasil teve pelo menos três grandes tragédias de incêndios em edificações. Em janeiro de 2013, o incêndio na Boate Kiss na cidade de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, contou com mais de 200 vítimas fatais. Teve como causas principais a combinação do uso de material de revestimento acústico inadequado com o uso de componentes pirotécnicos impróprios para ambientes internos, além da falta de sistema de exaustão e controle de fumaça, superlotação do espaço, deficiências nas saídas de emergências, e da falta de preparo dos funcionários para lidarem com situações de pânico (CREA-RS, 2013). Pôde-se notar que após a tragédia ocorrida em Santa Maria, houve um maior esforço por parte das autoridades competentes em fiscalizar a situação das casas noturnas em todo o país. Em Curitiba, diversos bares e casas noturnas foram interditados até se adequarem à legislação, a fim de evitar que situações semelhantes voltassem a acontecer.

Em maio de 2018, o edifício Wilton Paes de Almeida, no centro da cidade de São Paulo, desabou devido ao incêndio provocado por um curto-circuito, vitimando sete pessoas, de acordo com reportagem do jornal Folha de S. Paulo (2018). O edifício foi projetado na década de 1960, e em 1992 foi tombado e considerado um bem de “interesse histórico, arquitetônico, paisagístico ou ambiental”. Foi sede da Polícia Federal, que em 2003 desocupou o edifício, e este passou a ser ocupado irregularmente, sem oferecer estrutura e condições de segurança mínimas contra incêndio.

Em setembro de 2018, um incêndio de grandes proporções destruiu a maior parte do acervo do Museu Nacional, no Rio de Janeiro conforme notícia do jornal Gazeta do Povo (2018). Não houve vítima fatal, mas houve uma perda imensurável para a sociedade brasileira e certamente haverá um alto custo de reconstrução do prédio histórico. O incêndio no prédio histórico evidenciou a fragilidade da situação da segurança de edificações com relação ao risco de incêndios, principalmente nas construções antigas, uma vez que o edifício que abrigava o Museu Nacional, por

exemplo, completou 200 anos em 2018, e por serem tombadas pelo patrimônio histórico não podem ter a sua fachada alterada.

Além da possível perda de vidas humanas e prejuízos materiais, a ocorrência de um incêndio resulta em danos na estrutura das edificações, acarretando em altos custos para a recuperação e reconstrução da edificação. Nota-se que após o fogo ter atingido maiores proporções, o meio normalmente utilizado para a sua extinção é o uso de água, pois esta ajuda a reduzir a temperatura do material em chamas. Entretanto, há uma preocupação que o resfriamento de edificações em situações de incêndio possa aumentar os danos resultantes em estruturas de concreto, devido ao choque térmico, visto que a elevada temperatura a que a estrutura está submetida devido ao fogo é rapidamente resfriada, levantando a dúvida se a forma de resfriamento utilizado no combate ao incêndio pode afetar ainda mais a resistência residual do concreto.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo analisar o efeito dos métodos de extinção de incêndio, que utilizam o resfriamento no combate às chamas, na perda de resistência do concreto após este ser submetido à altas temperaturas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Considerar estudos realizados sobre a exposição de concreto a altas temperaturas e o efeito da utilização do resfriamento rápido e lento.
- Determinar a resistência residual de amostras de concreto expostas à temperatura de 400°C por 30 minutos, com resfriamento à temperatura ambiente, com água e com carga de extintor de gás carbônico.
- Determinar a resistência residual de amostras de concreto expostas à temperatura de 600°C por 30 minutos, com resfriamento à temperatura ambiente, com água e com carga de extintor de gás carbônico.
- Determinar a resistência residual de amostras de concreto expostas à temperatura de 800°C por 30 minutos, com resfriamento à temperatura ambiente, com água e com carga de extintor de gás carbônico.

- Analisar visualmente o efeito que as altas temperaturas e os diferentes métodos de resfriamento produzem nas amostras de concreto.
- Comparar o efeito dos métodos de resfriamento na perda de resistência do concreto.

1.3 JUSTIFICATIVA

O concreto apresenta baixa condutividade térmica, variando de 1,4 e 3,6 J/m²s°C (MORALES, CAMPOS E FAGANELLO, 2001), não é combustível e não emite gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas, o que representa uma vantagem em situações de incêndios. Mas é um material heterogêneo e complexo, sendo difícil prever com certa precisão o comportamento de uma estrutura de concreto em uma situação de exposição a altas temperaturas, principalmente pelo fato de que cada situação de incêndio em edificações possui sua particularidade, com um conjunto de fatores agindo de maneira variável em cada caso.

Grande parte das edificações construídas no Brasil utilizam concreto e alvenaria. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), estima-se que o consumo anual de concreto no mundo seja da ordem de 11 bilhões de toneladas métricas, sendo um dos materiais mais utilizados na construção civil.

De acordo com o sistema Sysbm Imprensa (2019) disponível no site do Corpo de Bombeiros do Paraná, há 4517 registros de ocorrências de incêndios em edificações no estado do Paraná durante o ano de 2018. Com a crescente demanda por novas edificações, especialmente nas grandes cidades, há a necessidade de se ter um melhor entendimento sobre os incêndios em edificações de concreto. Apesar de medidas preventivas para evitar danos serem necessárias, planos de ações em casos de sinistros também são importantes para minimizar as consequências negativas em casos de incêndios.

Assim, nota-se a importância de se estudar o efeito da exposição a altas temperaturas sobre o concreto, além da influência dos métodos frequentemente utilizados para a extinção do fogo, principalmente aqueles métodos que utilizam técnicas de resfriamento rápido, pela preocupação do resultado que o choque térmico pode ter sobre o elemento estrutural, buscando-se aprimorar as técnicas de combate a incêndios de maneira a evitar causar maiores danos às estruturas das edificações.

2 REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Fernandes (2010), o crescimento desenfreado e a concentração da população brasileira nos centros urbanos sem a devida infraestrutura e planejamento, resultaram em um aumento dos riscos relacionados à incêndios. Segundo os resultados do Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2011), a população do Brasil era de 190.755.799 habitantes, alcançando 210 milhões de habitantes em junho de 2019 de acordo com estimativa do IBGE (2019).

Segundo Seito *et al.* (2008), as incidências mais frequentes de incêndios são nas edificações, tendo como exemplos de causas vazamento de gás com explosões de botijões, curto-circuito em instalações elétricas por excesso de carga, subdimensionamento ou falha na execução, manuseio de explosivos e produtos perigosos em locais inadequados, entre outros.

O tema de prevenção e combate a incêndios não é uma atribuição restrita aos bombeiros, mas é um tema multidisciplinar que demanda da atenção de diferentes profissionais. Fernandes (2010) cita que a prevenção de incêndio envolve uma série de medidas, tais como a definição da ocupação das edificações, instalação de equipamentos de detecção e combate a incêndio e treinamento de pessoal para lidar com situações de emergência. Essas medidas tem o objetivo de impedir um princípio de incêndio, dificultar a propagação, detectá-lo o mais rapidamente possível, e facilitar o combate ainda na fase inicial evitando que o fogo ganhe grandes proporções.

Segundo Seito *et al.* (2008), os sistemas construtivos têm sofrido modificações, como a utilização de grandes áreas sem compartimentação, emprego de fachadas envidraçadas e o emprego de materiais combustíveis inseridos nos elementos construtivos, introduzindo maiores riscos nas edificações. A reação ao fogo dos materiais contidos na edificação, sendo mobiliários ou materiais agregados aos elementos construtivos, são os principais fatores responsáveis pelo crescimento do fogo, pela propagação das chamas e pelo desenvolvimento de fumaça e gases tóxicos, colaborando para que o incêndio atinja fases críticas. Portanto, a escolha dos materiais construtivos deve ser feita levando em consideração o desempenho diante do fogo, de forma a minimizar os riscos de ignição, crescimento e propagação do fogo.

2.1 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FOGO E INCÊNDIO

Para um melhor entendimento sobre incêndios em edificações é importante conhecer os conceitos de fogo e incêndio e as formas de extinção do fogo.

2.1.1 Fogo e Incêndio

Segundo a Norma de Procedimento Técnico – NPT 003 - Terminologia de segurança contra incêndio, “fogo é uma reação química de oxidação (processo de combustão), caracterizada pela emissão de calor, luz e gases tóxicos. Para que o fogo exista, é necessário a presença de quatro elementos: combustível, comburente (normalmente o oxigênio), calor e reação em cadeia” (CBPMPR, 2014). Ainda de acordo com a NPT 003, “incêndio é o fogo sem controle, intenso, o qual causa danos e prejuízos à vida, ao meio ambiente e ao patrimônio” (CBPMPR, 2014). A NPT 003 também define que o fogo pode ser dividido em quatro classes (A, B, C e D), de acordo com o tipo de material combustível. Isso se deve ao fato de os materiais queimarem de modos diferentes devido a diferenças em suas características.

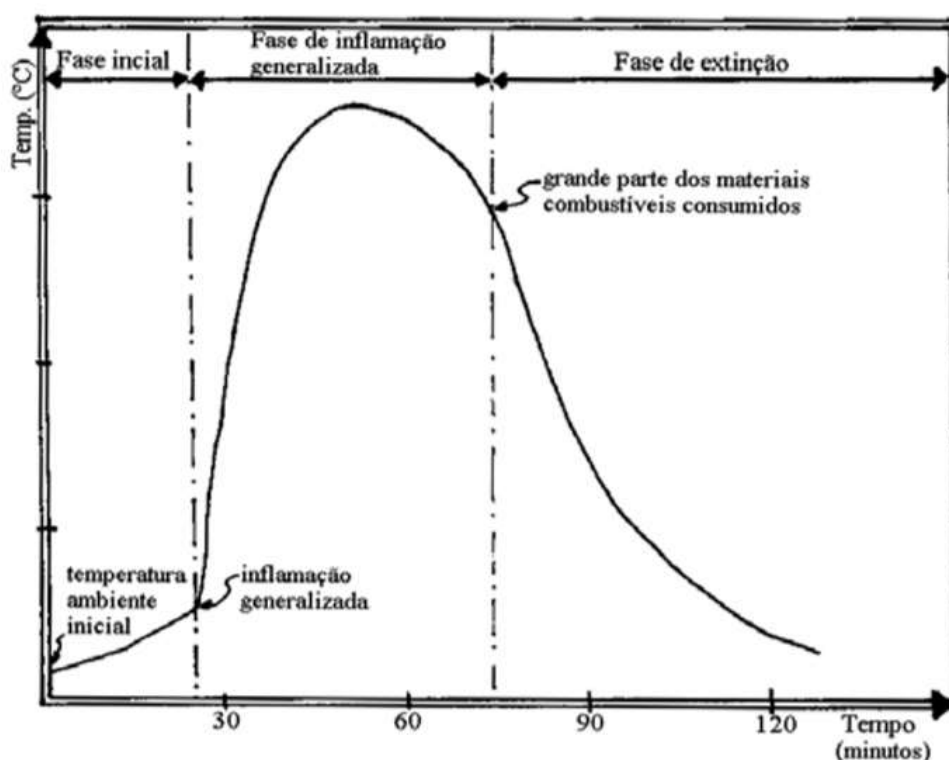
- Fogo classe A: fogo em materiais sólidos, que queimam em superfície e profundidade, deixando resíduos.
- Fogo classe B: fogo em líquidos e gases inflamáveis ou combustíveis sólidos, que se liquefazem por ação do calor, não deixando resíduos e queima somente em superfície.
- Fogo classe C: fogo em equipamentos de instalações elétricas energizadas.
- Fogo classe D: fogo em metais pirofóricos.

Segundo Silva (2009), cada situação de incêndio possui características próprias de desenvolvimento e transferência de calor, variando em função da distribuição e do tipo da carga de incêndio, das áreas de ventilação, das características dos materiais, dentre outros.

A NBR 14432 (ABNT, 2001) define incêndio natural como a variação de temperatura que simula o incêndio real, sendo função da geometria, ventilação, características térmicas dos elementos de vedação e da carga de incêndio específica.

De acordo com Seito *et al.* (2008) a evolução do incêndio real compartimentado é caracterizada por três fases: a fase inicial, a fase de inflamação generalizada e a fase de extinção (resfriamento), como pode ser visualizado na figura 1. Na fase inicial, a temperatura do ambiente sofre uma elevação gradual e o incêndio está restrito a um foco. Em seguida, tem-se a fase da inflamação generalizada, que é caracterizada pelo rápido aumento da temperatura e envolvimento de grande parte do material combustível existente no ambiente. Na fase de extinção há o decréscimo gradual da temperatura após o consumo do material combustível existente no ambiente (SEITO *et al.*, 2008).

Figura 1 – Evolução de um incêndio real compartimentado.



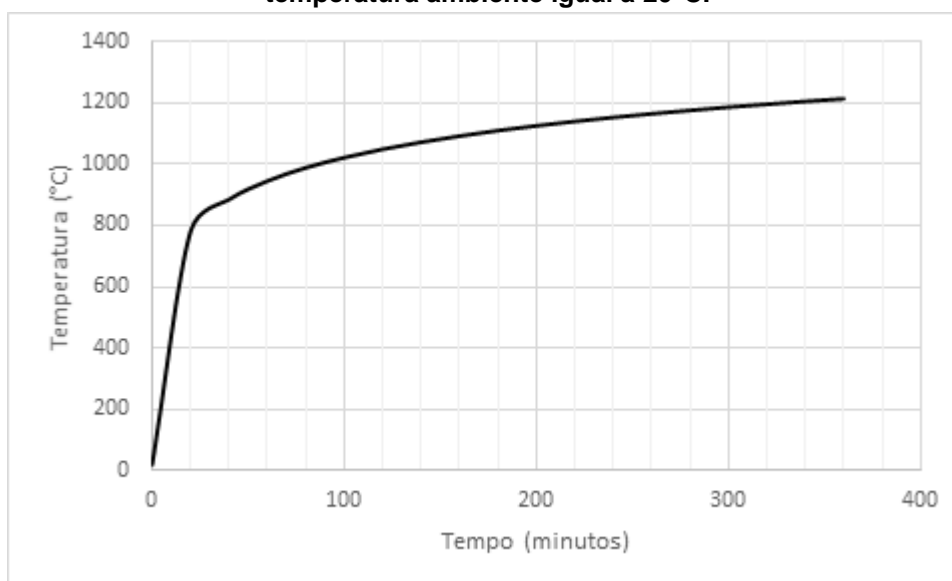
Fonte: Seito *et al.* (2008)

A NBR 14432 (ABNT, 2001) define o conceito de incêndio-padrão como a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, definida pela equação 1, onde t é o tempo em minutos, θ_g é a temperatura dos gases, em graus Celsius no instante t , θ_0 é a temperatura do ambiente antes do início do aquecimento, em graus

Celsius, geralmente considerada como sendo igual a 20°C. A figura 2 mostra a curva para o incêndio-padrão definido na NBR 14432 (ABNT, 2001), considerando a temperatura do ambiente como 20°C.

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8 t + 1) \quad \text{Eq. (1)}$$

Figura 2 – Curva para o incêndio-padrão definido pela NBR 14432:2001, considerando temperatura ambiente igual a 20°C.



Fonte: Autora (2019).

Comparando-se as figuras 1 e 2, é possível notar a diferença nos conceitos de incêndio-padrão e incêndio real. A equação do incêndio-padrão não leva em conta a fase de resfriamento e extinção do fogo, considerando somente a elevação da temperatura de forma padronizada, e que pode não representar qualquer situação real.

2.1.2 Meios de Extinção do Fogo

De acordo com Seito *et al.* (2008) é possível afirmar que a diferença entre um pequeno e um grande incêndio é atribuída à propagação das chamas. A maioria dos incêndios começa com um pequeno foco, fácil de controlar. Por isso a importância de se conhecer os métodos de extinção do fogo, que consistem em inibir cada um dos elementos presentes na reação de combustão a fim de se evitar que o fogo atinja

grandes proporções, causando maiores danos. Dentre os meios de extinção do fogo, encontram-se:

- Retirada do combustível: retirar do local o material (combustível) que está pegando fogo.
- Abafamento: eliminar o oxigênio (comburente) da reação, por meio do abafamento do fogo.
- Resfriamento: reduzir a temperatura (calor) do material em chamas
- Reação em cadeia: o calor irradiado das chamas atinge o combustível, este é decomposto em partículas menores que se combinam com o oxigênio e queimam, irradiando outra vez calor para o combustível, formando assim um ciclo constante. A quebra da reação em cadeia impede que a reação seja autossustentável.

Conforme Seito *et al.* (2008), a água é o agente extintor mais completo, pois proporciona a melhor absorção de calor e mesmo que não apague completamente o fogo, auxilia no isolamento de riscos, facilitando a aproximação dos bombeiros para o emprego de outros agentes extintores.

2.1.3 Emprego de Extintores

Os extintores têm o objetivo de combater princípios de incêndio, e fazem parte do sistema básico de segurança contra incêndio em edificações, tendo como características principais a portabilidade, facilidade de uso, manejo e operação (SEITO *et al.*,2008). Há vários tipos de extintores, servindo para as diferentes classes de incêndio:

- Extintor com água pressurizada: indicado para incêndios de classe A (madeira, papel, tecido, materiais sólidos em geral), onde a água é o agente extintor e age preferencialmente por resfriamento.
- Extintor com pó químico seco: indicado para incêndio de classe B (líquido inflamáveis), no qual o agente extintor age por abafamento. Também pode ser usado em incêndios de classes A e C.
- Extintor com gás carbônico: indicado para incêndios de classe C (equipamento elétrico energizado), por não ser condutor de eletricidade. Também pode ser usado em incêndios de classes A e B.

- Extintor de pó para classes ABC: o pó especial é capaz de combater princípios de incêndios em materiais sólidos, líquidos inflamáveis e equipamentos energizados.
- Extintor com pó químico especial: indicado para incêndios de classe D (metais inflamáveis). Agente extintor age por abafamento.

2.2 EFEITO DAS ALTAS TEMPERATURAS NO CONCRETO

O concreto é formado basicamente pela mistura de cimento, água, agregados graúdos (brita) e agregados miúdos (areia). A importância da composição do concreto no seu desempenho perante o fogo está relacionada ao fato de que a pasta de cimento e os agregados são elementos sensíveis a altas temperaturas (SILVA, 2009).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto possui a vantagem de não ser um material combustível e não emitir gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas, ao contrário do que ocorre com outros materiais como madeira e plásticos, além de conservar resistência suficiente por um período de tempo que permite operações de resgate. Entretanto, o comportamento real de uma estrutura de concreto exposto à altas temperaturas é resultado de diversos fatores que interagem simultaneamente, sendo difícil uma análise precisa. De acordo com os autores, a composição do concreto, a permeabilidade, o tamanho do elemento e a taxa de aumento da temperatura são fatores importantes na resposta do concreto ao fogo, devido aos componentes que se decompõem com o calor e do desenvolvimento de pressões internas no concreto.

De acordo com Fernandes *et al.* (2017), a zona de transição, que é a interface entre os agregados e a pasta de cimento, possui uma maior fragilidade devido à presença de vazios e fissuras na região, além de C-S-H pouco cristalino e cristais secundários de portlandita e etringita. O aquecimento do concreto resulta em uma expansão térmica diferencial entre o agregado e a pasta de cimento, uma vez que a pasta de cimento retrai quando aquecida e os agregados expandem, resultando em fissuras. Os autores verificaram, então, que a degradação do concreto está diretamente ligada com as características do material e com o processo de aquecimento.

Segundo Morales, Campos e Faganello (2011), a temperatura máxima atingida, o tempo de exposição, o traço de concreto, o tipo de estrutura, o elemento estrutural e a velocidade de resfriamento estão entre as causas que podem levar uma estrutura sujeita a altas temperaturas ao colapso. Os autores estudaram os efeitos da elevação da temperatura em corpos de prova cilíndricos de argamassa e concluíram que o efeito da elevação da temperatura sobre concretos e argamassas de cimento é pequeno até os 250°C, mas comprometem a integridade da estrutura para temperaturas acima dos 300°C, principalmente quando há o resfriamento brusco da temperatura.

Robert, Colina e Debicki (2014) citam que há dois tipos de degradação no concreto devido a ação do fogo: a perda de resistência mecânica e o lascamento do concreto, que é o destacamento de material. Já a mudança de coloração e a fissuração superficial são efeitos colaterais que não interferem na estabilidade da estrutura de concreto armado. Segundo os autores, em uma situação de incêndio, surgem diferentes reações e processos físicos e no interior do concreto, que estão relacionados com a sua constituição, as condições ambientais de exposição e o nível de tensão a que o concreto está submetido. Como consequência ao aumento da temperatura, há fenômenos de desidratação e transformação cristalina que resultam em modificações na micro e macroestrutura do concreto.

Silva (2009) avaliou a influência da temperatura na resistência residual de concretos usuais empregados na construção civil e constatou que com o aumento da temperatura, a resistência à compressão axial diminui. A autora obteve resultados com perda de resistência superiores a 50 % para temperaturas entre 400°C e 900°C e valores de resistência à compressão praticamente nulos para os corpos de prova submetidos a temperaturas a partir de 900°C. Além disso a autora verificou uma redução do módulo de elasticidade mais acentuada que a redução da resistência à compressão axial em função da temperatura, redução de massa e aumento da porosidade devido à perda de água na microestrutura com o aumento da temperatura.

Lorenzon (2014) analisou a resistência residual de concretos expostos à diferentes temperaturas (300°C, 500°C e 800°C), tempos de exposição (30 minutos, 60 minutos e 90 minutos) e modos de resfriamento (rápido e lento). A autora verificou perdas consideráveis da resistência à compressão para as amostras expostas a altas temperaturas, mas os diferentes tipos de resfriamento adotados (resfriamento com

água fria e na temperatura ambiente) apresentaram poucas alterações sobre a redução da resistência residual do concreto.

Sousa (2009) avaliou a influência do tipo de resfriamento em corpos de prova de concreto, sendo as amostras resfriadas lentamente à temperatura ambiente e bruscamente sendo imersas em água por 30 minutos. O autor verificou que os tipos de resfriamento estudados exerceram praticamente a mesma influência sobre as propriedades mecânicas do concreto analisado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Definiu-se para o presente estudo a utilização de amostras de concreto cilíndricas, com tamanho 10 x 20 cm. As amostras foram executadas com um traço padrão de concreto em massa de 1:2,5:3,2:0,6, utilizando-se cimento CP V-ARI, areia média, brita I, e consumo de cimento de 300 kg/m³. O concreto foi feito em uma betoneira com capacidade de 120 litros.

As amostras de concreto foram submetidas às temperaturas de 400°C, 600°C e 800°C em forno tipo mufla com o objetivo de simular temperaturas de incêndio, e em seguida foram resfriadas utilizando-se três métodos diferentes: água, gás carbônico (CO₂) e resfriamento natural, analisando-se a resistência do concreto após esses procedimentos. Essas temperaturas foram escolhidas por serem temperaturas facilmente atingidas na primeira meia hora de um incêndio-padrão, conforme pode ser visualizado na curva da figura 2.

O pó químico não foi utilizado no presente estudo devido ao fato de não possuir a função de resfriamento, agindo na extinção do fogo somente por abafamento. Portanto, neste caso considera-se que a estrutura resfria naturalmente.

3.1 MOLDAGEM DAS AMOSTRAS DE CONCRETO

Para a execução das amostras, primeiramente verificou-se a umidade da areia através das medidas da massa inicial e massa seca, obtendo-se uma umidade de 10%. Depois de as quantidades dos materiais serem separadas, fez-se primeiro a imprimação da betoneira, com argamassa do mesmo traço utilizado. Em seguida, os materiais foram adicionados na betoneira na seguinte ordem: agregado graúdo, uma parte da água, agregado miúdo, cimento e por último o restante da água. Após a mistura estar homogênea, os corpos de prova foram moldados com o preenchimento de concreto em duas camadas, aplicando-se 12 golpes com a haste de socamento em cada camada.

Depois de 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em câmara úmida para a cura por 28 dias. Depois dos 28 dias de cura, as amostras foram retiradas da câmara úmida e armazenadas em local seco.

3.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Depois de secas, as amostras foram inseridas em forno elétrico tipo mufla da marca Fornitec, fabricada no ano de 1999 e com temperatura máxima de 1200°C (figura 3). Foram inseridas duas de cada vez para as temperaturas de 400°C e 600°C (figura 4) e uma amostra de cada vez para a temperatura de 800°C (figura 5). As amostras ficaram expostas à temperatura desejada por 30 minutos, ou seja, as amostras foram inseridas na mufla, esta foi ligada e após estabilizar na temperatura desejada contou-se 30 minutos. Definiu-se o tempo de 30 minutos para as amostras ficarem expostas à temperatura desejada por ser o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) mínimo estabelecido pela norma NBR 14432:2001 (ABNT, 2001) na tabela A.1, uma vez que o objetivo do presente estudo é avaliar a perda da resistência devido ao resfriamento, e não o tempo de exposição da amostra às altas temperaturas.

Figura 3 – Mufla disponibilizada no laboratório e utilizada nos ensaios.



Fonte: Autora (2019)

Figura 4 - Amostras inseridas duas de cada vez para as temperaturas de 400°C e 500°C.



Fonte: Autora (2019)

Figura 5 - Amostra inserida na mufla uma de cada vez para a temperatura de 800°C.



Fonte: Autora (2019)

Foram utilizadas quatro amostras de concreto para cada método de resfriamento e para cada temperatura analisada, conforme pode ser visualizado na tabela 1. O tamanho da amostra (quatro corpos de prova) é devido ao fato deste ser o número mínimo de amostras calculado para se estar dentro do intervalo de 95% de certeza dos resultados.

Tabela 1 - Quantidade de corpos de prova testados.

Método de resfriamento	Temperatura		
	400°C	600°C	800°C
Natural	4 CP	4 CP	4 CP
Água	4 CP	4 CP	4 CP
CO ₂	4 CP	4 CP	4 CP
Total	12 CP	12 CP	12 CP

Fonte: Autora (2019).

Para o método de resfriamento natural, as amostras foram retiradas da mufla e deixadas para resfriar à temperatura ambiente. Para o método de resfriamento com água, as amostras foram retiradas da mufla e inseridas em um recipiente metálico contendo água (figura 6), ficando submersas até que resfriassem a ponto de se poder retirá-las com a mão.

Figura 6 - Resfriamento em recipiente metálico com água.



Fonte: Autora (2019)

Para a temperatura de 400°C, as amostras ficaram submersas em água por aproximadamente 15 minutos, para a temperatura de 600°C as amostras ficaram por aproximadamente 30 minutos submersas e para a temperatura de 800°C ficaram em contato com a água por aproximadamente uma hora. Os recipientes metálicos utilizados possuem 25 cm de diâmetro e 31 cm de altura, e foram enchidos com aproximadamente 11 litros de água. Mediu-se a temperatura na superfície da água para uma amostra de 600°C e 800°C, com um termômetro com escala até 60°C. Para a temperatura de 600°C, depois de 15 minutos com a amostra submersa a temperatura da água estava em 52°C, e 30 minutos depois estava em 48°C, com uma temperatura ambiente de 21°C. Para a amostra com 800°C, após estar 30 minutos submersa, a água estava a 55°C na superfície e 50°C uma hora depois de a amostra estar em contato com a água, com uma temperatura ambiente de 18°C.

Para o método de resfriamento com CO₂, as amostras foram retiradas da mufla, posicionadas no chão, em cima de uma cerâmica e imediatamente resfriadas com uma carga de extintor de CO₂ de 9 kg, como mostrado na figura 7.

Figura 7 - Resfriamento utilizando extintor de CO₂.



Fonte: Autora (2019)

Duas amostras foram aquecidas a 800°C e deixadas para resfriar dentro da mufla, com a porta aberta, buscando-se verificar o comportamento do concreto com um resfriamento mais lento do que o resfriamento à temperatura ambiente. Uma amostra ficou resfriando por 24 horas na mufla, e a outra ficou por 12 horas. A porta foi deixada aberta para simular a corrente de ar que pode existir em uma situação de incêndio real.

Depois de totalmente resfriadas, as amostras foram submetidas à teste de resistência à compressão em prensa DL30 com carga máxima de 30 toneladas, conforme figura 8.

Figura 8 - Teste de resistência à compressão realizado nas amostras depois de resfriadas.



Fonte: Autora (2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resistência das amostras de referência foi verificada aos 28 dias em 4 amostras, obtendo-se um valor médio de resistência igual a 18,8 MPa e desvio padrão igual a 0,9 MPa. Os valores de resistência à compressão axial obtidos após o aquecimento e resfriamento dos corpos de prova estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores de Resistência à compressão obtidos para as amostras.

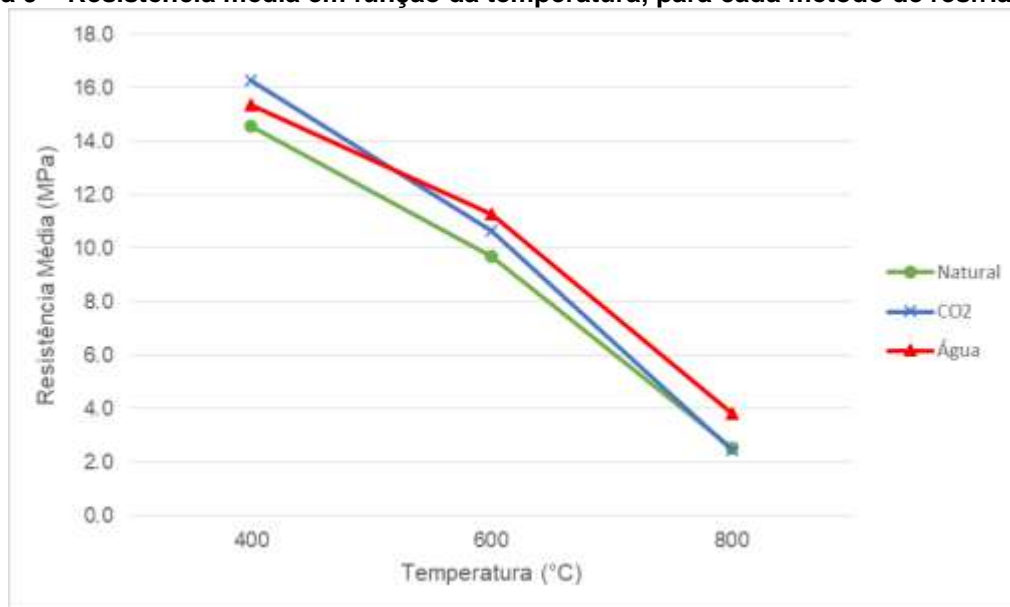
Temperatura (°C)	Resfriamento	Resistência (MPa)				Resistência Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coeficiente de Variação (%)
		CP1	CP2	CP3	CP4			
Referência	-	20,1	18,7	18,7	17,9	18,8	0,9	5,0
400	Natural	12,8	13,6	13,3	18,6	14,6	2,7	18,7
	CO ₂	13,0	14,2	15,5	22,5	16,3	4,3	26,2
	Água	14,0	15,2	16,1	16,2	15,4	1,0	6,7
600	Natural	12,1	12,9	8,1	5,8	9,7	3,3	34,2
	CO ₂	8,1	13,6	8,0	12,9	10,6	3,0	28,4
	Água	12,6	10,9	8,6	13,2	11,3	2,1	18,5
800	Natural	3,3	2,3	2,2	2,4	2,5	0,5	19,5
	CO ₂	2,5	2,6	2,1	2,6	2,4	0,3	10,5
	Água	3,6	3,6	4,3	3,8	3,8	0,4	9,4
800	Na mufla 12h	2,5	-	-	-	-	-	-
	Na mufla 24h	4,0	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autora (2019).

A figura 9 apresenta as resistências médias para cada método de resfriamento em função da temperatura que as amostras foram aquecidas. É possível observar no gráfico mostrado na figura 9 que o método de resfriamento natural, ou seja, à temperatura ambiente, apresentou as menores resistências médias, em geral. Além disso, analisando os dados pode-se verificar também que o resfriamento rápido da amostra utilizando água não apresentou as menores resistências médias para as amostras. Esse fato não era esperado, pois acreditava-se que a utilização de água para o resfriamento rápido do concreto poderia afetar negativamente a resistência por conta do choque térmico. Os resultados obtidos seguem uma tendência semelhante aos obtidos por Sousa (2009), que verificou que os tipos de resfriamentos lento e rápido utilizados não exerceram influência significativa na resistência residual das amostras de concreto. O autor também obteve resistências residuais maiores para resfriamento brusco em alguns casos, e verificou através de ensaios de microscopia

eletrônica de varredura alterações morfológicas nos corpos de prova resfriados com água, indicando uma reidratação do concreto após o aquecimento.

Figura 9 – Resistência média em função da temperatura, para cada método de resfriamento.



Fonte: Autora (2019).

As perdas percentuais de resistência, em valores absolutos (para os resfriamentos natural, CO₂ e água), estão apresentadas na tabela 3. Pode-se verificar que os métodos de resfriamento não demonstraram ter tanta influência no decréscimo de resistência das amostras de concreto quanto o aumento da temperatura.

Tabela 3 – Valores médios das perdas percentuais nas resistências residuais dos corpos de prova.

Temperatura (°C)	Resfriamento	Resistência Média (MPa)	Perda de Resistência (%)
	Referência	18,8	-
400	Natural	14,6	22,7%
	CO ₂	16,3	13,4%
	Água	15,4	18,4%
600	Natural	9,7	48,4%
	CO ₂	10,6	43,5%
	Água	11,3	40,0%
800	Natural	2,5	86,6%
	CO ₂	2,4	87,1%
	Água	3,8	79,7%

Fonte: Autora (2019).

Para poder afirmar se o método de resfriamento influencia a resistência do concreto, realizou-se a análise da variância (ANOVA) e o teste de Tukey, a fim de se comparar as médias das resistências residuais obtidas. Os resultados obtidos da análise de variância encontram-se na figura 10. Analisando o teste ANOVA, nota-se que há diferença estatística em algum dos dados analisados pois o valor de P é menor que 0,05.

Figura 10 - Resultado do teste de variância (ANOVA).

Teste para igualdade das médias					
	Soma dos quadrados (SQ)	Graus de liberdade (G.L.)	Quadrado médio (QM)	Valor de F	Valor de P
Entre grupos	1631.22	11	148.293	33.99	1.05E-15
Resíduo	157.058	36	4.36271		
Total	1788.28	47			
					Permutação p (n=99999)
					1.00E-05
Componentes de variância (apenas para efeitos aleatórios)					
Var(grupo):	35.9825	Var(erro):	4.36271	ICC:	0.891866
omega2:	0.8832				
Teste para homogeneidade de variância, a partir das médias				p:	8.76E-06
Teste de medianas				p:	0.0113
Teste F no caso de variações desiguais: F=163,3, df=13,74, p=1,297E-12					

Fonte: Autora (2019).

Com o resultado do teste de Tukey foi possível verificar quais métodos são estatisticamente iguais. Os resultados estão apresentados na tabela 4, onde as letras iguais indicam que não houveram diferenças estatísticas significativas entre si. Observa-se que não há diferença entre os métodos de resfriamento, e que apesar de haver uma porcentagem absoluta da perda de resistência média para as amostras aquecidas a 400°C, não se pode afirmar que a temperatura de 400°C teve efeito significativo na perda de resistência do concreto estudado. Já as temperaturas de 600°C e 800°C demonstraram ter efeito na perda de resistência dos corpos de prova testados.

Não foi verificado se o tempo de exposição à essas temperaturas contribuem ainda mais para a redução da resistência residual do concreto. Lorenzon (2014) verificou em seu estudo que a cada meia hora a mais expostos às altas temperaturas, os corpos de prova apresentaram resistências à compressão quase 24% menores.

Tabela 4 – Resistências médias estatisticamente iguais.

Temperatura (°C)	Resfriamento	Resistência Média (MPa)				
	Referência	18,8	A			
400	Natural	14,6	A		B	
	CO ₂	16,3	A	B	C	
	Água	15,4	A	B	C	D
600	Natural	9,7	B		E	
	CO ₂	10,6	B		D	E F
	Água	11,3	B	C	D	E F
800	Natural	2,5	G			
	CO ₂	2,4	G			
	Água	3,8	G			

Fonte: Autora (2019).

Além da verificação da resistência residual do concreto, analisou-se também alguns aspectos como a formação de fissuras nas amostras, a forma que ocorreu a ruptura e se o método utilizado efetivamente resfriava o concreto.

Durante a realização dos testes, observou-se que a utilização da água resfriou as amostras em um tempo relativamente rápido, considerando-se a temperatura com que saíam da mufla. Entretanto, a utilização do extintor de CO₂ não resfriou as amostras de maneira rápida. Constatou-se a formação de gelo na parte superior dos corpos de prova aquecidos (figura 11), que evaporou rapidamente, e no difusor do extintor (figura 12). Mas pelo fato de o concreto ser um mal condutor de calor, o tempo de exposição ao CO₂ não foi suficiente para resfriar o concreto de maneira mais rápida, mas de maneira lenta. Portanto, as amostras resfriadas com a carga de gás carbônico tiveram um resfriamento semelhante ao natural (temperatura ambiente).

Verifica-se com isso que a utilização de carga de gás carbônico no combate à incêndios não apresenta choque térmico na estrutura, uma vez que o gás não atua na extinção do fogo pelo método do resfriamento.

Figura 11 - Camada de gelo na amostra após resfriamento com uma carga de CO₂.



Fonte: Autora (2019).

Figura 12 - Gelo formado no difusor do extintor de gás carbônico.



Fonte: Autora (2019).

Com relação à formação de fissuras, para as amostras aquecidas a 400°C e 600°C não se observou a formação visível de muitas fissuras. Já para as amostras aquecidas a 800°C, observou-se uma grande formação de fissuras para o

resfriamento natural e o com a carga de gás carbônico, como pode ser visualizado nas figuras 13 e 14.

Figura 13 - Amostra fissurada após aquecimento a 800°C e resfriamento com CO₂.



Fonte: Autora (2019).

Figura 14 - Amostra fissurada após aquecimento a 800°C e resfriamento natural.



Fonte: Autora (2019).

Os corpos de prova aquecidos a 800°C e resfriados com água apresentaram fissuras, mas estas não aumentaram com o tempo, parecendo cicatrizadas, como mostrado na figura 15. Esse efeito de cicatrização se refere à reação do dióxido de carbono com o hidróxido de cálcio presente no concreto.

Figura 15 – Amostra após aquecimento a 800°C e resfriamento com água.



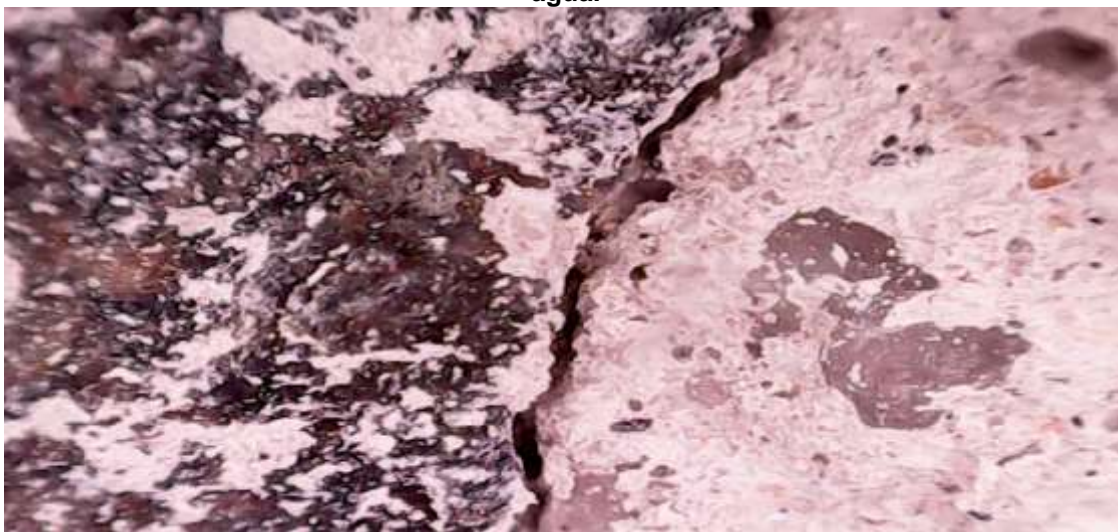
Fonte: Autora (2019).

Das duas amostras que foram aquecidas a 800°C e deixadas para resfriar dentro da mufla, com a porta aberta, o corpo de prova que ficou na mufla por 24 horas estava totalmente resfriada quando foi retirada. O outro que ficou resfriando por 12 horas, ainda apresentava um leve calor na parte da amostra que estava mais para dentro da mufla. O resultado do ensaio de compressão axial (tabela 2) indica que um resfriamento mais lento pode auxiliar na resistência residual do concreto, mas não se obteve diferença estatística entre esses valores, sendo necessário um estudo mais aprofundado com um resfriamento bem mais lento para confirmar esses indícios.

Após a ruptura das amostras, verificou-se visualmente que nenhuma amostra apresentou ruptura no agregado graúdo, e para os corpos de prova aquecidos a 800°C conseguiu-se quebrar o concreto facilmente com as mãos. A ruptura ocorreu na zona

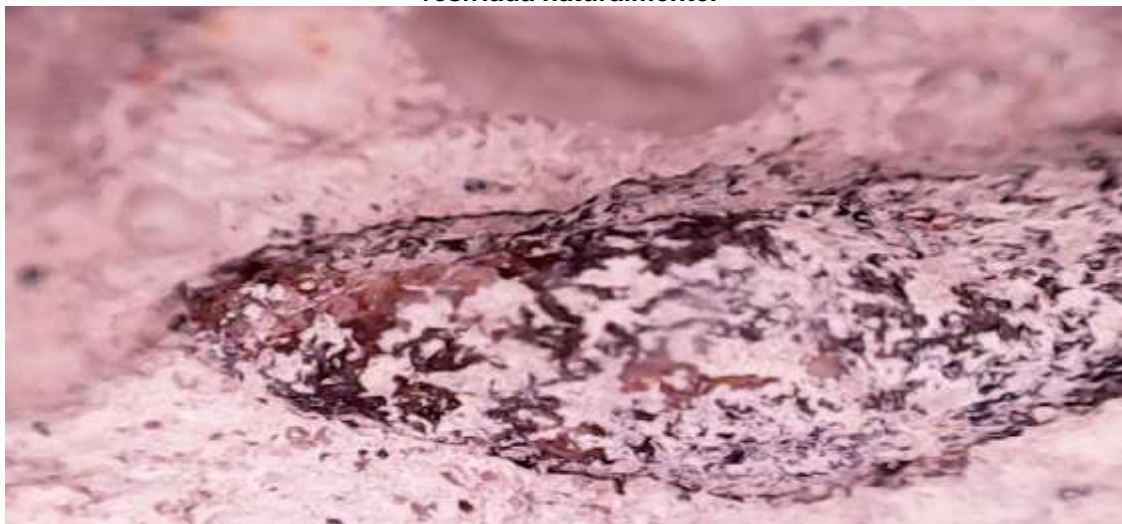
de transição entre a pasta de cimento e o agregado, indicando perda de aderência. As figuras 16, 17 e 18 mostram essa perda de aderência na zona de transição entre a brita e a pasta de cimento, confirmando a fragilidade dessa região devido à desidratação e conseqüente retração da pasta e expansão do agregado gráúdo, conforme exposto por Fernandes *et al.* (2017).

Figura 16 - Fissura na zona de transição de uma amostra aquecida a 600°C e resfriada com água.



Fonte: Autora (2019).

Figura 17 - Perda de aderência na zona de transição de uma amostra aquecida a 800°C e resfriada naturalmente.



Fonte: Autora (2019).

Figura 18 - Perda de aderência em amostra aquecida a 800°C e resfriada naturalmente.



Fonte: Autora (2019).

5 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho constatou-se que o resfriamento do concreto com a utilização de água não representou maior perda de resistência nos corpos de prova nas condições analisadas neste estudo, assemelhando-se aos resultados obtidos por Sousa (2009). Havendo um indício de que a água pode auxiliar na cicatrização de fissuras do concreto, visto que as amostras resfriadas à temperatura ambiente apresentaram maiores perdas na resistência para as três temperaturas analisadas.

Pode-se considerar que as amostras retiradas da mufla para resfriamento lento também foram expostas ao choque térmico, pois foram retiradas de temperaturas de 400°C, 600°C e 800°C para temperatura ambiente, que esteve entre 14°C e 21°C nos dias dos ensaios.

A utilização de carga de gás carbônico demonstrou um método de resfriamento mais próximo ao natural, pois apesar da baixa temperatura do gás, não foi o suficiente para resfriar os corpos de prova.

Estatisticamente, os métodos utilizados para resfriamento não demonstraram ter influência de na resistência residual das amostras. Ao contrário do aumento da temperatura, que apresentou ter efeito na diminuição da resistência do concreto.

A falta de padronização nas pesquisas conduzidas nessa área demonstra uma dificuldade de se comparar resultados. Além disso, a diversidade e peculiaridade das situações de incêndio em edificações também apresentam uma dificuldade em conduzir ensaios que representem a realidade.

Verifica-se a necessidade de mais estudos nessa área, a fim de se constatar se a corrente de ar afeta a estrutura, comparando-se o resfriamento total da amostra dentro da mufla com a porta fechada, com a porta aberta e o resfriamento fora da mufla. E a utilização de água não submergindo a amostra para verificar o efeito da simulação de um jato de água.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a análise do efeito da corrente de ar, comparando-se o resfriamento total da amostra dentro da mufla com a porta fechada, com a porta aberta e o resfriamento fora da mufla, por exemplo. A fim

de analisar se o resfriamento mais lento pode ter algum efeito na resistência. Há a necessidade também de um estudo que utilize a simulação de um jato de água para resfriamento das amostras, com o objetivo de verificar o comportamento da resistência do concreto, e analisar se realmente o método de extinção de incêndio mais utilizado pelos bombeiros não ocasiona em uma maior perda de resistência da estrutura. Sugere-se também estudos com outros materiais como o concreto armado e a madeira, para analisar se os métodos de extinção de incêndio possuem influência na resistência de outros materiais.

Nota-se a necessidade de se adotar formas e padrões de ensaios que possam representar melhor a realidade, a fim de se entender o comportamento dos materiais e prever com certa precisão o comportamento em situações de incêndios.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

CREA-RS. **Comissão Especial. Análise do Sinistro na Boate Kiss em Santa Maria, RS**. Relatório Técnico. Porto Alegre, fev. 2013.

FERNANDES, Ivan Ricardo. **Engenharia de segurança contra incêndio e pânico**. 1 edição. Curitiba: CREA-PR, 2010.

FERNANDES, B. *et al.* **Microestrutura do concreto submetido a altas temperaturas: alterações físico-químicas e técnicas de análise**. RIEM - IBRACON Structures and Materials Journal, [S.l.], v. 10, n. 4. p. 838-863, ago. 2017.

GAZETA do Povo. **Tudo o que você precisa saber sobre o incêndio do Museu Nacional**. 03 de setembro de 2018, Cultura. Disponível em <<https://www.gazetadopovo.com.br/cultura>>. Acesso em: 14 set. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010** - Rio de Janeiro, 2011.

_____. **Projeção da População do Brasil e das Unidades da Federação**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

LORENZON, Andressa. **Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas**. 2014. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

MEHTA, P. Kumar.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, SP. IBRACON, 2008.

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

PARANÁ. Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (CBPMMPR). **Norma de Procedimento Técnico 003**: Terminologia de segurança contra incêndio. Versão 03, out. 2014. 49 p.

_____. Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (CBPMMPR). **Sysbm Imprensa**. Disponível em: <http://www.sysbm.bombeiros.pr.gov.br/sysbmnew/menu_imprensa/>. Acesso em: 30 jun. 2019.

ROBERT, F.; COLINA, H.; DEBICKI, G. A Durabilidade do Concreto Mediante ao Fogo. In: OLLIVIER, Jean-Pierre; VICHOT, Angélique (Ed.). **Durabilidade do Concreto**: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. IBRACON: São Paulo, 2014. p. 509- 557.

SEITO, Alexandre Itiu *et al.* (Ed.) **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SETO, Guilherme. GOMES, Paulo. **Curto-circuito provocou incêndio em prédio que ruiu em SP, diz secretário**. Folha de S.Paulo, São Paulo, 03 de maio de 2018. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/05/incendio-em-predio-que-desabou-foi-causado-por-curto-circuito-diz-secretario.shtml>. Acesso em: 04 nov. 2018.

SILVA, Daiane dos Santos da. **Propriedades mecânicas residuais após incêndio de concretos usados na construção civil na grande Florianópolis**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

SOUSA, Moisés M, de. **Estudo experimental do comportamento mecânico e da microestrutura de um concreto convencional após simulação das condições de incêndio**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009