

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE O FENÔMENO DE CALCINAÇÃO E A REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÕES ADVERSAS

*Bruno Grockoski*¹

RESUMO

A pesquisa procura esmiuçar a relação entre o fenômeno de calcinação e a redução da resistência do concreto armado das edificações em situações adversas, com a idéia de auxiliar equipes de resgate ou equipes de peritos na tomada de decisões em emergências com incidência de calor nas estruturas de concreto armado. Os testes foram baseados em estruturas que passaram por um incêndio e apresentaram calcinação com redução da resistência inicial mínima, os resultados foram comprovados através de testes de compressão axial. A partir do levantamento das pesquisas bibliográficas e testes experimentais, elaborou-se um manual que serve de apoio na tomada de decisões de equipes de socorro e posteriores equipes de peritos. O manual é dividido em abas, utilizando de recursos visuais práticos, denominando uma cor para cada nível de redução de resistência, tornando simples, rápida a tomada de decisões e reduzindo o risco que as equipes de resgate são exposta.

Palavras-chave: Calcinação. Redução de resistência. Concreto. Incêndio.

¹ Profissional do Corpo de Bombeiros Militar do Paraná, Engenheiro Civil formado pela Universidade do Contestado. Email: bruno.grockoski@hotmail.com

STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CALCINATION PHENOMENON AND THE REDUCTION OF RESISTANCE OF CONCRETE ARMED IN ADVERSE SITUATIONS

ABSTRACT

The work seeks to fractionate the relationship between the calcination phenomenon and reducing the concrete's resistance to adverse situations, with the idea of assisting rescue teams or experts in decision-making in emergencies with sources of heat. The tests were based on structures that have gone through fire and calcination showed a reduction of the minimum initial resistance, confirming results through axial compression tests. From the survey of literature and experimental testing research, elaborated a manual that serves as support in making rescue teams decisions and further experts. The manual is divided into tabs using visuals, naming a color for each level of strength reduction, making it simple and quick decision-making.

Key words: Calcination. Reduction of resistance. Concrete. Fire.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia é o ramo que possibilita a pesquisa, criação e execução de obras, novas tecnologias e melhorias. Entre todas as atribuições da engenharia tem-se a engenharia civil que executa casas, pontes, rodovias, prédios e muitos outros projetos. Segundo Pereira (2016, p. 01).

A engenharia é a ciência, a arte e a profissão de adquirir e de aplicar os conhecimentos matemáticos, técnicos e científicos na criação, aperfeiçoamento e implementação de utilidades, tais como materiais, estruturas, máquinas, aparelhos, sistemas ou processos, que realizem uma determinada função ou objetivo.

O desenvolvimento de novas técnicas e principalmente da necessidade de suprir dificuldades, viu-se a necessidade de criar um material que resista a esforços. Em 1849, Joseph Monier, lançou o concreto armado que é constituído por uma parte de aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e por uma armadura com função de resistir a esforços de tração, flexão e torção.

A armadura associada ao concreto facilitou o desenvolvimento de peças com seções esbeltas atingindo elevada resistência, outro fato positivo do aço, é ser dúctil facilitando a execução dos projetos.

Porém, a construção civil sofre com algumas degradações (causadas pelo tempo, acidentes e erros executivos), fatores que afetam a resistência dos materiais estruturais. Dentre todos os possíveis redutores da resistência, existem agentes externos, como exemplo quando uma edificação é atingida por um incêndio. Conforme Lima (2003) o grau de impacto na resistência do concreto depende de variáveis, a mineralogia dos agregados que compõem o concreto são de essencial importância nos efeitos causados por um incêndio.

Uma variação acentuada na temperatura do ambiente em curto espaço de tempo pode trazer avarias às estruturas, conforme Morales; Campos; Faganello (2011, p. 49):

Ocorrem várias conseqüências em função da elevação da temperatura sobre os componentes do concreto. Dentre elas estão, o esfrelamento da superfície calcinada, separação parcial de pequenas camadas superficiais do material ao longo do incêndio, delaminação ou descamação profunda e lascamentos explosivos.

Os primeiros sinais visuais de danos a uma estrutura durante e após um incêndio são colorações estampadas nas peças de concreto. Para Velasco (2002, p. 48) a cor gradualmente escurece assim que a temperatura aumenta, trocando de cor progressivamente para cinza e posterior cor de camurça. Esse efeito de mudança de cor é denominado Calcinação, que é o tratamento térmico em que uma peça é exposta, podendo promover mudanças fisicoquímicas liberando resíduos químicos.

A mudança de cor é mais perceptível às temperaturas superiores a 300°C, conforme cita Chan, Peng, Anson (1999) intervalo entre 400 e 800 ° C é crítico para a redução da resistência do concreto, porém para temperaturas superiores a 800°C percebe-se a perda total das características mecânicas do concreto armado.

Com a análise da tonalidade do concreto durante um incêndio é possível constatar o nível de resistência que a estrutura ainda possui. Conforme Denoël (2007) é necessário conhecer as variações do concreto quando sofre um incêndio para evitar danos à vida ou ao patrimônio.

1.2 PROBLEMA

Quando uma equipe de resgate é solicitada para atender uma edificação em chamas ou até mesmo quando uma empresa é contratada para realizar uma perícia de uma estrutura que ficou exposta a um incêndio, ambas deveriam realizar uma avaliação prévia do quanto à estrutura foi condenada, para assim evitar riscos a vida dos ocupantes.

Entre inúmeros exemplos de incêndios que ocorreram na história do Brasil, o edifício da CESP (Companhia Energética de São Paulo) marcou por uma característica, ocorreu na noite de 21 de maio de 1987 e que perdurou até o final da tarde do dia seguinte. O fogo iniciou-se por volta das 18h30 e atingiu praticamente todos os andares dos Edifícios "Sede 1" e "Sede 2" da companhia, localizado na Avenida Paulista. Durante o incêndio, a parte central

do edifício "Sede 2" ruiu, desabando como se estivesse sendo implodida e matando funcionários da empresa.

Outro exemplo recente de um acontecimento de ruína da edificação em virtude de um incêndio foi na cidade de São Paulo, Rua Monsenhor Andrade, região central. Conforme o jornal Estadão de São Paulo, o incêndio começou 11h20min do dia 12/03/2016 e feriu alguns bombeiros após colapso da estrutura.

Mesmo com o número reduzido de acontecimentos adversos como incêndio, as equipes de socorro ou posteriores equipes de perícia ficam submetidas a riscos quando circulam pelas ruínas das edificações, pois é complexo constatar a situação da estrutura sem análises com equipamentos ou até em laboratórios.

1.3 JUSTIFICATIVA

Quando um incêndio atinge toda área de uma edificação, passa por um processo denominado *flashover*, que seria o mesmo que generalização do incêndio. Para atingir esse ponto a temperatura é de aproximadamente 600°C, conforme Thomas (1980).

Conforme Morales; Campos; Faganello, (2011, p.2) “particularmente a perda de resistência mecânica ocorre a temperaturas acima de 300°C”.

Equipes de socorro geralmente são chamadas quando o incêndio já se alastrou por todo um piso de uma edificação, portanto já atingiu o *flashover*, justificando a criação de uma maneira de registrar e ilustrar as falhas que uma peça de concreto armado apresenta durante e após um incêndio.

Edificações que foram construídas seguindo normas vigentes devem atender um tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), conforme NBR 14432/2001, porém em situação de emergência essas informações não são analisadas, apenas fatores visuais da estrutura, logo uma cartilha mostrando os efeitos causados pela calor em peças de concreto poderá ajudar a salvar vidas de pessoas que ocupavam o local e equipes envolvida no resgate.

1.4 OBJETIVOS

Estabelecer uma relação entre resistência e coloração do concreto exposto ao incêndio de modo a contribuir na tomada rápida de decisões pelos bombeiros em situação de possível colapso estrutural. -Elaborar uma cartilha guia para auxiliar os bombeiros e peritos sobre a relação entre cor e perda de resistência.

2 . DESENVOLVIMENTO

Com o crescimento populacional os grandes centros estão confrontando com a falta de espaço físico para edificar. A solução para o dilema é o processo de verticalização das cidades. Segundo Júlio (2016, p. 02)

A verticalização pode ser apontada como um exemplo de materialização das transformações técnicas que atingem a cidade contemporânea de forma contundente. Tal fato não deve ser considerado como uma consequência natural da urbanização, mas das possíveis opções traçadas e definidas pelos diferentes atores sociais e interesses econômicos que envolvem a estruturação interna das cidades.

O crescimento vertical conforme Júlio (2016) apresenta vários pontos positivos, tendo como principal o aproveitamento dos espaços urbanos. Porém as normas técnicas nacionais não estão preparadas para tal crescimento ou para definir ações para edificações que passam a ser antigas.

O Brasil, apesar de vários investimentos na área, ainda desenvolve poucas pesquisas na área de prevenção, normalmente as normas são criadas ou alteradas após tristes sinistros. Em uma situação de incêndio, a estrutura de uma edificação fica exposta a várias agressões conforme pesquisas pré-estabelecidas, porém como cita Long, Therese e John (2010) tais prescrições normativas e avaliações são muitas vezes simplistas e raramente são indicativos de desempenho real durante um incêndio, ou pior, elas se concentram em incêndios que estão localizados em setores e não no sistema estrutural como um todo. Para se definir e caracterizar a perda de resistência,

primeiramente necessita-se saber qual foi a temperatura que a edificação ficou submetida. A estrutura em contato com o fogo apresenta alterações que podem deixar sinais, conforme Kutzing (2002, p. 04).

As alterações de comportamento são resultado da evaporação da água presente na matriz cimentícia, sob forma livre ou combinada, durante o processo aquecimento. Quando a estrutura de poros é aberta, o vapor liberado pode escapar facilmente, resultando num alívio de parte das tensões geradas com o calor.

2.1 AÇÕES ATUANTES NAS ESTRUTURAS

Conforme a NBR 8681/2004 as estruturas de concreto armado sofrem três ações: Ações Permanentes, Ações Variáveis e Ações Excepcionais.

Conforme Zacarias, Ficanha e Ricardo (2013) As ações podem ser entendidas como causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas.

2.1.1 Ações Permanentes.

As ações permanentes se dividem em diretas e indiretas conforme cita a NBR 8681/2014 item 3.5:

- a) ações permanentes diretas: os pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas;
- b) ações permanentes indiretas: a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.

2.1.2 Ações Variáveis

As Ações Variáveis são ações acidentais, dividindo-se em Ações Variáveis Normais e Ações Variáveis Especiais. Conforme cita a NBR 8681/2014 item 3.6:

- a) ações variáveis normais: ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;
- b) ações variáveis especiais: nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis. As combinações de ações em que comparecem ações especiais devem ser especificamente definidas para as situações especiais consideradas.

2.1.3 Ações Excepcionais

As Ações Excepcionais, de maior relevância para a temática deste trabalho, são as ações que ocorrem em virtude de algo excepcional, de difícil acontecimento na vida útil de uma edificação. Conforme a NBR 8681/2014 item 3.7 define, essas ações são explosão, incêndio, choque de veículos, enchentes ou sismos.

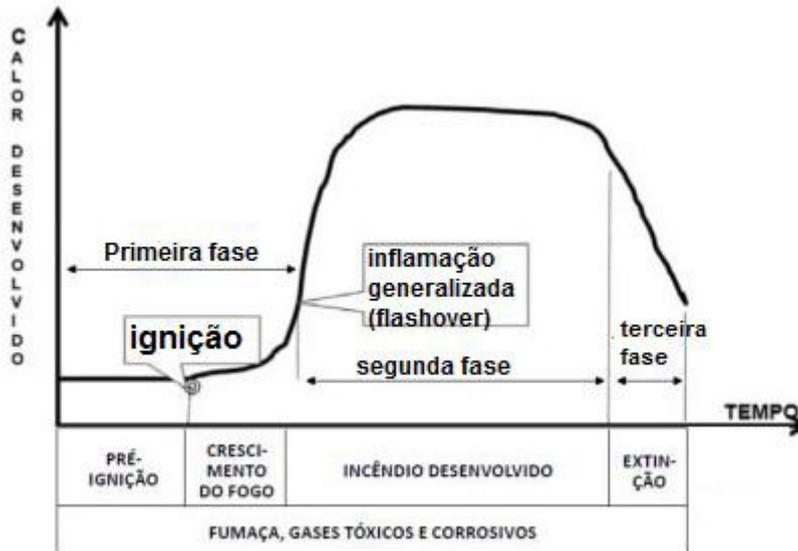
2.2 INCÊNDIO

Conforme Silva (2012) o aumento da temperatura sobre uma peça estrutural resulta em uma diminuição na resistência e no módulo de elasticidade do material, causando deformação excessiva e possíveis colapsos na estrutura.

O incêndio é uma ação excepcional com ressalvas, na NBR 8681/2014, “Os incêndios, ao invés de serem tratados como causas de ações excepcionais também podem ser levados em conta por meio de uma redução da resistência dos materiais constitutivos da estrutura”.

O incêndio é dividido em três fases, como cita Rosso (1975, apud MORALES;CAMPOS;FAGANELLO, 2011, p. 02) “O ciclo típico de um incêndio em uma edificação se constitui em três fases: a inicial, a intermediária e a final”. As fases são divididas a partir das temperaturas atingidas, sendo assim o maior risco para a estrutura da edificação está na fase intermediária na qual se atinge temperaturas acima de 300°C (ROSSO, 1975).

Figura 01 – Curva do Desenvolvimento de um incêndio



Fonte: Seito et al. (2008)

2.2.1 Flashover

Pioneiramente a definição de flashover foi citada por Thomas nos anos 60 e vem de uma ignição súbita generalizada, início de chamas em todos os materiais do ambiente. Esse fato ocorre em virtude da elevação da temperatura de todos os materiais em um local, pela ocorrência de um foco de incêndio. Thomas et al. (1980) citou o início do flashover a partir da temperatura de 600°C.

2.3 DESAGREGAÇÃO

A desagregação como cita Brik, Moreira e Kruger (2013), desagregação é a separação física de pedaços ou placas de concreto, pela perda do ligante do cimento no concreto. Com esse fato a estrutura pode perder a capacidade de resistir aos esforços. As causas da desagregação são as mais diversas, por exemplo, movimentação de fôrmas, corrosão do concreto, calcinação do

concreto, ataques biológicos, carbonatação do concreto, perda de aderência e desgaste do concreto.

Quando o concreto sofre desagregação perde a função estrutural, pois as partículas perdem a ligação entre si, transformando-se em partículas de areia Nakamura (2008). A figura 02 do viaduto Santo Amaro da cidade de São Paulo, mostra desagregação do concreto expondo a ferragem.

Figura 02 –Viaduto Santo Amaro com sinais de calcinação e desagregação do concreto.



Fonte: Relatório da Situação Estrutural do Viaduto (CONCREMAT 2016)

2.4 CALCINAÇÃO

Inúmeras reações ocorrem nas peças de concreto armado quando submetidas à temperatura de acima de 300 °C. Entre todas, se tem a Calcinação, uma reação endotérmica com redução de volume, resultando em um aumento no campo de tensão ocasionando diversas fissuras (Grattan-Bellew, 1996).

Calcinação conforme Feltre (2005) é a decomposição de um sólido em outro sólido mais gás. Na construção civil a decomposição atinge o Calcário (CaCO_3), sendo decomposto em Óxido de Cálcio (CaO) e Dióxido de Carbono (CO_2), conforme fórmula 01.

Formula 01 – Fórmula Química



Fonte: Feltre (2005)

Essa reação vem da termoquímica e denomina-se endotérmica pois necessita absorver calor para ocorrer, Feltre (2005).

Na absorção de calor da reação endotérmica, o composto químico CaCO_3 , quando decomposta gera uma escala de colorações, que variam conforme o nível de calor submetido na reação.

A escala de colorações foi elencada por Rosso (1975) como mostra a Tabela 01:

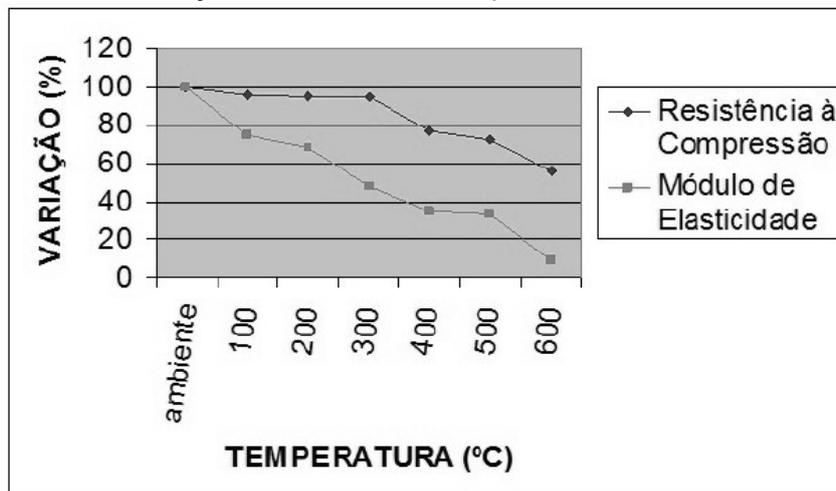
Tabela 01 –Tabela de cores da Calcinação

Temperatura [°C]	Cor	Aspecto visual / Desempenho
<250	Cinza	Perda de resistência pequena e irregular
285-300	Cinza-Roseo	Fissuração superficial, lascamento explosivo (vapor)
300	Rosa	Início de mudança de cor
50 - 400		Redução do módulo de deformação
535-550	Roxo	Fissuração profunda – friabilidade superficial
575	Vermelho pálido	Pipocamento dos grãos de quartzo
650	Cinza esbranquiçado	Perda das propriedades mecânicas
790-800		Lascamentos do cobrimento das armaduras, com exposição até 25% da superfície das mesmas
900	Amarelo alaranjado	Superfície pulverulenta
1000	Amarelo claro	

Fonte: Rosso (1975)

Segundo Neville (2016) “entre 600°C e 700°C ocorre à perda total e irreversível das propriedades mecânicas do concreto”. Agravando a redução da resistência o fato de lançar um líquido frio na superfície agride ainda mais a resistência. O Gráfico 01 que ilustra as mudanças na resistência e no módulo de elasticidade com o aumento da temperatura.

Gráfico 01 – Redução da resistência à compressão e modulo de elasticidade



Fonte: Rosso (1975) 25

2.5 NBR 15200/2012

O ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), entidade privada, coordena estudos nas áreas técnicas para padronizar processos. Entre as mais variadas NBR à 15200 estabelece índices para projetos de estruturas de concreto em situação de incêndio, foi criada em 2004 e atualizada em 2012 após o acontecimento do incêndio da “Boate Kiss” em Santa Maria-RS.

Em entrevista a revista do Crea-RS o Governador do Rio Grande do Sul, Tarso Genro mostra preocupação defasagem das normas com relação aos sistemas preventivos. *“Com a tragédia de Santa Maria, ficou evidente que é preciso reformular e deixar mais clara a legislação de segurança contra incêndio. Já estamos discutindo isso com os órgãos competentes e a sociedade civil”* Tarso Genro.

Percebeu-se que as normas Brasileiras, com relação as estruturas em situação de incêndio estavam defasadas, necessitando assim, de mais estudos e testes na área. Segundo Silva (2012), as exigências de segurança contra incêndio das edificações ficam a cargo do Corpo de Bombeiros Militar, sem uma legislação vigente a respeito da análise estrutural.

O setor de vistorias da instituição Corpo de Bombeiros realiza fiscalizações com enfoque nas medidas de segurança como: rotas de fuga, sistemas preventivos ativos (Rede de Hidrante e Extintores) e passivos (Sinalização de emergência e iluminação de emergência), sem normativa e nem preparo para uma análise estrutural.

A norma 15200/2012 denomina para cálculo de resistência do concreto, a resistência de cálculo igual à resistência característica. Em uma situação de incêndio o valor de cálculo dos esforços atuantes é menor ou igual aos valores de cálculo correspondentes aos esforços resistentes.

2.7 TEMPO REQUERIDO DE RESISTENCIA AO FOGO

A NBR 14432/2000 regula um tempo que a estrutura de uma edificação deve suportar a um incêndio ou TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo), a norma divide as ocupações conforme quadro 1.

Quadro 01-Divisão do TRRF por Ocupações

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: NBR14432

O TRRF pode variar entre 30 a 120 minutos, tendo como maior influência, carga de incêndio, pé-direito da edificação e existência de subsolo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 AMOSTRAS

As amostras, corpos de prova, foram doadas por uma usina de fabricação de concreto, CONCREMIL no município de Rio Negro Paraná. Para o estudo foram utilizados cinco corpos de prova, sendo eles: 04 de 25Mpa e 01 de 30Mpa.

Todas as amostras foram executadas seguindo um rigoroso controle de produção e já apresentavam um tempo de cura de aproximadamente 01 ano.

Para submeter às peças de concreto a mudança de temperatura utilizou-se um forno marca Jung, modelo 1300 (atinge temperaturas de até 1300°C), conforme figura 03. O equipamento foi cedido pela empresa Casagrande sediada no município de Mafra – Santa Catarina.

Figura 03 –Forno Jung 1300



Fonte: Dados da Pesquisa, (2016)

Após finalizar a queima das amostras, os mesmos foram identificados pela resistência inicial, temperatura de exposição e coloração. Os testes de resistência à compressão foram analisados no laboratório da instituição

Universidade do Contestado, utilizando uma prensa, marca Erca, conforme figura 04, que analisa a resistência do concreto a forças de compressão.

Figura 04 –Prensa Marca Erca



Fonte: Dados da Pesquisa, (2016)

3.4 COLETA DE DADOS

Os corpos de prova foram expostos a uma temperatura para posterior análise do nível de calcinação, diminuição da resistência e características das peças.

O forno foi programado para atingir a temperatura escolhida e logo depois iniciar o processo de resfriamento. As primeiras amostras submetidas ao teste foram:

-Um corpo de prova, com resistência mínima 25 MPa seção 10 cm por 20cm de altura;

-Um corpo de prova, com resistência mínima 30 MPa seção 10 cm por 20 cm de altura.

A temperatura partiu da ambiente até 1000°C, levando aproximadamente 1 hora, o resfriamento total levou aproximadamente 3 horas.

No segundo teste a temperatura partiu da ambiente até 300°C, levando aproximadamente 15 minutos, o resfriamento total levou aproximadamente 1 hora. As amostras utilizadas foram:

-Dois corpos de prova de 25 MPa seção 10 cm por 20 cm de altura;

Após submeter todos os corpos de prova a calor, foram encaminhados para o laboratório da Universidade do Contestado, tomando cuidados com a vibração do transporte em virtude da fragilidade das peças, evitando assim desagregações antes dos testes de compressão axial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

4.1.1 Testes nas Amostras Sem Exposição ao Calor

Iniciou-se os testes com dois corpos de provas com resistência inicial mínima de 25 MPa, sem serem expostos a nenhuma variável. O teste foi realizado apenas para comprovação da resistência das amostras. As figuras 5 e 6 mostram os corpos de prova no teste de compressão axial.

Figura 5 -1° Corpo de prova no teste de compressão axial



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Figura 6 -2º Corpo de prova no teste de compressão axial



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Após os testes, os resultados coletados estão na unidade toneladas, portanto devem ser convertidos para MPa. Mega Pascal é unidade de pressão, uma tonelada força, equivale a 1000 kgf e um kgf vale 9,8N (1000kgf = 9800N). A área, na qual essa força foi aplicada é circular, com diâmetro de 10 cm e a área de 78,54 cm².

$$X = \text{Toneladas} \times 9800N / 78,54 \text{ cm}^2 \rightarrow N/\text{cm}^2 \times 100 \rightarrow N/\text{mm}^2 = \text{Mpa}$$

O resultado N/cm² é dividido por 100 virando N/mm² que é igual a MPa.

1º teste –Resultado 34,69 Toneladas conforme imagem 11 portando, 43,28 Mpa.

2º teste -Resultado 39,34 Toneladas conforme imagem 12 portando, 49 Mpa

As amostras apresentaram uma resistência maior do que a mínima estimada, que era de 25 MPa.

4.1.2 Testes nas Amostras Com Exposição ao Calor

Os corpos de prova que foram submetidos à caloria e apresentaram calcinação, foram separados em grupos:

1º -temperatura de 1000°C;

2º -temperatura de 250 à 300 °C;

Como as experiências foram realizadas em perfil de amostragem, geraram-se três amostras com duas variações de temperatura (1000°C e 300°C).

4.1.2.1 Primeira etapa de testes Com Exposição ao Calor

No primeiro teste como citado por Neville (2016) “entre 600°C e 700°C ocorre à perda total e irreversível das propriedades mecânicas do concreto” as amostras perderam completamente a resistência, transformando-se praticamente em uma amostra de agregado graúdo e miúdo. E conforme a tabela de Rosso (1975) os corpos de prova apresentaram uma coloração amarelo alaranjada com superfície pulverulenta.

Na figura 7 percebe-se a superfície toda fissurada e tom amarelo alaranjado, conforme a tabela de Rosso (1975).

Figura 7 –Coloração do concreto



Fonte: Dados da Pesquisa, (2016)

Nesta etapa de testes percebeu-se que independente da resistência inicial, 25MPa e 30MPa, as amostras apresentaram o mesmo resultado, nenhuma resistência axial. Conforme citado por Chan, Peng e Chan (1996) em estudos anteriores, concretos de resistência baixa comparados com concreto de alta resistência apresentaram a mesma redução de resistência mecânica quando expostos a variação de temperatura.

4.1.2.2 Segunda etapa de testes Com Exposição ao Calor

Na segunda etapa de testes a amostra foi submetida a uma temperatura entre 250°C a 300°C. O corpo de prova apresentou borras na cor cinza, figura 8, conforme tabela de Rosso (1975).

Figura 8 –Coloração Cinza



Fonte: Dados da Pesquisa, (2016)

No teste de compressão o amostra teve uma pequena redução da resistência, uma resistência de 23 MPa.

O resultado mostra uma variação na resistência, porém não condenou a resistência do concreto.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Com o termino dos testes comprovou-se a pesquisa bibliográfica referente à diminuição da resistência de concreto exposto a calor e também a existência de uma reação endotérmica com mudança superficial na coloração das amostras, proporcional à elevação da temperatura.

4.3 MANUAL PARA ANÁLISE DA ESTRUTURA

O manual foi criado para auxiliar a tomada de decisões em situação de emergência ou pericia superficial de edificações que foram atingidas por um incêndio.

É importante salientar que o material foi criado para proporcionar um apoio e não como laudo conclusivo do estado estrutural da edificação.

O manual é dividido em: Capa, Objetivo, uso, índice de Cores e abas.

- Objetivo – Neste capítulo são demonstrados quais os objetivos e públicos que podem utilizar do manual;
- Uso - É ensinado o funcionamento do manual e em quais situações pode ser usado;
- Índice de cores – capítulo que ilustra a maneira que a calcinação se comporta nas peças de concreto, como exemplo o formato dos borrões de cores.
- Abas – é dividido em sete abas, cada uma para uma cor da calcinação, explicando características do concreto e o risco do local.

Cada Aba com cor, referente ao nível de calcinação, demonstra orientações para o usuário. As dicas de cada aba foram criadas utilizando das pesquisas de Rosso (1975) como a tabela 01 já citada e dados coletados na NBR 6118 referente ao nível de redução da resistência mínima do concreto armado.

O manual encontra-se no formato real no apêndice A -“MANUAL”, para melhor visualização de cada capítulo.

5 CONCLUSÃO

Após estudos bibliográficos referentes ao concreto armado exposto a uma variação de temperatura, consegue-se criar um parâmetro de análise a partir da intensidade da reação endotérmica no elemento calcário, reação

denominada calcinação. Essa escala comparativa mostra que com a mudança da coloração do concreto, pode-se afirmar a temperatura que a estrutura atingiu e conseqüentemente os danos que sofreu.

Com algumas amostras em laboratório foi possível confirmar o efeito da calcinação e redução de resistência do concreto. Com os resultados dos testes, elaborou-se um material que vai auxiliar na tomada de decisões das equipes de socorro e posteriores perícias no local.

O material denominado “Manual Para Análise do Nível de Dano Causado em uma Estrutura de Concreto Armado Durante Incêndio” é de fácil interpretação e manuseio, porém contempla uma grande quantidade de informação na associação de pesquisas de redução de resistência e calcinação. Com o manual o usuário poderá ter um auxílio nas decisões referentes ao perigo que os locais expõem as equipes, tornando assim o serviço mais seguro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15200/2012: **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio –Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 14432: **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações –Procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 5628: **Componentes construtivos estruturais -Determinação da resistência ao fogo**. Rio de Janeiro, 2001

_____. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014

_____. NBR 8681: **Ações e Segurança nas Estruturas**. Rio de Janeiro, 2004

BRIK, E. M. J. MOREIRA, L. P. KRUGER, J. A. **Estudo das patologias em estruturas de concreto pro venientes de erros em ensaios e em procedimentos executivos**. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, Ponta Grossa, 8., 2013.

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

CHAN, S. Y. N.; PENG, Gai-fei; CHAN, John K. W.. Comparison between high strength concrete and normal strength concrete subjected to high temperature. **Materials And Structures**, [s.l.], v. 29, n. 10, p.616-619, Springer Nature. dez. 1996.

CHAN, S. Y.n.; PENG, G.f.; ANSON, M.. Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.23-27, Elsevier BV. jan. 1999.

Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do Paraná, 2016. Disponível em: <<http://www.bombeiros.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=316>>. Acesso em: 15 set. 2016.

CONCREMAT. **Relatório Técnico Avaliação das Condições Estruturais do Viaduto Santo Amaro**, 2016. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/relatorio_concremat_viaduto_santo_amaro.pdf>. Acesso em: 25 out. 2016.

DENOEL, J. F. **Fire Safety and Concrete Structures**. European: FEBELCEM-Federation Of Belgian Cement Industry, 2007.

Folha de São Paulo. **Acidente no túnel Gotthard na Suíça**. São Paulo: Mundo, Diário. [2001]. 45

Folha de São Paulo. **Incêndio ponte de Tatuapé**. São Paulo: Cotidiano, Diário. [1995].

FICANHA, R; CHAMBERLAIN, Z; FABEANE, R: Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço: EDIFÍCIO INDUSTRIAL DETALHADO. Rio de Janeiro: Campus,2013. 256p.

FELTRE, R.. **Físico-química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004. 282 p.

FELTRE, R. **Química-1**. São Paulo: Moderna, 2005. 400 p.

GRATTAN-BELLEW, P. E. Microstructural Investigation of Deteriorated Portland Cement Concretes . **Construction and Building Materials**. Vol. 10. Issue 1. Elsevier Science Ltd. Amsterdam, February, 1996.

GROSS, J.L.; PHAN, Long T.. Summary of Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings. **Structures Congress 2010**, [s.l.], p.1-200, American Society of Civil Engineers (ASCE). 18 maio 2010.

KLEIN, D.L.; CAMPAGNOLO, J.L. **Metodologia para a análise do estado de**

degradação de prédios estruturados submetidos a ação do fogo. In: VI CONGRESO DE PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION Y VIII DE CONTROL DE CALIDAD, 2001.

KODUR, V. K. R. et al. **Effect of Strength and Fiber Reinforcement on Fire Resistance of High-Strength Concrete Columns.** Journal Of Structural Engineering, [s.l.], v. 129, n. 2, p.253-259, American Society of Civil Engineers (ASCE).

KODUR, V.k.r.; WANG, T.c.; CHENG, F.p.. **Predicting the fire resistance behaviour of high strength concrete columns.** Cement And Concrete Composites, [s.l.], v. 26, n. 2, p.141-153, Elsevier BV. fev. 2004.

KODUR, V.k.r.; PHAN, L.. **Critical factors governing the fire performance of high strength concrete systems.** Fire Safety Journal, [s.l.], v. 42, n. 6-7, p.482-488, Elsevier BV. set. 2007.

KODUR, V.k.r.; DWAIKAT, M.. **A numerical model for predicting the fire resistance of reinforced concrete beams.** Cement And Concrete Composites, [s.l.], v. 30, n. 5, p.431-443, Elsevier BV. maio 2008.

KUTZING, L. **Fire resistance of high performance concrete with fibre cocktails.** Disponível em: http://www.uni-leipzig.de/massivb/institut/lacer04/1004_19.pdf >. Acessado em: 03 jun. 2016.

Jornal Estadão de São Paulo. **Incêndio Shopping Brás.** São Paulo: Mundo, [2016]-. Diário.

LIMA, R. C. A. et al **O concreto de alto desempenho em temperaturas elevadas** In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003, São Paulo -SP. Anais. São Paulo, 2003 (CD Rom)

LIN, W. LIN, T. D.; POWERS-COUCHE, L. J. **Microstructures of Fire Damaged Concrete .** ACI Materials Journal. Vol. 93, Nº 3. Technical Paper. ACI –American Concrete Institute. New York, May-June, 1996.

LONG, T. P.; THERESE, P.M.; JOHN, L.G.; MORGAN, J.H. **Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings.** U.S. : National Institute of Standards and Technology, 2010.

MORALES, G. CAMPOS, A. FAGANELLO, A. **A Ação do fogo sobre os componentes do concreto.** Semina: Tech. Ex., [s.l.], v. 32, n. 1, p.47-55, 22 jun. 2011. Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2011v32n1p47>> acessado em: 03 jun. 2016.

NAKAMURA, J., 2008, “**Cuidados para resistir à maresia**”. In: Revista Techné, edição 88.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1923.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção Atas de Eventos – Atas do XVII SENABOM - Parte II
Artigo publicado no Vol.04 Nº09 - Edição de JAN a JUN 2018 - ISSN 2359-4837(online)
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

PEREIRA, F. S. C. **Historia da Engenharia**. Disponível em: < <http://www.crea-rn.org.br/artigos/ver/120>>. Acesso em: 03 jun. 2016

RAMIRES, J. C. L. **O processo de verticalização das cidades Brasileiras**. Disponível em: < ojs.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/download/12156/7320>. Acessado em: 22 jun. 2016.

SILVA, V. P; **Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio: Conforme ABNT NBR 15200:2004**. São Paulo: Blucher, 2012.

SEITO, A. I. *et al.* **A Segurança Contra Incêndios no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008. 470 p.

SILVA, D. C. M. "**Lei de Fourier**"; **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/lei-fourier.htm>>. Acesso em 21 de setembro de 2016.

THOMAS, P.h. et al. Flashover and instabilities in fire behavior. **Combustion And Flame**, [s.l.], v. 38, p.159-171, Elsevier BV jan. 1980.

VALENTE, L. S. **Patologias Estruturais Causadas por Efeitos de Sismo, Explosão e Exposição ao Fogo**. Disponível em: <http://www.revistaeeep.com/imagens/volume14_02/cap02.pdf>. Acessado em: 03 jun. 2016.

VELASCO, R. V. et al **Comportamento tensão-deformação do concreto de alto desempenho submetido a altas temperaturas** In: Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 5, 2003, São Paulo -SP. Anais. São Paulo, 2003