

**AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO
APÓS INCÊNDIO OCORRIDO EM ESTABELECIMENTO
COMERCIAL DE AUTOPEÇAS NA ZONA DA MATA DE MINAS
GERAIS**

ERICK PRATA DE MOURA

MANHUAÇU

2020

ERICK PRATA DE MOURA

**AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO
APÓS INCÊNDIO OCORRIDO EM ESTABELECIMENTO
COMERCIAL DE AUTOPEÇAS NA ZONA DA MATA DE MINAS
GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Superior de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFACIG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia de Construção Civil

Orientador: Prof. Carlos Henrique Carvalho Junior

MANHUAÇU

2020

RESUMO

Os incêndios são comuns no mundo todo tanto em edifícios residenciais, comerciais ou industriais, podendo ocasionar diversos prejuízos (CORRÊA, SILVA, OLIVEIRA & BRAGA, 2015). Os danos ocasionados pela ação do fogo proporcionam prejuízos financeiros devido a interrupção das atividades, além do gasto destinado a restauração, caso possível, das estruturas que foram danificadas. (RACHANIOTIS & PAPPIS, 2006). Em alguns casos estas reconstruções não são passíveis de serem realizadas devido ao colapso estrutural do concreto armado (OLIVEIRA, 2013). Devido a grande importância da compreensão do estado estrutural do concreto armado para elaboração de projetos de reconstrução ou de demolição, além da importância das consequências ocasionadas pelo fogo, o objetivo do trabalho foi avaliar uma estrutura de concreto armado após situação de incêndio em um estabelecimento comercial de autopeças, intitulado CALPEN, localizado em Manhuaçu. Objetivou-se ainda, realizar uma descrição detalhada com a apresentação de imagens dos efeitos ocasionados ao edifício no qual se localizava o estabelecimento comercial comparando com as informações disponíveis na literatura. Além disso foi realizado um ensaio com três corpos de provas para demonstrar os efeitos sofridos pelo concreto sob a ação do fogo e sua relação com o tipo de resfriamento, sendo que um destes corpos de prova foi um caso controle, ou seja, não foi submetido ao fogo. As principais patologias que foram encontradas no presente estudo foram: fissuras em pilares e vigas, lascamento superficial, lascamento explosivo, esfarelamento superficial, alteração de coloração, deformação em laje e corrosão em aço. O ensaio demonstrou a redução expressiva da resistência e do tamanho do bloco 1 que foi resfriado com água. Entretanto, o mesmo permaneceu com praticamente o mesmo peso inicial.

Palavras chaves: incêndios; estrutura de concreto armado; aço; patologias do concreto;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. DESENVOLVIMENTO	4
2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.2. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	9
2.3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	10
3. CONCLUSÃO	18
4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	19

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios em edifícios residenciais, comerciais ou industriais são comuns no mundo todo e podem ocasionar diversos prejuízos (CORRÊA, SILVA, OLIVEIRA & BRAGA, 2015). De acordo com Lima, Kirchhof, Casonato e Silva Filho (2004), as tragédias relacionadas ao fogo, além de constituírem um grande risco para a vida dos seres humanos, podem gerar danificações estruturais significativas nas edificações. Tais danos proporcionam prejuízos financeiros devido a interrupção das atividades, além do gasto destinado a restauração das estruturas que foram danificadas. (RACHANIOTIS & PAPPIS, 2006) Ademais, em alguns casos estas reconstruções não são possíveis devido ao colapso estrutural dos edifícios de concreto armado, o que ocasionam mais perdas aos proprietários dos imóveis (OLIVEIRA, 2013).

De acordo com Montini & Gomazako, 2014, uma tragédia relacionada ao fogo pode se iniciar por diversos motivos distintos, desde a sobrecarga na rede elétrica à uma vingança de algum funcionário insatisfeito. Para se iniciar um incêndio quatro elementos são necessários: combustível, comburente, fonte de calor e reação em cadeia. O simples fato de se descuidar de uma bituca de cigarro pode ocasionar um desastre. Entretanto, as causas mais comuns de incêndio são: sobrecarga nas instalações elétricas, vazamento de gás, improvisações elétricas e carência de conservação dos motores elétricos.

Geralmente, as estruturas de concreto armado são enrijecidas e robustas e se comportam bem quando são expostas ao fogo por possuírem reduzida condutividade térmica em comparação a outros materiais. Porém, os elementos estruturais do concreto armado pode sofrer perdas significativas quando submetido à altas temperaturas (ALMEIDA, 2018). Quando o concreto é exposto a uma temperatura da ordem de 300°C ocorre uma diminuição de cerca de 25% da resistência mecânica natural do material em questão. Já quando exposto a temperaturas de 600°C, a diminuição é de aproximadamente 75%, de acordo com estudos realizados por Brites e Costa (2011).

Dada a importância da compreensão do estado estrutural do concreto armado para elaboração de projetos de reconstrução ou de demolição, além da importância das consequências ocasionadas pelo fogo, o objetivo do trabalho foi avaliar uma estrutura de concreto armado após a ocorrência de um incêndio em um estabelecimento comercial de autopeças, intitulado CALPEN, localizado em Manhauçu. Objetivou-se ainda, realizar uma descrição detalhada dos efeitos ocasionados ao edifício no qual se localizava o estabelecimento comercial comparando com as informações disponíveis na literatura. Além disso foi realizado um ensaio com três corpos de provas para demonstrar os efeitos sofridos pelo concreto sob a ação do fogo e sua relação com o tipo de resfriamento, sendo que um destes corpos de prova foi um caso controle, ou seja, não foi submetido ao fogo.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.1 O FOGO E SEUS ELEMENTOS CONSTITUÍNTES

O fogo nada mais é do que um processo químico de transformação, ou seja, o resultado de uma reação química que libera luz e calor através da queima de diferentes

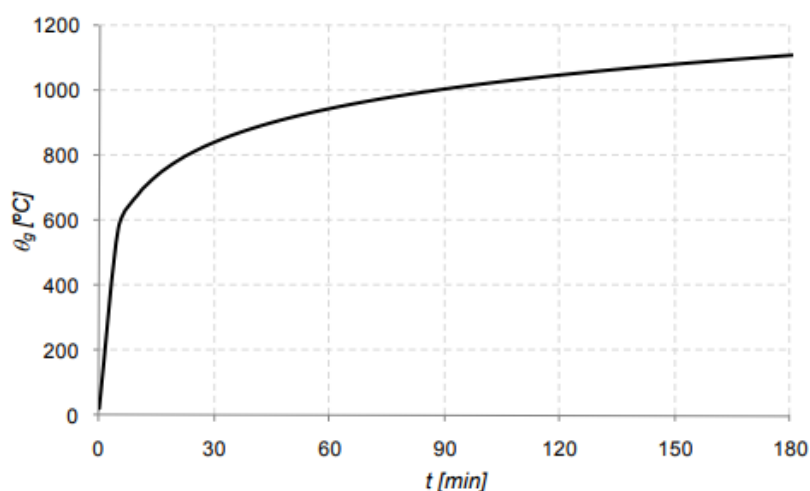
materiais. De acordo com a teoria do tetraedro do fogo, os elementos constituintes do fogo são basicamente: combustível, comburente – oxigênio; calor e reação em cadeia. Estes elementos quando interagem entre si e dão origem à combustão. A reação em cadeia de tais elementos proporciona a manutenção do fogo (SIMIANO & BAUMEL, 2013).

O combustível é toda a substância capaz de queimar e alimentar a combustão. Já o comburente, que em geral é o oxigênio, é o componente que faz a ativação da combustão através da combinação de vapores inflamáveis dos combustíveis. O calor se trata de uma forma de energia que dá início ao fogo, possibilitando que este se propague. É importante salientar que, isoladamente, os elementos do tetraedro não são capazes de originar o fogo, uma vez que se apenas um dos constituintes for removido, o fogo é extinto. O que permite a produção do mesmo é a reação em cadeia, ou seja, a interação de todos os elementos entre si (USBR, 2000; SIMIANO & BAUMEL, 2013).

2.1.2 OS INCÊNDIOS

As tragédias relacionadas aos incêndios em edificações – sejam estas comerciais, industriais ou residenciais, são situações corriqueiras em todo o mundo e podem ocasionar danos acentuados (CORRÊA, SILVA, OLIVEIRA & BRAGA, 2015). De acordo com Lima, Kirchhof, Casonato e Silva Filho (2004), além dos usuários das edificações em situações de incêndio ficarem sujeitos a um elevado risco de morte, existe ainda os danos estruturais que a construção pode sofrer. O colapso das estruturas do concreto armado, apesar de possuir baixa probabilidade em ocorrer, não é uma situação incomum (OLIVEIRA, 2013). Os incêndios podem ter início em qualquer lugar, onde haja uma situação favorável para o descontrole do fogo, e por diversos motivos que vão desde à sobrecarga na rede elétrica até uma vingança (SIMIANO & BAUMEL, 2013).

Figura 1: Curva de incêndio-padrão ISO 834



Fonte: ISO (1990)

2.1.3 O CONCRETO SIMPLES E O CONCRETO ARMADO

De acordo com a NBR 6118/03 (item 3.1.2), a definição de concreto simples é: “elementos estruturais elaborados com concreto que não possui qualquer tipo de armadura ou que a possui em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado”. O

concreto é uma combinação de agregados pequenos (areia) e grandes (brita ou pedra), cimento, ar e água que é caracterizado por alta capacidade de resistir a tensões de compressão. Entretanto, possui baixa resistência à tração. Sendo assim, para sanar este problema, adiciona-se barras de aço que formam uma armadura no concreto, fazendo com que o sistema concreto armado – conjunto de concreto e barras de aço; suporte ambas tensões: de compressão e de tração, proporcionando estabilidade às estruturas (BASTOS, 2006).

As estruturas de concreto são altamente resistentes ao fogo devido as características térmicas do material. Entre elas, pode-se citar a baixa condutividade térmica, a incombustibilidade e o fato do material não exalar gases quando aquecido. Entretanto, quando há o aumento de temperatura, o concreto reduz sua resistência e seu módulo de elasticidade, sendo assim, há uma redução da rigidez da estrutura. Além disso, devido a heterogeneidade dos elementos que constituem o concreto armado, o aumento da temperatura pode levar a estrutura a ruína, uma vez que ocorre uma degradação progressiva do material (METHA, 1994; NEVILLE, 1997; LIMA, KIRCHHOF, CASONATO & SILVA FILHO, 2004).

2.1.4 O AÇO SOB AÇÃO DO FOGO

O aço é definido como uma liga de ferrocarbono associado a outros elementos, como o silício, manganês entre outros. Os aços estruturais utilizados na construção civil apresentam taxas de carbono de 0,18% a 0,25% e é um material muito utilizado devido a sua ductibilidade, incombustibilidade, facilidade de ser trabalhado, resistência a tração, compressão, flexão e torção; resistência a impacto, abrasão e desgaste. Em condições propícias, demonstram resistência a variações de temperatura, intempéries e agressões químicas. O aço devidamente dimensionado e detalhado, resiste muito bem a maior parte dos tipos de solicitações. Ademais, em peças comprimidas, além de fornecer ductibilidade, o aço amplia a resistência do concreto à compressão (PINHEIRO, SANTOS, MUZARDO, SANTOS, 2010).

A diminuição da resistência do aço é ocasionada pelo aumento da temperatura. Esporadicamente, são observadas situações em que após o resfriamento, o aço recuperou a sua resistência inicial. Alterações na cristalografia do aço, ocasionadas por temperaturas acima do ponto eutético do material, que é de aproximadamente 720°C, fazem com que o mesmo não recupere sua resistência inicial, ou seja, cem por cento. Dessa forma, há uma perda significativa na resistência do aço (SMITH *et al.*, 1981).

A corrosão do aço nas estruturas de concreto armado é relacionada a natureza eletroquímica (HELENE *et al.*, 2003). Quando ocorre o combate ao fogo com água, pode-se notar o aparecimento de corrosões devido a recomposição do óxido de cálcio em hidróxido de cálcio. Sendo a pasta de cimento composta por hidróxido de cálcio, quando o concreto atinge a temperatura de 400°C ocorre a desidratação do hidróxido que se transforma em óxido de cálcio e, com isso ocorre a consequente redução do pH para valores inferiores a 12,5 (ILIESCU, 2007). De acordo com Tokudome (2009), o concreto em situações de incêndio fica exposto a elevadas concentrações de monóxido de carbono. O hidróxido de cálcio da pasta de cimento quando associado ao monóxido de carbono origina o carbonato de cálcio. Tal elemento avança até o interior do concreto atingindo o aço da armadura o que dá origem ao processo de corrosão.

2.1.5 OS EFEITOS DA ALTA TEMPERATURA SOB O CONCRETO

De acordo com Morales, Campos e Faganello (2011), são vários os efeitos que a temperatura ocasiona na composição química e nas propriedades físicas do concreto, como por exemplo, o lascamento explosivo, esfarelamento superficial, fissuração, além da modificação da coloração do concreto. Ademais, podem ocorrer ainda outros danos, como a calcinação superficial, movimentos de dilatação e retração estrutural e movimentação da armadura ocasionada pela dilatação do aço (FERREIRA, 1998). De acordo com Rosso (1975), o concreto sofre diferentes tipos de efeitos à medida em que a temperatura se eleva, sendo que a partir de 300°C os danos à resistência mecânica de determinado componente do concreto é extremo.

2.1.5.1 O LASCAMENTO SUPERFICIAL E O LASCAMENTO EXPLOSIVO

O lascamento superficial, também conhecido como “*sloughing*” ou delaminação, é caracterizado pelo destacamento de placas de concreto em grande parte da superfície, ou seja, perda geral do material. Já o lascamento explosivo (“*explosive spalling*”), apesar de também ser caracterizado pelo destacamento de placas, estes são pequenos e ocorrem de forma abrupta e violenta. Além disso, o lascamento explosivo tende a ocorrer em temperaturas entre 250°C a 400°C nos primeiros trinta minutos em que o fogo age (MELHADO, 1988; MORALES, CAMPOS & FAGANELLO, 2011).

A causa dos lascamentos explosivos não está completamente esclarecida. Entretanto, sabe-se que o lascamento está relacionado à natureza mineralógica do agregado e às concentrações de tensões térmicas que se encontram em camadas próximas aos cantos do elemento. Além disso, geralmente, os lascamentos explosivos estão relacionados ao comportamento da pasta de cimento, devido a ação mútua da pressão nos poros com as tensões térmicas internas, sendo a pressão de vapor o fator mais importante em muitos casos (PURKISS, 1996; ANDERBERG, 1997). Além disso, a esbeltez juntamente com altas tensões de compressão na seção transversal do concreto podem aumentar a ocorrência de lascamentos (COSTA, FIGUEIREDO & SILVA, 2002).

2.1.5.2 O ESFARELAMENTO SUPERFICIAL

O esfarelamento superficial ocorre quando há a exposição constante das camadas superficiais, em especial a parte carbonatada do concreto, ao fogo, levando ao enfraquecimento do mesmo e redução da resistência a abrasão. Dessa forma, ocorre o esfarelamento da superfície das peças de concreto (COSTA, FIGUEIREDO & SILVA, 2002; MORALES, CAMPOS e FAGANELLO, 2011).

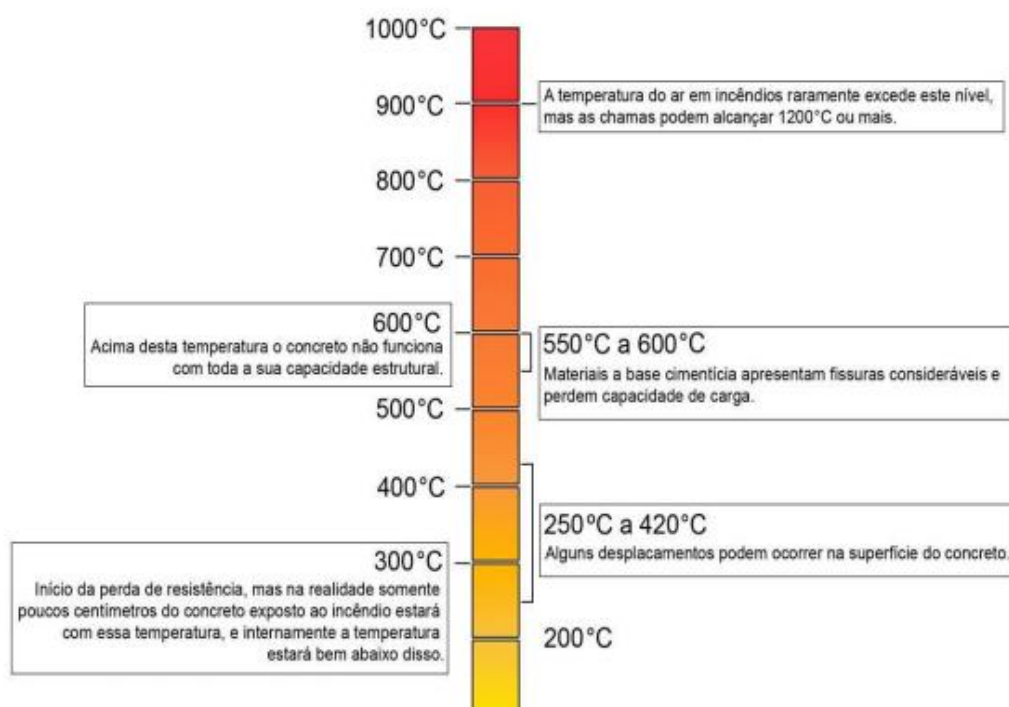
2.1.5.3 A DILATAÇÃO, CONTRAÇÃO E FISSURAÇÃO

De acordo com Thomaz (1989), os materiais podem sofrer dilatação e contração devido à variações de temperatura que promovem alterações dimensionais. Entretanto devido às restrições que envolve os materiais, ocorre o surgimento de tensões que podem ocasionar o aparecimento de fissuras. Os movimentos que os materiais sofrem estão relacionados ao seus respectivos coeficientes de dilatação térmica e gradiente de temperatura. Já a magnitude das tensões estão relacionadas à intensidade da variação dimensional, à restrição imposta pelos vínculos a esta variação e às propriedades elásticas dos materiais (THOMAZ, 1989; METHA & MONTEIRO, 1994).

De acordo com SOUZA (2005), a perda de água capilar começa a ocorrer quando a temperatura atinge 100°C, podendo atingir 300°C sem que ocorra modificações na

estrutura do concreto. Entretanto, quando a temperatura é igual ou superior a 300°C, a água do gel de cimento evapora, dando início às fissuras. Combater um incêndio pode ser tão prejudicial à estrutura de concreto quanto a ação do fogo, pois o choque térmico e a rehidratação do material ocasionados pela adição de água são capazes de gerar tensões que tendem a produzir maior fissuração. Entre 500°C e 600°C, verifica-se a decomposição do hidróxido de cálcio e, conseqüentemente há a liberação do óxido de cálcio. Quando este é reidratado, ocorre a expansão de massa e ocorrência de fissuras que pode levar todo o edifício à ruína (ZABEU, 2011).

Figura 2: Comportamento do concreto diante o aumento da temperatura



Fonte: JACOBS, 2007 (adaptado)

2.1.5.4 AS DIFERENTES COLORAÇÕES DO CONCRETO QUANDO EXPOSTO À ALTAS TEMPERATURAS

De acordo com Bauer (2008), a gravidade do incêndio pode ser identificada através da coloração do concreto após seu resfriamento, uma vez que as cores demonstram a temperatura pela qual o concreto foi exposto. Segundo Rosso (1975) e Canovaz (1988), o concreto começa a alterar sua coloração aos 300°C, sendo que de 285°C a 300°C a cor característica do mesmo é cinza-roseo. A partir dos 300°C, o concreto se apresenta rosa. A tonalidade roxa aparece quando a temperatura alcança 535°C. Aos 575°C, a coloração se modifica para vermelho pálido. À uma temperatura de 650°C, o concreto exibe a tonalidade cinza esbranquiçado. A partir dos 900°C, o amarelo alaranjado é a cor característica do concreto. Já o amarelo claro é demonstrado a partir de uma temperatura de 1000°C.

Os efeitos físicos do concreto submetido a altas temperaturas foram descritos por Rosso (1975). De acordo com o autor, entre 100°C e 500°C ocorre o lascamento, lascamento explosivo e desidratação do gel de C-S-H. Em 200°C, os mesmos efeitos são observados, além da retração e dilatação dos agregados. A redução de água do gel e a formação de fissuras superficiais podem ser observadas quando a temperatura está entre

300°C e 400°C. Valores acima de 400°C ocasionam uma retração mais acentuada devido a desidratação do hidróxido de cálcio, que é mais rápida quando a temperatura atinge valores entre 500°C e 600°C. Aos 575°C ocorre a fissuração da matriz cimentícia, uma vez que há a expansão do quartzo – transformação de alfa para beta. Em 870°C também ocorre a expansão do quartzo, entretando na transformação de beta para tridimita.

Figura 3: Relação entre a temperatura, cor e desempenho do concreto quando exposto a diferentes temperaturas

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) apud Neville (1923)

2.1.6.1 DEFORMAÇÕES EM LAJES

A definição de lajes são: elementos estruturais de pequena espessura e baixos cobrimentos. Sendo assim, a exposição destas estruturas ao fogo aumenta o risco de deslocamentos da porção de concreto fazendo com que a armadura positiva se apresente exposta diretamente ao fogo. Este fato pode provocar deformações significativas ao aço com consequente perda da aderência do concreto, além de provocar a diminuição da resistência do mesmo (GOMIDE, 2009).

2.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

O estudo foi realizado em parceria com o estabelecimento comercial de autopeças, denominado CALPEN AUTOPEÇAS, localizado na Avenida Tancredo Neves, número 8, em Manhuaçu, na Zona da Mata de Minas Gerais, que permitiu a coleta de dados no referido local. O estabelecimento, de três andares, pegou fogo na manhã de terça feira, dia 07 de julho de 2020. Os efeitos produzidos pelo fogo podem ser avaliados através das consequências que o mesmo produz no concreto armado. Sendo assim, no dia 03 de setembro de 2020, foi realizada uma visita ao local para realização da avaliação visual e coleta de imagens.

Dessa forma, a metodologia de pesquisa do presente estudo foi baseada na inspeção visual do local após situação de incêndio. A partir disso, foi realizada uma descrição detalhada sobre a situação em que se encontrava o edifício e suas estruturas, bem como uma avaliação dos efeitos do fogo sob o concreto armado do edifício, comparando a situação em questão com dados disponíveis na literatura através de uma

revisão bibliográfica. Portanto, o presente trabalho será um estudo descritivo, analítico, retrospectivo realizado por meio de levantamento e coleta de dados.

No presente estudo, foi realizado também um ensaio com três corpos de provas que objetivou demonstrar os efeitos ocasionados pelo fogo no concreto simples após 15 golpes metodicamente realizados na parte superior dos corpos de provas. Foram produzidos 3 corpos de provas, ambos com as mesmas dimensões: 7,5 cm (centímetros) de diâmetro e 22 cm de altura. O traço definido do concreto foi de 1;2;3. Os materiais utilizados para iniciar a simulação de situação de incêndio foram carvão, madeira, plástico e produtos inflamáveis (álcool e óleo diesel). A padronização do tempo de exposição dos corpos de provas foi de 1 h (hora) sob 2 corpos de provas e 1 corpo de prova foi usado como caso controle, ou seja, o mesmo não foi exposto ao fogo.

2.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma das patologias encontradas no estabelecimento comercial de autopeças (CALPEN) após a ocorrência do incêndio foi a presença de fissurações em vigas e pilares, como é demonstrado nas Figuras 4 e 5. As fissurações são ocasionadas pela dilatação e contração que ocorrem quando há altas variações de temperatura. Dessa forma, ocorre alterações dimensionais, devido às restrições impostas pelos materiais, que promovem o aparecimento de fissurações (THOMAZ, 1989).

Figuras 4 e 5: Presença de fissuras em vigas



Fonte: Autoria Própria (2020)

Além disso, pôde-se observar também a presença de lascamento superficial ou “*sloughing*” em pilares e vigas, como é demonstrado nas Figuras 7 e 8. Este fenômeno está relacionado ao destacamento de placas de concreto na parte superficial com grande perda de material. As possíveis causas dos lascamentos estão associadas à altas densidades das peças de concreto, à taxa de aquecimento, à taxa de distribuição não uniforme de temperatura nas peças, à pressão de vapor, entre outras causas (COSTA, FIGUEIREDO & SILVA, 2002).

Figuras 6 e 7: Presença de lascamento superficial em pilares e vigas



Fonte: Autoria Própria (2020)

No presente estudo, observou-se também a presença de lascamento explosivo ou “*explosive spalling*”, como é demonstrado nas Figuras 8 e 9. Tal tipo de lascamento é caracterizado por ocorrer em pequenos focos e de forma abrupta e agressiva. As possíveis causas do lascamento explosivo são semelhantes às do lascamento superficial. Entretanto, normalmente os lascamentos explosivos estão relacionados à ação da pressão nos poros e das tensões térmicas internas, sendo que a pressão de vapor se constitui o principal fator na maioria dos casos (PURKISS, 1996; ANDERBERG, 1997).

Figuras 8 e 9: Presença de lascamento explosivo em vigas



Fonte: Autoria Própria (2020)

Além disso, no estabelecimento comercial após situação de incêndio, observou-se também a presença de esfarelamento superficial, como é demonstrado nas Figuras 10 e

11. De acordo com o estudo de Morales, Campos e Faganello (2011), esse fenômeno ocorre devido à exposição constante das camadas carbonatas do concreto ao fogo que reduz a resistência do concreto à abrasão.

Figuras 10 e 11: Presença de esfarelamento superficial em pilares e vigas



Fonte: Autoria Própria (2020)

Em relação à mudança de coloração, o referido estabelecimento apresentou o concreto em diferentes colorações, desde o cinza ao amarelo alaranjado, como é demonstrado na Figura 12. De acordo com Rosso (1975), a coloração cinza se relaciona à exposição do concreto à temperaturas menores que 250°C. Já a coloração amarelo alaranjado é característica da exposição do concreto à temperaturas iguais ou superiores 900°C.

Figura 12: Alteração de coloração do concreto



Fonte: Autoria Própria (2020)

Além disso, observou-se ainda a presença de deformações em lajes, especificamente flechas, como é demonstrado na Figura 13. De acordo com o estudo de Gomide (2011), esta patologia se relaciona com a exposição das lajes ao fogo, que ocasiona o deslocamento da porção de concreto. Isto faz com que a armadura positiva fique exposta diretamente ao fogo, provocando deformações e perda da aderência e resistência do concreto.

Figura 13: Presença de deformação em laje (flechas)



Fonte: Autoria Própria (2020)

Além disso, observou-se também a presença de corrosão do aço, como é demonstrado na Figura 14. De acordo com Helene *et al.*, (2003), a corrosão do aço está relacionada a natureza eletroquímica. Em situações de incêndio, o concreto fica exposto a altas concentrações de monóxido de carbono. O hidróxido de cálcio (composto da pasta de cimento) quando associado ao monóxido de carbono dá origem ao carbonato de cálcio. Este elemento atinge o interior do concreto e consequentemente o aço. Dessa forma ocorre o aparecimento do processo de corrosão (TOKUDOME, 2009).

Figura 14: Presença de corrosão do aço do concreto armado



Fonte: Autoria Própria (2020)

O ensaio realizado teve como finalidade demonstrar como o concreto simples se comporta sob a ação do fogo, além de demonstrar a perda de resistência do mesmo. Foram feitos três corpos de provas, como é demonstrado na Figura 15, todos com as seguintes dimensões: 7,5 cm (centímetros) de diâmetro, 22 cm de altura. O traço do

concreto foi de 1;2;3. Os materiais utilizados para iniciar o incêndio foram carvão, madeira, plástico e produtos inflamáveis (álcool e óleo diesel). O fogo agiu durante uma hora sob dois corpos de provas. Sendo assim, de acordo com a curva padrão de incêndio ISO 834, pressupõe-se que a temperatura atingida pelos blocos foram de aproximadamente 800°C. Em seguida, um destes corpos de provas foi resfriado com água (bloco 1) e o outro (bloco 2) resfriado em temperatura ambiente.

Figura 15: Elaboração dos blocos de ensaio 1, 2 e 3 de concreto simples



Fonte: Autoria Própria (2020)

O bloco 1, foi exposto ao fogo e após uma hora nesta circunstância o mesmo foi resfriado com água (Figura 16). Devido ao processo de resfriamento com água, o bloco 1 praticamente permaneceu com seu peso inicial de 18,85 Kg (Kilogramas), apresentando uma diferença de apenas 18 g (gramas) como é demonstrado na Figura 17 (A) e 17 (B).

Figura 16: Resfriamento do bloco 1 após o mesmo permanecer sob o fogo uma hora



Fonte: Autoria Própria (2020)

Figura 17: (A) Peso inicial do bloco 1; **(B)** Peso do bloco 1 após exposição ao fogo e resfriamento com água



Fonte: Autoria Própria (2020)

O bloco 2 apresentou uma perda de peso mais expressiva, de 130 g após o fogo e o resfriamento, como é demonstrado na Figura 18 (A) e 18 (B). Este acontecimento pode estar associado, em grande parte, ao tipo de resfriamento, uma vez que o bloco 2 foi resfriado à temperatura ambiente, diferentemente do bloco 1 que foi resfriado com água.

Figura 18: (A) Peso inicial do bloco 2 antes da ação do fogo; **(B)** Peso do bloco 2 após exposição ao fogo e resfriamento à temperatura ambiente



Fonte: Autoria Própria (2020)

O bloco 3 não foi exposto ao fogo, sendo portanto o caso controle. Dessa forma, o mesmo permaneceu com sua resistência máxima. Além disso, o bloco 3 não perdeu peso, permanecendo com o seu peso inicial de 18.34 Kg, como é demonstrado na Figura 19.

Figura 19: Peso inicial e final do bloco 3 que não foi submetido à ação do fogo



Fonte: Autoria Própria (2020)

Para testar as resistências dos blocos, foi realizado um ensaio metódico que se baseou em efetuar 15 golpes com aproximadamente a mesma força, sem mensuração específica da força utilizada por aparelhagem própria. Os golpes foram efetuados na parte superior do concreto de forma contínua afim de demonstrar os efeitos sofridos pelos blocos nas diferentes situações em que os mesmos se encontravam. O bloco 1, após 15 golpes, apresentou uma redução expressiva do seu tamanho, ficando este com um tamanho final de aproximadamente 1/3 comparado ao seu tamanho inicial, como é demonstrado na Figura 20. Além disso, desde o primeiro golpe o bloco 1 já demonstrou fraturas. Sendo assim, pode-se presumir que o bloco 1 apresentou sua resistência expressivamente reduzida.

Figura 20: Golpe realizado no bloco 1 demonstrando a redução de seu tamanho e resistência



Fonte: Autoria Própria (2020)

O bloco 2, após ter sofrido 15 golpes também apresentou redução de tamanho, entretanto esta redução não foi tão expressiva quando comparada a redução do bloco 1, como é demonstrado na Figura 21. O tamanho o bloco 2 reduziu à metade aproximadamente. Tal fato demonstra que apesar de o bloco 2 ter reduzido sua resistência, esta redução foi menor do que a redução sofrida pelo bloco 1. Este resultado pode estar associado ao tipo de resfriamento sofrido pelos blocos.

Figura 21: Golpe realizado no bloco 2 demonstrando a redução de seu tamanho e resistência



Fonte: Autoria Própria (2020)

Como o bloco 3 não foi exposto ao fogo (caso controle), o mesmo não sofreu alterações significativas após os 15 golpes, como é demonstrado na Figura 22, uma vez que o bloco 3 permaneceu com sua resistência máxima devido a não exposição ao fogo.

Figura 22: Bloco 3 (caso controle) com poucas alterações observadas devido a manutenção de sua resistência máxima



Fonte: Autoria Própria (2020)

O resultado encontrado com o ensaio foi que o bloco 1, que passou pelo processo de resfriamento pela água, foi o que mais sofreu danos devido a redução drástica de sua resistência. O bloco 2, que foi resfriado à temperatura ambiente, também reduziu sua resistência, porém não demonstrou tantos comprometimentos quando comparado ao bloco 1. Já o bloco 3 (caso controle), que não foi exposto ao fogo e nem resfriado, manteve sua resistência máxima, obtendo, dessa forma, alterações não tão significativas quando comparado aos blocos 1 e 2, como é demonstrado na Figura 23.

Figura 23: Da direita para a esquerda, blocos 1, 2 e 3 respectivamente após expostos às situações anteriormente comentadas



Fonte: Autoria Própria (2020)

3 CONCLUSÃO

Com o presente estudo pôde-se concluir que as principais patologias encontradas no estabelecimento de autopeças localizado em Manhuaçu (Minas Gerais) após situação de incêndio foram: fissuras em pilares e vigas, lascamento superficial, lascamento explosivo, esfarelamento superficial, alteração de coloração, deformação em laje e corrosão em aço. Estas patologias são extremamente significativas para a integridade da estrutura do edifício, sendo assim, optou-se pela demolição do mesmo, uma vez que o custo da operação de reestabelecimento do local seria elevado, tornando a demolição financeiramente mais interessante.

Além disso, com o ensaio realizado, pôde-se observar a redução significativa da resistência e tamanho sofridos pelo bloco 1 que foi resfriado imediatamente com água. Entretanto, devido a reposição de água pelo resfriamento, o mesmo permaneceu com praticamente o mesmo peso inicial.

As limitações do presente estudo se relacionam com a não mensuração específica da força utilizada nos golpes por aparelhagem específica (prensa hidráulica) e da não mensuração da temperatura específica que os blocos atingiram, apesar de esta ter sido comparada com a temperatura da curva de incêndio padrão ISO 834.

Diante dos resultados encontrados, o trabalho poderá auxiliar estabelecimentos a

identificarem as principais patologias encontradas em situações de incêndio e com isso averiguar se o projeto de reestruturação dos edifícios serão compensatórias.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. C. **Verificação da segurança estrutural de pilares de concreto armado em situação de incêndio**. 2018. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

ANDERBERG, Yngve. **Spalling Phenomena of HPC and OC**. In: PHAN, Long T.; CARINO, Nicholas J.; DUTHINH, Dat; GARBOCZI, Edward. International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete — NIST — Gaithersburg, MD, February 13-14, 1997. Proceedings. NIST. Gaithersburg (E.U.A.), February, 1997. [NIST Special Publication 919.]

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio - Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, **NBR 6118**. Rio de Janeiro, ABNT, 2012, 221p.

BASTOS, P.S.S. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. UNESP - Campus de Bauru/SP FACULDADE DE ENGENHARIA, [S. l.], p. 1-92, 17 ago. 2006.

BAUER, Falcão. **Materiais de Construção**. 5 ed revisada, v.1. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

Britez, C. A., Costa, C. N. (2011), Ações do Fogo nas Estruturas de Concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2V. Cap. 29

CÁNOVAZ, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CORRÊA, Cristiano; RÊGO SILVA, José J.; PIRES, Tiago A.; BRAGA, George C. Mapeamento de Incêndios em Edificações: Um estudo de caso na cidade do Recife. **Revista de Engenharia Civil IMED**, vol. 2, nº. 3, 2015, p. 15-34.

COSTA, C.N.; FIGUEIREDO, A.D.; SILVA, V.P. **O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio** – uma revisão crítica. Instituto Brasileiro do Concreto - 44º Congresso Brasileiro, São Paulo, p. 1-15, ago. 2002.

FERREIRA, Sérgio Gonçalves. “Ação do incêndio nas estruturas de aço — consequências e recuperação”. In: Simpósio Nacional de Arquitetura e Proteção Contra Incêndios. Anais. **EPUSP**. São Paulo, 1998.

GOMIDE, Kleber. **ANÁLISE COMPARATIVA DE LAJES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**. **Revista Engenho**, Jundiaí; São Paulo, v. 1, 2009.

HELENE, Paulo; PEREIRA, Fernanda; HUSNI, Raul; CASTRO, Pedro; AGUADO, Antonio. **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y**

Protección. São Paulo: Paulo Helene & Fernanda Pereira, 2003. v. 1. 750 p. ISBN: 8590370712.

ILIESCU, Marcelo. **Diagnóstico das patologias nas edificações.** 2007. 74f. Notas de aula. Disponível em:
<<http://www.iliescu.com.br/palestras/diagnosticodaspatologiasnasedificacoes.pdf>> Acesso em 21 de Novembro de 2020.

ISO. **INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.** Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1.1 : General requirements for fire resistance testing, Geneva, Suíça [Revision of first edition (ISO 834:1975)], 1990.

JACOBS, J. -P. (2007), **“Comprehensive fire protection and safety with concrete”.** **Brussels: European Concrete Platform.** 30p. Disponível em:
http://www.britishprecast.org/publications/documents/06-Fire_brochure-3004071.pdf. Acesso em: 21 Nov. 2020

KLEIN JÚNIOR, Odinir. **Pilares de concreto armado em situação de incêndio submetidos à flexão normal composta.** 2011. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, São Paulo, 2011.

LIMA, R.C.A. KIRCHHOF, C.A. CASONATO, L.C.P. SILVA FILHO. (2004), **Efeito de altas temperaturas no concreto.** Disponível em:
<http://www.deecc.ufc.br/Download/TB819_Patologia_e_Recuperacao_de_Estruturas_de_Concreto/Efeito_do_fogo_no_concreto.pdf>. Acesso em: 03 out. 2020.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedade e materiais. 1.ed. São Paulo: **Pini**, 1994. 573 p.

MELHADO, Silvio Burratino. Ação do Fogo sobre Estruturas de Aço. In: Simpósio Nacional de Arquitetura e Proteção Contra Incêndios. Anais. **EPUSP.** São Paulo, 1988.

METHA, P. Kumar, MONTEIRO, Paulo J. M. **“Concreto — estrutura, propriedades e materiais”.** Ed. PINI. São Paulo, 1994.

MONTINI, G. M. B. B.; GOMAZAKO, M. S. Risco De Incêndio, Causas, Prevenções e Cuidados. **Anais do CONCISTEC'14**, p. 7, 2014.

MORALES, G.; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A.M.P. A ação do fogo sobre os componentes do concreto: A ação do fogo sobre os componentes do concreto. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 32, ed. 1, p. 47-55, jan. 2011.

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

NEVILLE, Adam Matthews. **“Propriedades do concreto”.** 2ª Ed. PINI. São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, I. A. (2013), **Estrutura de Concreto Armado em Situação de Incêndio. Uma Análise Térmica de uma viga sob Flexão Simples.** Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 80 p.

PINHEIRO, L.M.; SANTOS, A.P.; MUZARDO, C.D.; SANTOS, S.P. ESTRUTURAS DE CONCRETO. In: **AÇOS para armaduras.** [S. l.: s. n.], 2010. cap. CAPÍTULO 3.

PURKISS, Jonh A. **Fire Safety Engineering Design of Structures**. Butterworth Heinemann. Oxford, 1996.

R. G. S. Pereira, T. A. Carvalho Pires, D. Duarte, J. J. Rêgo Silva (2019), "Avaliação da resistência mecânica de vigas em concreto armado após o incêndio", **Revista ALCONPAT**, 9 (1), pp. 93 – 105, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i1.299>.

RACHANIOTIS, Nikos P.; PAPPIS, Costas P. Scheduling fire-fighting tasks using the concept of “deteriorating jobs”. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 36, p. 652-658, 2006.

ROSSO, T. Incêndios e arquitetura. Apostila. São Paulo: **FAUUSP**, 1975.

SIMIANO, L. F.; BAUMEL, L. F. S. **Manual de prevenção e combate a princípios de incêndio: Módulo VI**. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil – Brigadas Escolares, Defesa Civil na Escola. Paraná, 2013. Disponível em: <<http://www.defesacivil.pr.gov.br/>> Acesso em 03 Out. 2020.

SMITH, C. I., KIRBY B. R., LAPWOOD, D. G., COLE, K. J., CUNNINGHAM, A. P., PRESTON, R. R. (1981), “The Reinstatement of Fire Damaged Steel Framed Structures” *Fire Safety Journal*, 4 p. 21-62. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(81\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0379-7112(81)90004-7)

SOUZA, A. A. A. - **Influência do Tipo de Agregado nas propriedades mecânicas do concreto submetido ao fogo**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp, 2005.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. 1.ed. São Paulo: **Pini/EPUSP/IPT**, 1989. 194 p.

TOKUDOME, Naguisa. **Carbonatação do concreto**. Portal Itambé, 2009. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>> Acesso em 21 de Novembro de 2020.

USBR - **UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION**. Firefighting and Fire Prevention. Facilities Instructions, Standards, and Techniques (Versão da Internet). v. 5, n. 2, 2000. Disponível em: <https://www.usbr.gov/power/data/fist/fist5_2/vol5-2.pdf> Acesso em 03 Out. 2020.

ZABEU, L.J.L. **Comportamento de estruturas de concreto de edifícios industriais compartimentados submetidos à situação de incêndio**. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - UNICAMP, [S. I.], 2011.