

## **ANÁLISE DA PERDA DE RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS: SITUAÇÃO DE INCÊNDIO**

VINICIUS GONSALES DIAS<sup>1</sup>  
RONALDO MELIM MAÇANEIRO<sup>2</sup>  
BRUNO RODRIGUES DOS SANTOS<sup>3</sup>

**RESUMO:** O concreto sendo um material heterogêneo apresenta um comportamento distinto em diferentes concepções, e sob efeito de ações excepcionais, como o fogo. Sua resistência pode variar de acordo com a taxa de aquecimento, temperatura atingida e o tempo de exposição ao fogo. Esse estudo visa medir a perda da resistência e a segurança de uma edificação depois que ocorre um incêndio. Para tal foram moldados 30 corpos-de-prova cilíndricos com um traço de 1:2:1,5:1,5, cimento, areia, brita 1, brita 2, respectivamente. Com o objetivo de analisar os efeitos do fogo, foram realizados dois ensaios de incêndio, um com carvão vegetal e outro com lenha, a fim de se obter taxas e temperaturas diferentes durante o período de até uma hora. A evaporação da água, o efeito explosivo do concreto e a mudança de coloração ficaram evidentes nesse trabalho. O ensaio no qual se perdeu mais resistência e no qual foi possível se notar de forma mais contundente as características do concreto apresentado foi com lenha, ensaio em que foi possível ter a ação das chamas, como acontece em um incêndio real. A perda da resistência em 15 minutos foi maior do que durante uma hora em carvão vegetal, e sua resistência se tornou desprezível em uma hora sob ação do calor e do fogo em lenha.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ações excepcionais ; Segurança nas edificações; Tecnologia do concreto.

### **ANALYSIS OF THE LOSS OF MECHANICAL RESISTANCE TO THE COMPRESSION OF THE CONCRETE SUBJECTED TO HIGH TEMPERATURES: FIRE SITUATION**

**ABSTRACT:** Concrete being a heterogeneous material presents a dynamic behavior in different conceptions, and under the effect of exceptional actions, such as fire. It's resistance may vary depending on the rate of heating, reached temperature and the time

---

<sup>1</sup> Professor , Especialista em Engenharia de Segurança contra Incêndio e Pânico, FACULDADE FASIFE R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: [viniciusgonсалesdias@hotmail.com](mailto:viniciusgonсалesdias@hotmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, UNEMAT, Av. dois Ingás , 3001 , Sinop- MT, CEP 78555-000, [melimrm@hotmail.com](mailto:melimrm@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professor, Curso de Engenharia Civil, FACULDADE FASIFE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: [engenharia@fasipe.com.br](mailto:engenharia@fasipe.com.br)

of exposure to fire. This study aims to measure the loss of resistance and safety of a building after a fire. For the present research, 30 cylindrical specimens with a trace of 1: 2: 1,5: 1,5, cement, sand, gravel 1, and gravel 2 were molded. In order to analyze the effects of fire, two fire simulation tests were carried out, one with charcoal and the other with firewood, in order to obtain different rates and temperatures during the period up to one hour. The evaporation of the water, the explosive effect of the concrete and the color change were evident in this work. The test in which more resistance was lost and it was possible to notice more concretely the characteristics of the presented concrete was the one with wood, in which it was possible to have the action of the flames, as it happens in a real fire. The loss of resistance in 15 minutes under wood fire was greater than the one in an hour in charcoal, and its resistance became negligible in an hour under the action of heat and wood fire.

**KEYWORDS:** Concrete technology; Exceptional actions; Safety in buildings.

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto, sendo um dos materiais mais utilizados no mundo, é um elemento composto por fases, uma macroestrutura e uma microestrutura heterogênea e extremamente complexa, fazendo assim com quem o seu comportamento perante ao fogo seja imprevisível (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

Tendo como uma de suas características vantajosas em relação ao fogo, a não emissão de gases tóxicos, contribuem para a preservação da vida quando ocorre um incêndio na edificação uma vez que a principal causa de mortes é a inalação de gases. Assim como é notório seu desempenho da resistência à compressão em relação ao fogo, conseguindo assim manter a integridade da edificação tempo suficiente para o resgate de vítimas. A baixa condutividade térmica, a resistência a chamas também são características satisfatórias do concreto (NEVILLE, 1997).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), fatores como a decomposição da pasta de cimento e o agregado devido à exposição a altas temperaturas, assim como a taxa de aumento de temperatura, a permeabilidade do concreto também influenciam pois determinam o aumento de gases internos no elemento, decorrentes da decomposição, elevando assim a sua pressão interna.

Como no presente trabalho será analisado somente a resistência mecânica, a palavra resistência sempre estará associada à resistência residual à compressão do concreto.

A composição do concreto é importante uma vez que o concreto é exposto a altas temperaturas, já que a pasta do cimento e o agregado se decompõe, em diferentes proporções, mesmo que não seja tão relevante como as características físicas do agregado (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

Para a realização do estudo foram realizadas duas simulações de incêndio para se observar o comportamento do concreto em altas temperaturas e analisar sua perda de resistência durante um período de exposição.

Grandes incêndios acontecem todos os anos nos centros urbanos e também em zonas rurais. A ocorrência do fogo em uma edificação gera prejuízos humanos e materiais. Afim de anular os prejuízos humanos, a engenharia deve prever como se comportam os elementos estruturais do concreto submetido à altas temperaturas com o

desenvolvimento de tecnologias e conhecimento científico.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Segundo Araújo (2014), o concreto é o resultado final da mistura de cimento, agregados naturais ou artificiais com água. Aditivos químicos são utilizados em casos especiais, como aceleração ou retardo de pega, além da adição de minerais, como escórias de alto-forno e fillers calcários.

### 2.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

A resistência à compressão do concreto é a capacidade de suporte de carga contínua até que ocorra as primeiras fissuras (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

De acordo com Araújo (2014), diversos fatores influenciam na resistência, como o tipo de agregado, aditivos, a qualidade da água e o tipo de cimento. O concreto apresentará resistência maior se a relação água-cimento for baixa e o consumo de cimento alto.

Conforme NBR 5738/2008, os corpos-de-prova devem atender a relação de 1,94-2,02, altura/diâmetro, e após o período de cura se obtém a resistência pelo ensaio de compressão uniaxial.

Segundo Araújo (2014), os valores encontrados ficam em torno de 75% a 90% da resistência final aos 28 dias, valor este conhecido como ( $f_{ck}$ ), que é a garantia de que no mínimo 95% das análises das amostras resultaram em um valor maior que o estipulado em projeto.



Figura 1. Fissura no ensaio de compressão do concreto. Fonte (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

#### 2.2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS

Segundo Cánovaz (1988) o concreto até 300 °C tem pouca perda de resistência. Com 400 °C sua resistência já se reduz em 25% e chegando a 600 °C sua resistência já cai pela metade e em 800 °C a resistência final representa apenas 25% da sua resistência inicial e chegando a 1000 °C a resistência passa a ser desprezível.

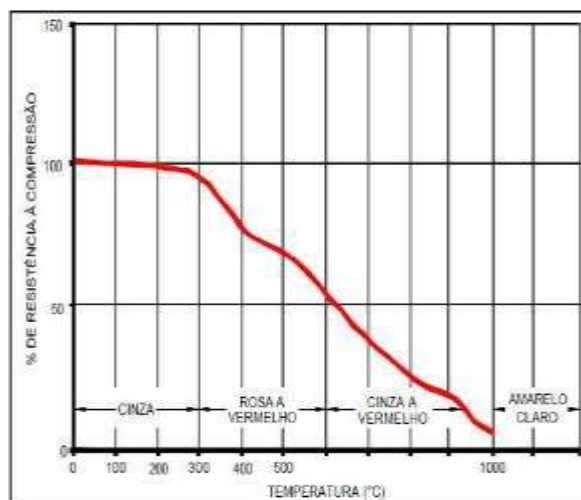


Figura 2. Resistência e coloração do concreto em altas temperaturas. Fonte (Cánovaz, 1988)

## 2.3 INCÊNDIO

O incêndio pode ser descrito como um fogo inesperado, que foge do nosso controle, e que destrói o que não estava designado a ser queimado, podendo resultar em perdas humanas, materiais e estruturais.

Para Costa e Silva (2002), a ação térmica no incêndio resulta no aumento da temperatura do elemento. Essa ação ocorre pelos fluxos de calor convectivo e radioativo emitido pelos gases quentes, além do calor condutivo que ocorre no interior da massa do concreto e apresenta três estágios. No primeiro estágio ocorre a inflamação, ou ignição, com o aumento gradual de temperatura. No segundo estágio há uma mudança drástica no crescimento da temperatura, em que todo material inflamável entra em combustão e a temperatura dos gases ultrapassa os 300 °C. Por fim no terceiro estágio há a redução da temperatura, após o término de todo fogo.

## 2.4 TRANSFÊRENCIA DE CALOR

A transferência de calor ocorre quando há corpos com diferentes temperaturas próximos, o sentido da transferência ocorre pelo de maior temperatura para o de menor. Há três tipos de transferência de calor: condução, convecção e irradiação.

### 2.4.1 CONDUÇÃO

O processo de condução pode ser descrito como a transferência de calor de uma partícula, para sua partícula vizinha. Esse processo depende diretamente das características do material, mais especificamente a capacidade térmica, que é a

capacidade que um material tem de absorver calor, ocorre principalmente em meios sólidos (DEWITT, INCROPERA, 1999).

#### **2.4.2 CONVECÇÃO**

A convecção ocorre na transmissão de calor entre líquidos, sólidos, fluidos e gases. Esse fenômeno é mais comumente observado nos gases, um exemplo é o vento, consiste na transferência de energia pela movimentação aleatória das partículas que vão de uma temperatura maior para menor (DEWITT, INCROPERA, 1999).

#### **2.4.3 RADIAÇÃO**

Diferente da condução e convecção, a radiação não necessita de um meio material para ser transportada, sendo seu transporte mais eficiente no vácuo. É uma energia emitida, por ondas eletromagnéticas, onde a matéria se encontra em uma alta temperatura, finita. A radiação solar é um exemplo desse fenômeno (DEWITT, INCROPERA, 1999).

### **2.5 ANÁLISE DA MACROESTRUTURA DO CONCRETO SUBMETIDO À ALTAS TEMPERATURAS**

Com o aquecimento do concreto sua tonalidade começa a mudar, assim como o aparecimento das primeiras fissuras, estas responsáveis pela liberação da água do interior da massa do concreto, quando isso não ocorre, há o lascamento explosivo, conhecido como “*explosive spalling*” ou efeito *spalling*, além da calcinação superficial do concreto que ocorre devido à carbonatação (CÁNOVAZ, 1988, FERREIRA, 1998).

Segundo Neville (1997), o concreto até 250 °C apresenta pouca perda de resistência, e sua cor continua cinza. Em 285 °C sua cor começa a apresentar tons de rosa e o efeito *spalling*, assim como o início das fissuras já é observado. Aumentando a temperatura e chegando a 600° C sua cor passa a ser roxa, e fissuras profundas são notadas, sua resistência já é reduzida à metade. Ao chegar à 650 °C o concreto volta a ser cinza com uma tonalidade clara até os 900 °C e sua resistência já é muito baixa. A partir dos 950 °C o concreto começa a sintetizar-se e sua cor já é amarelo alaranjado mudando para amarelo claro enquanto sua resistência é nula.

### **2.6 ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DO CONCRETO SUBMETIDO À ALTAS TEMPERATURAS**

A ocorrência da elevação da temperatura gera reações químicas no concreto, que podem ser observadas como a calcinação da superfície do elemento, a ocorrência do efeito “*spalling*”, lascamento do concreto, e a delaminação.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o aumento da temperatura na pasta de cimento está ligado diretamente ao grau de hidratação e do estado de umidade. Uma pasta bem hidratada é composta principalmente por silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) e sulfoaluminatos de cálcio hidratado. O aumento da temperatura da pasta só irá ocorrer quando toda água contida na pasta tenha sido evaporada, caso a permeabilidade da pasta for baixa irá ocorrer o aumento da pressão

interna e conseqüentemente a “explosão”, ocorrendo assim a verificação do efeito *spalling*.

## 2.7 EFEITO DE ALTAS TEMPERATURAS NO AGREGADO

O comportamento do agregado no concreto exerce uma influência significativa do concreto exposto ao fogo, a porosidade e a mineralogia são fatores determinantes nesse comportamento. Agregados porosos podem apresentar expansão destrutiva, dependendo da taxa de aquecimento, sua permeabilidade e umidade. Já os agregados de porosidade baixa estão livres do movimento da umidade interna (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Neville (1997) descreve a perda da resistência à compressão do concreto variável de acordo com o agregado utilizado, em razão da condutividade térmica. A condutividade térmica é a capacidade em que o material apresenta em conduzir o calor.

Junto com a condutividade a difusividade, a velocidade do aumento da temperatura no interior da massa, também é influenciada pelo tipo de agregado. O quartzo possui condutividade elevada, calcários média condutividade, e o basalto baixa.

De acordo com Costa e Silva (2002), agregados silicosos, como os granitos, arenitos, gnaisses e xistos, sofrem o efeito “*spalling*”, devido à expansão térmica, próximos a 573 °C. Nos agregados calcários, a liberação do dióxido de carbono, causa o efeito “*sloughing*”, que é caracterizado pela fragmentação e expansão do agregado, próximo dos 650 °C por uma reação endotérmica

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na Universidade do Estado de Mato Grosso em Sinop-MT. Separado em três etapas, a primeira etapa constituiu a moldagem e cura dos corpos-de-prova segundo NBR 5738/2008, a segunda, etapa experimental, realizou-se uma simulação de incêndio e por fim a análise visual e da resistência dos corpos-de-prova.

Para a realização do experimento foi utilizado um concreto com traço de 25 Mpa por ser o traço mais utilizado em construções de pequeno e médio porte, sendo assim utilizado um cimento portland CP-II-32, tendo em sua composição de 6 a 14% de pozolana, brita número 1 e 2 em proporções iguais, areia média e água potável, nas proporções descrita na tabela 1.

Materiais utilizados	Quantidade
Relação água/cimento	0,485
Cimento CP-II-Z (kg)	14,16
Areia média lavada (kg)	44,82
Brita 01 – Basáltica (kg)	30,09
Brita 02 – Granítica (kg)	31,86
Água (kg)	6,86

Fonte: Acervo Particular, 2016.

Tabela 1. Relação dos materiais utilizados nas amostras

Foram moldados um total de 30 corpos-de-prova, 15 em cada mistura, com dimensões 100x200 mm (diâmetro x altura), deixando curar em água potável durante 28 dias. Logo após, foram retirados e e separados em 5 amostras, por mistura, sendo uma amostra de cada submetido ao ensaio de compressão uniaxial após 24 horas e o restante submetido ao ensaio experimental de incêndio.



Figura 3. Cura do concreto em água potável. Fonte: Acervo Particular, 2016.



Figura 4. Corpos-de-prova após 28 dias prontos para o ensaio experimental de incêndio.  
Fonte: Acervo Particular, 2016

O ensaio de incêndio foi dividido em dois, afim de se obter taxas de aquecimento e temperaturas diferentes. No primeiro ensaio foi utilizado carvão vegetal e no segundo lenha. Os dois grupos de amostras remanescentes, de cada mistura, foram colocadas sobre ação do calor e do fogo, um grupo em carvão vegetal e o outro em lenha, conforme figuras 4 e 5.



Figura 5. Forno com carvão vegetal pronto para o ensaio. Fonte: Acervo Particular, 2016.



Figura 6. Corpos-de-prova envoltos por lenha pronto para o ensaio de incêndio. Fonte: Acervo Particular, 2016.

A cada 15 minutos foi retirada uma amostra, com 3 corpos-de-prova, de cada situação, captando a temperatura em que se encontrava o fogo e a temperatura do corpo-de-prova, até que se completou uma hora, finalizando assim o ensaio. Para se obter a medição das temperaturas foi utilizada a câmera térmica Flir T420.



Figura 7. Câmera térmica Flir T420. Fonte: [www.flir.com](http://www.flir.com)

As figura 8 e 9 ilustra o momento da calibragem da câmera térmica, antes do início do ensaio experimental de incêndio, através do espectro de cores, cores essas escolhidas por serem a forma mais tradicional de demarcação de temperatura na engenharia, onde conseguimos indentificar o vermelho sendo a maior temperatura e o azul a menor, assim como a marcação correta da temperatura em fração de grau.

A temperatura máxima no momento do registro da imagem térmica está descrito no canto superior esquerdo da figura, podendo assim apresentar uma maior ou



menor temperatura no índice a direita, uma vez que a câmera registra a imagem, mas continua registrando a temperatura do ambiente.

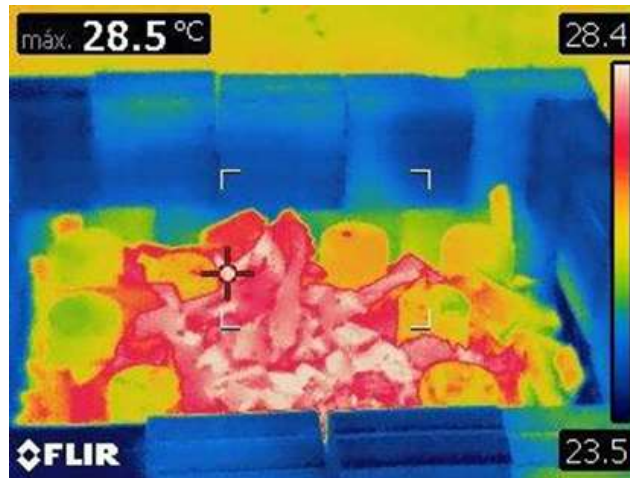


Figura 8. Calibragem câmera térmica para realização do ensaio. Fonte: Acervo Particular, 2016.

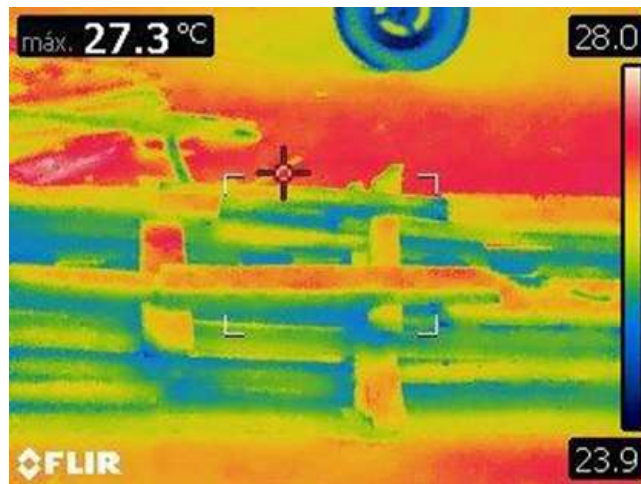


Figura 9. Calibragem câmera térmica para realização do ensaio. Fonte: Acervo Particular, 2016

As figura 10 e 11 mostra a temperatura dos dois experimentos de incêndio, nos qual ja se apresentam em uma tempertura elevada acima dos 800°C. Podemos observar os corpos-de-prova também em temperatura relativamente baixa, menor do que 200°C, como observado na legenda

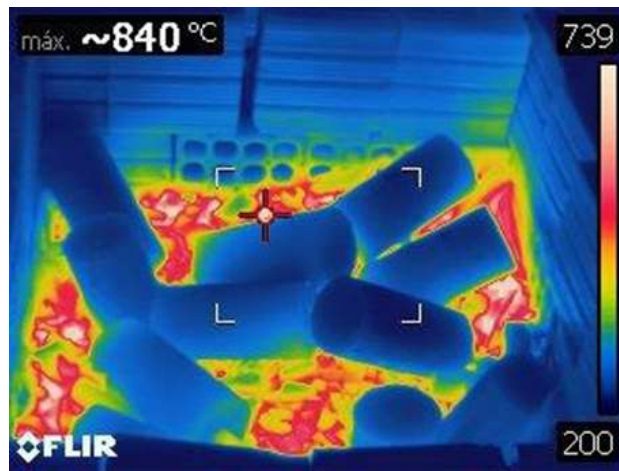


Figura 10. Medição de temperatura após o início do ensaio com carvão vegetal. Fonte: Acervo Particular, 2016.

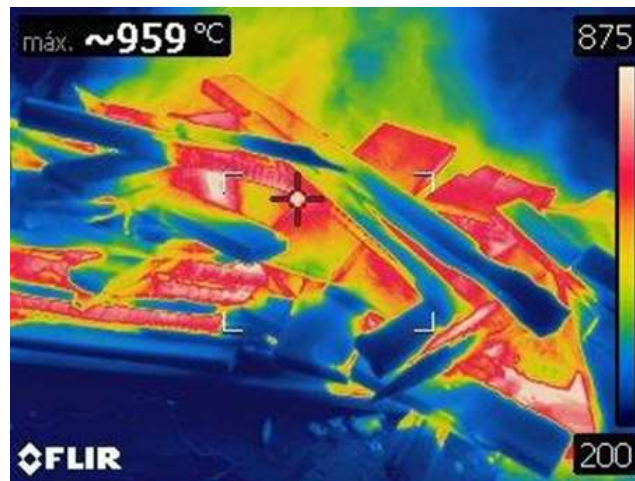


Figura 11. Medição de temperatura após o início do ensaio com lenha. Fonte: Acervo Particular, 2016.

A resistência do concreto foi obtida a partir do ensaio de compressão uniaxial utilizando uma prensa hidráulica manual, seguindo as recomendações da NBR 5739/2007.

A análise dos resultados das resistências aos 28 dias serão comparados com as resistências das amostras que foram submetidas ao ensaio experimental de incêndio, visando medir a perda de resistência à compressão do concreto em elevadas temperaturas.



Figura 12. Rompimento do Corpo-de-prova. Fonte: Acervo Particular, 2016.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resistência média de cada grupo de amostras que não foram submetidas ao ensaio de incêndio obtiveram média de 24,5 MPa e 25,5 MPa, expostos ao fogo e calor, carvão vegetal e da lenha, respectivamente.

No primeiro ensaio com carvão vegetal, como a taxa de aquecimento foi baixa, a resistência do concreto se manteve de forma considerável até os 45 minutos.

A tabela 2 mostra os resultados das médias de resistência durante o ensaio experimental de incêndio, em carvão vegetal bem como a temperatura do fogo e a temperatura em que o corpo-de-prova atingiu.

Tempo (min)	Temp. CP (°C)	Temp. Fogo (°C)	Amostra	Resist. (MPa)	Média das Resist. (MPa)
15	157	816	CP 1	22,9	23,0
			CP 2	22,9	
			CP 3	23,3	
30	263	854	CP 1	22,0	21,8
			CP 2	21,7	
			CP 3	21,5	
45	270	896	CP 1	19,7	20,5
			CP 2	21,4	
			CP 3	20,5	
60	490	956	CP 1	20,0	18,9
			CP 2	18,2	
			CP 3	18,7	

Fonte: Acervo Particular, 2016

Tabela 2. Resistência média à compressão em diferentes temperaturas

Em 15 minutos de exposição ao fogo a resistência média dos corpos-de-prova era de 23,0 MPa, enquanto sua temperatura chegava à 157°.

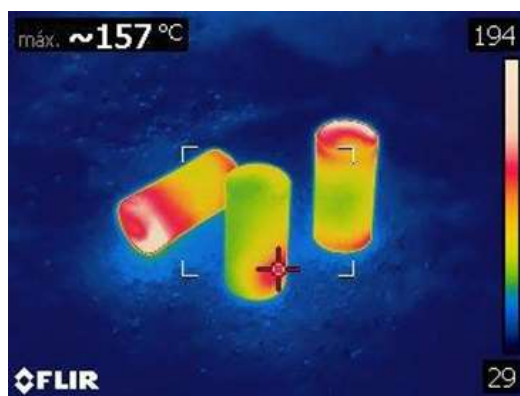


Figura 13. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 15 minutos de aquecimento em carvão vegetal. Fonte: Acervo Particular.

Com 30 minutos de exposição ao fogo a resistência caía para 21,8 MPa e a temperatura já chegava à 263 °C.



Figura 14. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 30 minutos de aquecimento em carvão vegetal. Fonte: Acervo Particular

Registrando 20,5 MPa em 45 minutos com uma temperatura de 270 °C, que para uma região de uma classe de agressividade I, é o suficiente para satisfazer a NBR 6118/2014.

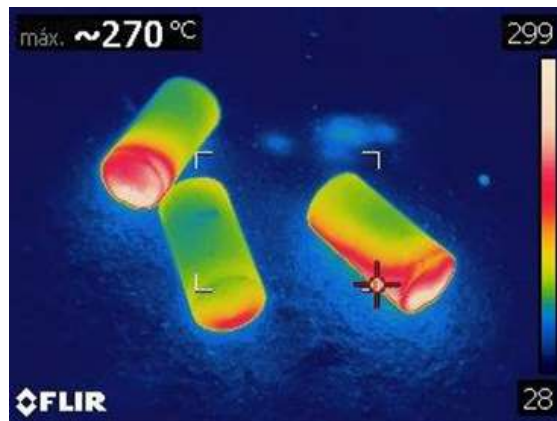


Figura 15. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 45 minutos de aquecimento em carvão vegetal. Fonte: Acervo Particular.

Nenhum efeito foi notado até os 45 minutos, quando começou a ocorrer a abertura de fissuras e iniciando assim o efeito *spalling* e o barulho do lascamento explosivo do concreto era notado, para tal era necessário e perceptível a evaporação da água pelas fissuras da pasta de cimento responsável pelo efeito



Figura 16. Evaporação da água pelas fissuras no concreto. Fonte: Acervo Particular, 2016.

Aos 60 minutos, e com uma temperatura de 490 °C, os corpos-de-prova apresentaram média de 18,9 MPa e as fissuras eram consideráveis, porém sua perda da resistência alcançou apenas 22,44%, valor esse devido à baixa taxa de aquecimento com carvão vegetal.

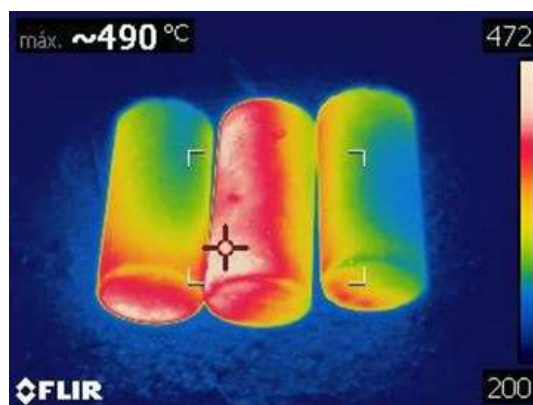


Figura 17. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 60 minutos de aquecimento em carvão vegetal.  
Fonte: Acervo Particular.

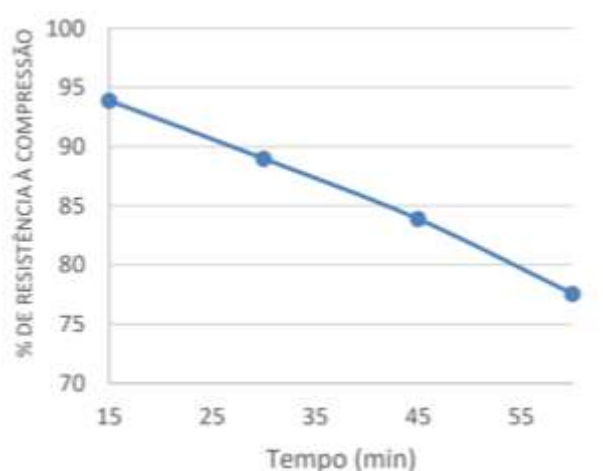


Figura 18. Porcentagem de resistência à compressão do concreto em função do tempo e temperatura, em carvão vegetal. Fonte: Acervo Particular, 2016

A figura 18 demonstra a porcentagem de resistência à compressão sob altas temperaturas e ao longo do tempo, enquanto a figura 19 demonstra o resultado da resistência à compressão do concreto em diferentes temperaturas ao longo do tempo, sob o calor e fogo do carvão vegetal.

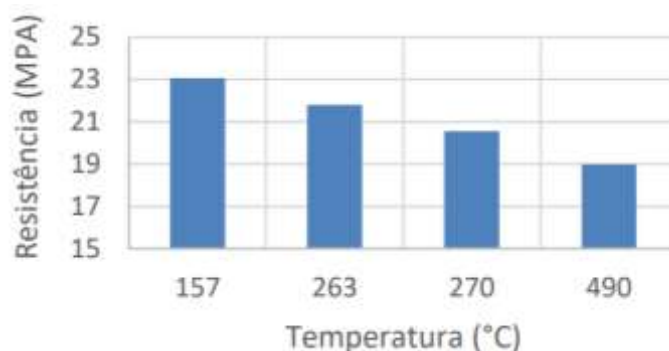


Figura 19. Resistência à compressão pelo aumento de temperatura, em carvão vegetal. Fonte: Acervo Particular, 2016.

Por outro lado, o fogo com lenha, devido às chamas, teve uma taxa de aquecimento alta, a resistência do concreto caiu consideravelmente já nos primeiros 15 minutos, o efeito *spalling* já era notado com 5 minutos de fogo.

Em 15 minutos e registrando 502 °C, com uma resistência média do concreto de 19,2 MPa, já havia reduzido 25,5% da sua resistência total, valor esse mais alto do que o obtido em 60 minutos com carvão vegetal.

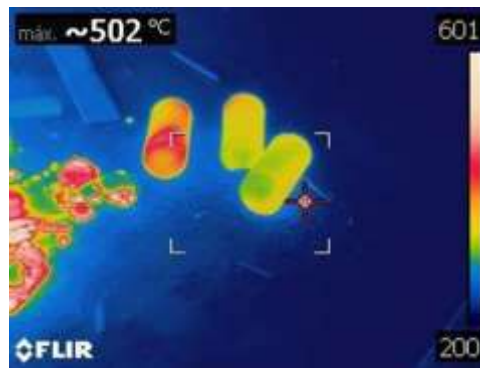


Figura 20. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 15 minutos de aquecimento em lenha. Fonte: Acervo Particular.

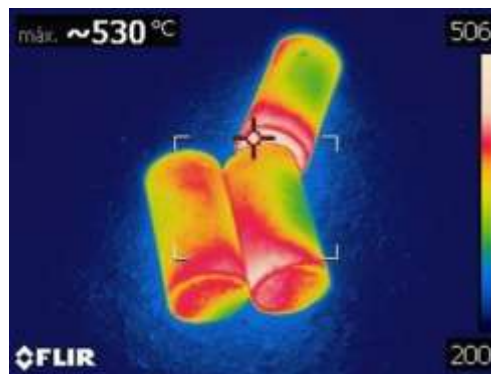


Figura 21. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 30 minutos de aquecimento em lenha. Fonte: Acervo Particular.

Em 30 minutos as fissuras já estavam se tornando trincas, e sua resistência já era baixa registrando uma média de 15,8 MPa, enquanto a temperatura do corpo-de-prova estava em 530 °C. Em 45 minutos sua resistência era de 8,4 MPa e já havia sido reduzido em 67%, sob uma temperatura de 537 °C.



Figura 22. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 45 minutos de aquecimento em lenha. Fonte: Acervo Particular

Em uma hora a resistência do concreto se tornou desprezível, atingindo 3,4 MPa com uma temperatura de 677 °C. Foi perceptível também a mudança de coloração para um cinza claro, assim como descrito por Cánovaz (1988).



Figura 23. Temperatura do corpo-de-prova em °C durante 60 minutos de aquecimento em lenha. Fonte: Acervo Particular

A figura 24 demonstra o resultado da resistência à compressão do concreto em diferentes temperaturas ao longo do tempo, sob fogo da lenha, enquanto a figura 25 demonstra a resistência em porcentagem sob altas temperaturas e ao longo do tempo.

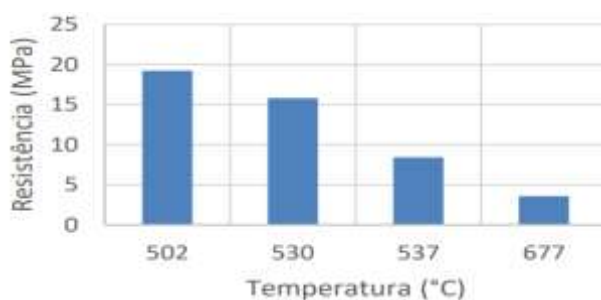


Figura 24. Perda da resistência à compressão pelo aumento de temperatura. Fonte: Acervo Particular, 2016.

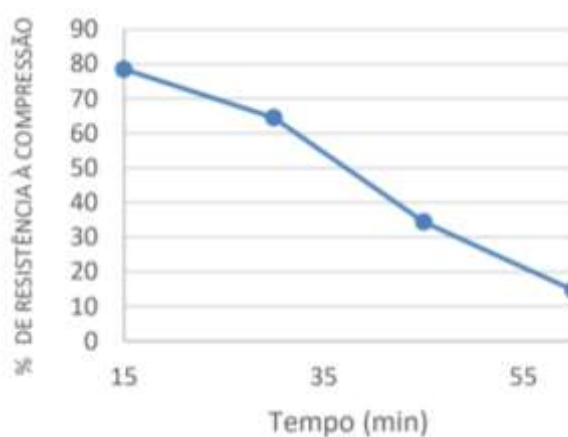


Figura 25. Porcentagem de resistência à compressão do concreto em função do tempo, sob ação do calor e do fogo em lenha. Fonte: Acervo Particular, 2016.

A tabela 3 mostra os resultados das médias de resistência durante o ensaio experimental de incêndio, em lenha, bem como a temperatura do fogo e a temperatura em que o corpo-de-prova atingiu.

Tempo (min)	Temp. CP (°C)	Temp. Fogo (°C)	Amostra	Resist. (MPa)	Média das Resist. (MPa)



15	502	959	CP 1	19,5	19,2
			CP 2	19,1	
			CP 3	18,9	
30	530	948	CP 1	16,3	15,8
			CP 2	15,9	
			CP 3	15,1	
45	537	972	CP 1	8,7	8,4
			CP 2	7,5	
			CP 3	9,0	
60	677	950	CP 1	3,7	3,5
			CP 2	3,2	
			CP 3	3,8	

Fonte: Acervo Particular, 2016

Tabela 3. Resistência média à compressão em diferentes temperaturas

As figuras 27 e 28 mostram a temperatura de todos corpos-de-prova após sua retirada do ensaio experimental de incêndio.



Figura 26. Fissura no concreto após exposição ao fogo de 60 minutos com lenha. Fonte: Acervo Particular, 2016

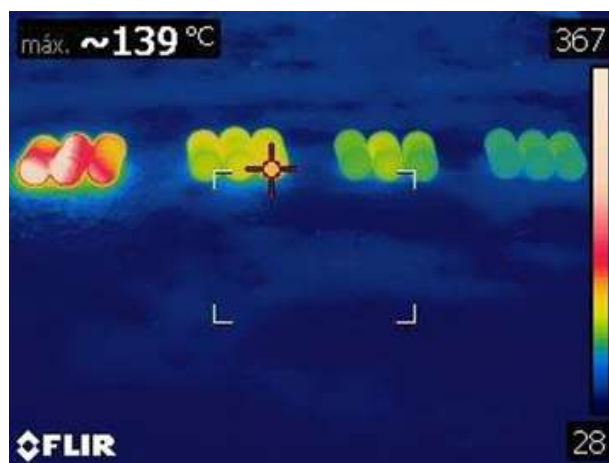


Figura 27. Diferenças de temperatura após o esanio com carvão vegetal. Fonte: Acervo Particular, 2016

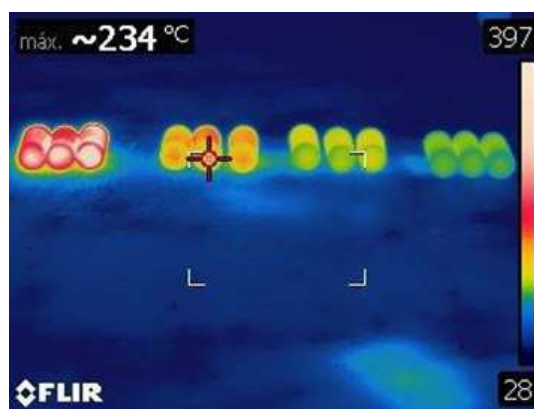


Figura 28. Diferenças de temperatura após o esanio com lenha. Fonte: Acervo Particular, 2016.

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos, podemos observar que o concreto até 300 °C tem uma perda de resistência relativamente baixa, com cerca de 16%, valor que gira em torno do encontrado na literatura aqui apresentada por Cánovaz (1988). No nosso estudo foi possível observar que até 270 °C se registra uma resistência de 20,5 MPa, resistência essa que satisfaz a NBR 6118/2014, em uma classe de agressividade I. A partir dos 300 °C a perda da resistência se eleva, e conforme passa o tempo se acentua ainda mais essa perda, com 677 °C se torna desprezível a resistência do concreto para uma edificação, restando apenas 14,65% de sua resistência inicial, para Cánovaz (1988) a mesma temperatura se obtém uma resistência final de cerca de 35%, essa diferença pode ser explicada pelo maior tempo de exposição ao fogo nesse estudo e também pela maior variação da pressão internada devido à cura durante 28 dias.

Também se mostrou evidente a maior perda de resistência no ensaio com lenha, no qual há o contato direto com chamas, o que ocorre em uma situação real de incêndio. Em 30 minutos sob ação do calor e de chamas a resistência do concreto caiu drasticamente, em torno de 35%, entretanto para cada caso é necessário um estudo de aprofundado em torno de cada elemento estrutural em que se houve o contato com o calor e as chamas, devendo assim ser analisado separadamente cada caso.

O efeito da temperatura até os 300 °C se há ainda uma resistência considerável, entretanto, a partir dessa temperatura há a necessidade de uma análise

global da estrutura, devido ao fato da resistência ter sido afetada consideravelmente e ao comportamento imprevisível do concreto.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

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

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

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

FERREIRA, S. G. *Ação do incêndio nas estruturas de aço — conseqüências e recuperação*. In: **Simpósio Nacional de Arquitetura e Proteção Contra Incêndios**. Anais... São Paulo: EPUSP, 1998.

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

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

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

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1997.