

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

## **EFEITO DO FOGO SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO<sup>1</sup>**

### **FIRE EFFECT ON ARMED CONCRETE STRUCTURES**

**Ana Carolina Rambo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Monografia de Conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Civil

<sup>2</sup> Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI- CAMPUS SANTO ANGELO.

#### **RESUMO**

Esta pesquisa apresentou como objetivo estudar os efeitos do fogo e as influências das temperaturas sobre as estruturas e microestruturas do concreto, comparando as suas propriedades antes e após a exposição à elevadas temperaturas. Desta forma, este trabalho visa comparar os efeitos do fogo sobre os corpos de prova de concreto, de 10 x 20 cm moldados no traço 1:5, nas temperaturas de 0, 300 e 600° C, simulando um incêndio. Para a verificação do desempenho das amostras, estas foram analisadas através dos ensaios de Compressão Uniaxial, Tração por Compressão Diametral e Módulo de Elasticidade, sendo as mesmas rompidas para cada temperatura estudada, além de ser feita a Análise da Variância, comparando os resultados obtidos e verificando se as amostras são significativas, isto é, se os efeitos do fogo alteram as propriedades do concreto. Os resultados obtidos para os ensaios a Compressão foram satisfatórios, porém para Tração e Módulo de Elasticidade, não se apresentaram de acordo com o esperado.

**Palavras-chave:** Temperatura. Fogo. Concreto.

#### **ABSTRACT**

This study aimed to study the effects of fire and temperature influences on structures and microstructures of concrete, comparing their properties before and after exposure to high temperatures. In this way, this work aims at comparing the effects of fire on concrete specimens, 10 x 20 cm molded in the 1: 5 trace, at temperatures of 0, 300 and 600 ° C, simulating a fire. In order to verify the performance of the samples, they were analyzed by the Uniaxial Compression, Diametral Compression and Elasticity Modulus tests, being the same ruptured for each temperature studied, in addition to the Variance Analysis, comparing the obtained results and checking if the samples are significant, ie if the effects of fire alter the properties of the concrete. The results obtained for the Compression tests were satisfactory, but for Traction and Modulus of Elasticity, they did not present as expected.

**Keywords:** Temperature. Fire. Concrete.

## **1 INTRODUÇÃO**

Para iniciar um incêndio é necessário um material combustível (cortinas, mobiliários e artigos de decoração que utilizam na sua composição madeira, plástico, algodão e outros materiais de fácil combustão), juntamente com o oxigênio presente nas aberturas, para propagar as chamas. Estes são os elementos básicos para começar o sinistro, entretanto, muitas situações poderiam evitá-lo como, por exemplo, cuidados com instalações elétricas, sobretudo se estas forem mais antigas ou estiverem sobrecarregadas com vários aparelhos, caracterizando este por ser o responsável pela maioria dos incêndios.

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Quando um incêndio ocorre este provoca danos humanos e materiais. Nos danos materiais temos as estruturas de concreto armado, onde ocorre perda de resistência mecânica do material, mudança da cor, expansão térmica dos seus materiais constituintes, evaporação da umidade, entre outros.

## 1.1 Efeito do Fogo sobre Estruturas de Concreto Armado

Vários são os fatores que influem para a deterioração do concreto quando submetido às altas temperaturas. Tanto sua composição, incluindo-se pasta e agregados, quanto o tempo e temperatura de exposição influenciam o grau de deterioração (WENDT, 2006).

A elevação gradual de temperatura provoca efeitos distintos no concreto e nas argamassas, verificando-se alteração na coloração, perda de resistência mecânica, esfarelamento superficial, fissuração até a própria desintegração da estrutura (CAMPOS; FAGANELLO; MORALES, 2011).

Dentre as causas que podem levar uma estrutura sujeita a altas temperaturas ao colapso, estão à temperatura máxima atingida, o tempo de exposição, o traço de concreto, o tipo de estrutura, o elemento estrutural e a velocidade de resfriamento (CAMPOS; FAGANELLO; MORALES, 2011).

O colapso das edificações em concreto de resistência convencional, durante incêndios, raramente se deve à perda de resistência sofrida por um elemento estrutural, estando normalmente associado à incapacidade das demais partes da estrutura de absorver as deformações térmicas horizontais impostas pelo aquecimento, que podem causar ruptura por cisalhamento ou por deformação das colunas e das paredes. Já em elementos estruturais confeccionados com concretos de alta resistência, esta tendência pode ser alterada, pois as estruturas podem sofrer consideráveis perdas de seção devido ao deslocamento (LIMA, 2005).

A taxa de aquecimento influencia diretamente o desenvolvimento de tensões térmicas, o aumento da poro-pressão e a possibilidade de ocorrência de deslocamentos explosivos. A temperatura máxima influencia o nível de deterioração das propriedades mecânicas do concreto e da armadura. Uma vez que, geralmente, as taxas de aquecimento são elevadas, o concreto desenvolve gradientes de temperatura na seção transversal, onde apenas as regiões superficiais, que ficam em contato direto com o fogo ou com a fonte de calor, estarão submetidas à temperatura máxima. No entanto, a temperatura da seção transversal, além de depender da temperatura máxima, é influenciada pela duração do incêndio, das condições de aquecimento, da geometria da peça exposta e do tipo de concreto (KHOURY, 2003 apud LIMA, 2005).

Quanto à perda de resistência, segundo Georgali e Tsakiridis (2004 apud WENDT, 2006), usualmente entre 200°C e 250°C é percebida a primeira queda na resistência à compressão. A 300°C a redução na resistência à compressão varia na ordem de 15% a 40%, e a 550°C a redução na resistência à compressão tipicamente varia entre 55% e 70% de seu valor original.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Materiais Utilizados

#### 2.1.1 Cimento

O cimento que foi utilizado na pesquisa é o Cimento Portland CP-V, ARI, apresentando suas características físicas e químicas nas tabelas 1 e 2.

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Tabela 1 - Características químicas do cimento CP-V, ARI

| QUÍMICOS     |                                    |                        |                                    |              |             |                       |                |             |                |                 |
|--------------|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|--------------|-------------|-----------------------|----------------|-------------|----------------|-----------------|
| Data         | <u>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u> | <u>SiO<sub>2</sub></u> | <u>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u> | <u>CaO</u>   | <u>MgO</u>  | <u>SO<sub>3</sub></u> | <u>P. Fogo</u> | <u>CaOL</u> | <u>R. Ins.</u> | <u>Eq. Alc.</u> |
|              | %                                  | %                      | %                                  | %            | %           | %                     | %              | %           | %              | %               |
| <b>Média</b> | <b>4,26</b>                        | <b>18,71</b>           | <b>2,95</b>                        | <b>60,61</b> | <b>3,52</b> | <b>3,12</b>           | <b>3,34</b>    | <b>0,54</b> | <b>0,78</b>    | <b>0,69</b>     |

Fonte <<http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=370>>

Tabela 2- Características físicas do cimento CP-V, ARI

| FÍSICOS |              |                        |              |              |                    |              |             |                                |             |             |             |
|---------|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|-------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Data    | Exp. Quente  | Tempo de Pega (h: min) |              | Cons. Normal | Blaine             | # 200        | # 325       | Resistência à Compressão (MPa) |             |             |             |
|         | Mm           | Início                 | Fim          | %            | cm <sup>2</sup> /g | %            | %           | 1 dia                          | 3 dias      | 7 dias      | 28 dias     |
|         | <b>Média</b> | <b>0,39</b>            | <b>03:21</b> | <b>04:03</b> | <b>30,0</b>        | <b>4,451</b> | <b>0,10</b> | <b>0,62</b>                    | <b>24,0</b> | <b>39,0</b> | <b>46,1</b> |

Fonte <<http://www.cimentoitambe.com.br/relatorios-de-ensaio/?pro=370>>

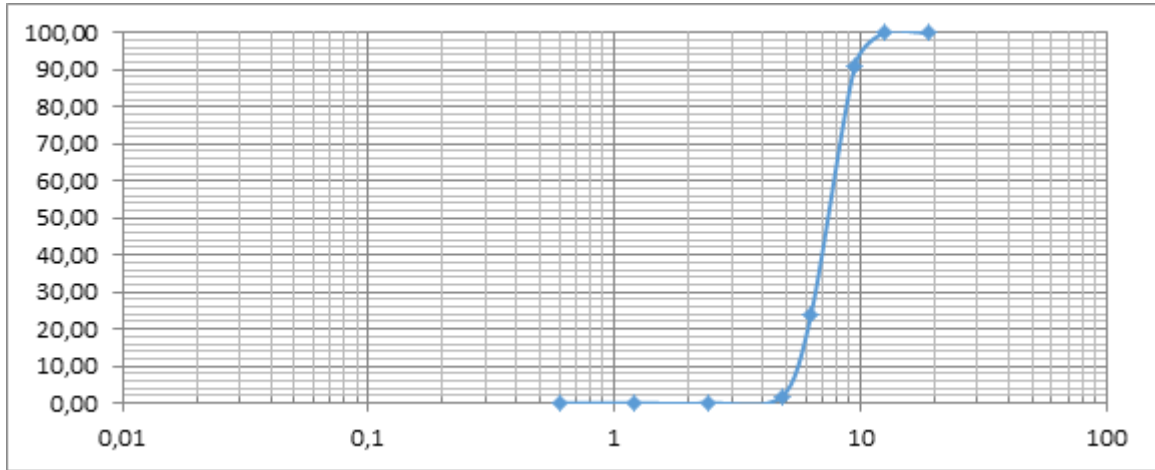
### 2.1.2 Agregados graúdos

Os agregados graúdos utilizados na pesquisa foram a brita 0 e a brita 1, em 50% de cada, de rocha basáltica, proveniente de Pedreira Santo Ângelo, apresentando as características granulométricas de acordo com as figuras 1 e 2.



**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Figura 1 - Curva granulométrica da brita 0



Fonte: LETCC- URI

Figura 02 - Curva granulométrica da brita 1



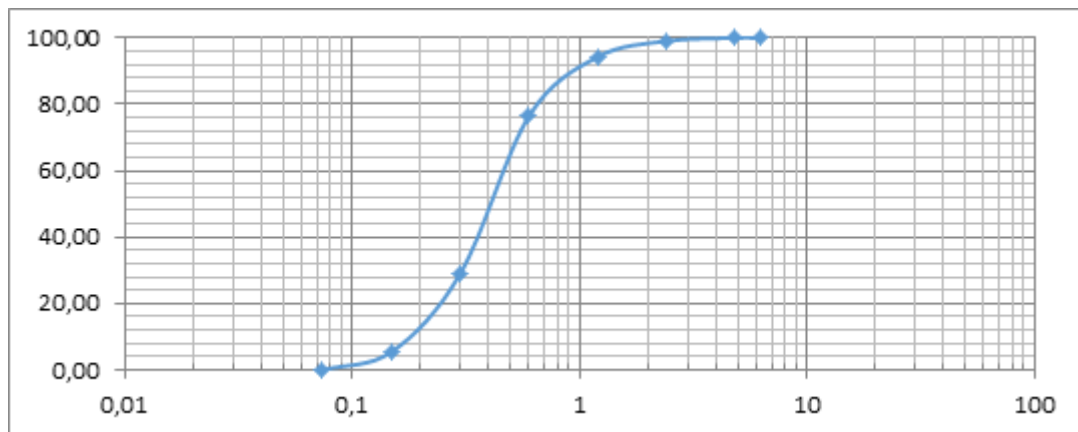
Fonte: LETCC- URI

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

### 2.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo que foi utilizado na presente pesquisa é a areia de rio, proveniente de Santa Maria, utilizada amplamente na região, apresentando a curva granulométrica de acordo com a figura 3.

Figura 3 - Curva granulométrica da areia



Fonte: LETCC- URI

### 2.1.4 Água

A água utilizada na pesquisa é potável que abastece a Universidade Regional Integrada no Alto Uruguai e das Missões, Campus de Santo Ângelo.

## 2.2 Dosagem

Foram executadas 3 moldagens de 9 corpos de prova, totalizando 27, no traço 1:5 com as seguintes composições:

- 6 kg de cimento CPV – ARI;
- 12,4 Kg de agregado miúdo;
- 17,6 kg de agregado graúdo, sendo 8,8 kg de brita 0 e 8,8 kg de brita 1;
- Relação água/cimento de 0,5, correspondente à 3 kg de água.

Para a dosagem acima foi utilizado o traço 0,12: 0,248: 0,176: 0,176 e um fator a/c = 0,5.

Como o concreto apresentou-se com pouca coesão, foram adicionados 0,3 ml de água, para obter uma mistura homogênea e trabalhável.

Em uma das moldagens realizadas foi adicionado um percentual maior de água, o que tornou o concreto muito fluído, sendo necessário adicionar 20% de todos os materiais, com exceção da água, para corrigir este problema.



**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

As composições das correções foram as seguintes:

- 1,2 kg de cimento CPV – ARI;
- 2,4 Kg de agregado miúdo;
- 1,76 kg de brita 0;
- 1,76 kg de brita 1.

Esta alteração de material acabou por influenciar nas resistências do concreto, como será abordado no presente trabalho.

### 2.3 Moldagens dos Corpos de Prova

Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm de acordo com a ABNT 5738: 2015. A figura 4 ilustra os corpos de prova utilizados nos ensaios.

Figura 4 - Moldagem dos Corpos de Prova



Fonte: Autora

Os corpos de prova foram desmoldados 24 horas após a sua moldagem, e colocados na câmara úmida, com 95% de umidade e temperatura de  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ . até atingir a idade de 27 dias, para posteriormente serem realizados os ensaios referentes às influências das temperaturas nos ensaios de resistência a compressão, tração e módulo de elasticidade.

### 2.4 ENSAIOS

Para verificar a influência da ação do fogo sobre o concreto, os corpos de prova cilíndricos de 10 x

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

20 cm foram aquecidos em mufla nas temperaturas de 300 e 600 graus Celsius, além dos corpos de prova testemunhos.

Os ensaios de compressão, tração e módulo de elasticidade foram realizados para determinar as resistências do concreto quando expostos às altas temperaturas.

#### 2.4.1 Influência da temperatura no concreto

O objetivo desta análise foi simular as condições de um incêndio, comparando-se também com corpos de prova testemunhos, sem acréscimo qualquer de temperatura.

Estes foram retirados da câmara úmida no 27º dia e colocados na estufa à 40º C, durante o período de 24 horas, para a sua completa secagem antes de serem levados à mufla, tornando-os uniformes e evitando assim o aparecimento de fissuras ou trincamentos.

Na mufla foi conectado um termômetro com a finalidade de acompanhar à temperatura do lado externo, alterando caso fosse necessário.

#### 2.4.2 Compressão Uniaxial

Os corpos de prova foram ensaiados à compressão uniaxial de acordo com a ABNT NBR 5739:2007.

Primeiramente os corpos de prova foram posicionados e alinhados entre as faces dos pratos na prensa, sendo a carga aplicada até o momento da ruptura dos mesmos.

#### 2.4.3 Tração por Compressão Diametral

Este ensaio foi realizado nos corpos de prova, seguindo a NBR 7222: 2011. Para este ensaio foi utilizada a mesma prensa, ocorrendo contato tangencial ao seu diâmetro.

Para acompanhar o momento do rompimento dos corpos de prova, foi possível visualizar o procedimento pelo software que é conectado ao aparelho, o qual registra o momento das rupturas, gerando um gráfico de rompimento.

#### 2.4.4 Módulo de Elasticidade

O ensaio de Módulo de Elasticidade em que foram ensaiados os corpos de prova, de acordo com a ABNT NBR 8522: 2008.

O ensaio consiste em colocar o corpo de prova na prensa, alinhado entre os pratos, equivalente ao ensaio de compressão, sendo conectado um extensômetro para medir a deformação do material.

A deformação foi acompanhada pelo software, que gera gráficos até a completa ruptura do material.

### 2.5 Análise de Dados - ANOVA

Além da média dos resultados obtidos, foram utilizados dados para a Análise da Variância -

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

ANOVA, a fim de verificar a existência de Diferenças Significativas nas variáveis estudadas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Influência da temperatura no concreto

Os corpos de prova que foram submetidos às temperaturas de 300° C e 600° C, após resfriados à temperatura ambiente e posteriormente comparada as suas propriedades físicas com os corpos de prova testemunhos.

Analisando as diferenças de comportamento dos concretos entre 0° C e 300° C, foram observadas algumas fissuras superficiais e lascamentos explosivos, chamados de *spalling* superficial, nos concretos de 300° C, além da mudança na coloração para um cinza- róseo.

Analisando os corpos de prova que foram submetidos à 600° C, foi possível observar que ocorreu um número maior de fissuras, quando comparado aos corpos de prova a 300° C e indícios de *spalling* explosivo, além da mudança de tonalidade para um vermelho pálido.

Comparando os corpos de prova de 300°C e 600° C, foi possível perceber que quando exposto às temperaturas mais elevadas, o concreto vai perdendo suas propriedades mecânicas além da nítida mudança na sua coloração.

#### 3.2 Resistência à Compressão Uniaxial

Os corpos de prova testemunhos apresentaram os resultados nos ensaios à compressão como mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Média da resistência à compressão a 0, 300 e 600°C

| Temperatura | Resistência à compressão (MPa) |
|-------------|--------------------------------|
| 0° C        | 41,38                          |
| 300° C      | 30,32                          |
| 600° C      | 10,51                          |

Fonte: Autora

Calculando o desvio padrão das amostras foram encontrados os valores de 6,24; 6,88 e 4,02, às temperaturas de 0, 300 e 600 ° C, respectivamente.

Os valores dos coeficientes de variação para às temperaturas indicadas ficaram entre 15% e 38%. Para a melhoria das situações foram alterados os valores de resistência à compressão superior e inferior em 15% em relação à média para às temperaturas de 0, 300 e 600 graus Celsius, calculando-



**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

se novamente à média para cada temperatura, conforme pode-se ver na tabela 4.

Tabela 4 - Média da resistência à compressão a 0, 300 e 600°C

| Temperatura | Resistência à compressão (MPa) |
|-------------|--------------------------------|
| 0° C        | 44,84                          |
| 300° C      | 34,15                          |
| 600° C      | 12,73                          |

Fonte: Autora

Realizando novamente o cálculo do desvio padrão, obtiveram-se os valores de 2,45; 2,65 e 1,67 às temperaturas de 0, 300 e 600° C.

Para esta nova análise o coeficiente de variação apresentou os valores inferiores a 13%, os quais são considerados como amostras representativas e boas.

### 3.2.1 Cálculo da Análise da Variância - ANOVA

Para os ensaios à compressão foram feitas análises entre às temperaturas de 0 e 300° C, 0 e 600° C e de 300 e 600 °C, com o objetivo de comparar a influência das temperaturas nos concretos.

As tabelas 5, 6 e 7 representam se existem diferenças significativas quando analisadas às temperaturas de 0 e 300, 0 e 600, 300 e 600 graus Celsius.

Tabela 5 - Significância das amostras a 0 e 300 °C

|                  | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>0 e 300°C</b> | 114,3830  | 114,3830  | 17,4773                      | 18,5128                    | NS                   |

Fonte: Autora

Analisando os resultados de resistência à compressão aos 28 dias de idade entre às temperaturas de 0 e 300 °C foi possível verificar que não há diferenças significativas entre os dois concretos, na resistência à compressão quando comparadas estas temperaturas, pois  $F < F_{\text{crítico}}$ .

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Tabela 6 - Significância das amostras a 0 e 600°C

|                  | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>0 e 600°C</b> | 1031,0521 | 1031,0521 | 233,5629                     | 18,5128                    | S                    |

Fonte: Autora

Como  $F > F_{crítico}$  pode-se observar que existiu influência das temperaturas na redução da resistência à compressão, quando comparados os valores obtidos entre 0 e 600 ° C.

Tabela 7 - Significância das amostras a 300 e 600°C

|                    | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|--------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>300 e 600°C</b> | 458,6022  | 458,6022  | 92,8603                      | 18,5128                    | S                    |

Fonte: Autora

Como  $F > F_{crítico}$  há diferenças significativas entre os dois concretos, comparando às temperaturas entre 300 e 600°C. Conclui-se que existe maior influência na resistência à compressão, quando são considerados valores mais elevados de temperatura.

### 3.3 Tração por compressão diametral

Os corpos de prova testemunhos apresentaram os resultados nos ensaios à tração por compressão diametral de acordo com a tabela 8.

Tabela 8 - Média da Resistência à Tração a 0,300 e 600°C

| <b>Temperatura</b> | <b>Resistência à tração (MPa)</b> |
|--------------------|-----------------------------------|
| 0° C               | 3,55                              |
| 300° C             | 1,83                              |
| 600° C             | 0,31                              |

Fonte: Autora

Calculando o desvio padrão das amostras foram obtidos os valores de 1,54; 0,88 e 0,066 para às temperaturas de 0, 300 e 600 ° C.

Os coeficientes de variação calculados para as temperaturas indicadas foram superiores a 21%. Pensando em corrigir este problema, foram considerados somente os valores de resistência à tração superior e inferior em 15% em relação à média das resistências obtidas às temperaturas de 0, 300 e

Evento: XXV Jornada de Pesquisa  
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

600 graus Celsius.

A partir dos intervalos calculados foram retirados os menores valores das amostras para resistência à tração aos 28 dias, calculando-se novamente às médias para cada temperatura, como apresenta a tabela 9.

Tabela 9 - Média da Resistência à Tração a 0, 300 e 600°C

| Temperatura | Resistência à tração (MPa) |
|-------------|----------------------------|
| 0° C        | 4,44                       |
| 300° C      | 2,21                       |
| 600° C      | 0,27                       |

Fonte: Autora

Realizando novamente o cálculo do desvio padrão, foram obtidos os valores de 0,11; 0,82 e 0,028 às temperaturas de 0, 300 e 600 °C.

Para esta nova análise o coeficiente de variação apresentou os seguintes valores:

- 2,5 % à temperatura de 0°C;
- 37,11% à temperatura de 300°C;
- 10,47% à temperatura de 600°C.

### 3.3.1 Cálculo da Análise da Variância - ANOVA

Para os ensaios à tração foram realizadas análises entre às temperaturas de 0 e 300° C, 0 e 600 °C e de 300 e 600 ° C, com o objetivo de comparar a influência das temperaturas nos concretos.

As tabelas 10, 11 e 12 representam a análise entre as amostras nas temperaturas analisadas.

Tabela 10 - Significância das amostras a 0 e 300°C

|           | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|-----------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 0 e 300°C | 4,9729    | 4,9729    | 14,5067                      | 18,5128                    | NS                   |

Fonte: Autora

Analisando os resultados de resistência à tração aos 28 dias de idade entre às temperaturas de 0 e 300°C, pode-se interpretar que não há influência de temperatura na análise das duas resistências, pois  $F < F_{\text{crítico}}$ .

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Tabela 11 - Significância das amostras a 0 e 600°C

|                  | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>0 e 600°C</b> | 17,3889   | 17,3889   | 2557,1911                    | 18,5128                    | S                    |

Fonte: Autora

Como  $F > F_{crítico}$  logo se percebe que existe influência na resistência à tração ao concreto na idade de 28 dias, quando comparadas às temperaturas entre 0 e 600°C.

Tabela 12 - Significância das amostras a 300 e 600°C

|                    | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|--------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>300 e 600°C</b> | 3,7636    | 3,7636    | 11,1745                      | 18,51                      | NS                   |

Fonte: Autora

Na resistência à tração entre às temperaturas de 300 e 600°C, não houve mudanças significativas para os concretos na idade de 28 dias, pois  $F < F_{crítico}$ .

### 3.4 Módulo de Elasticidade

Os corpos de prova testemunhos apresentaram os resultados referentes aos ensaios de Módulo de Elasticidade conforme pode-se ver na tabela 13.

Tabela 13 - Média dos Ensaios de Módulo de Elasticidade a 0,300 e 600°C

| <b>Temperatura</b> | <b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b> |
|--------------------|-------------------------------------|
| 0° C               | 28,06                               |
| 300° C             | 6                                   |
| 600° C             | 0,7                                 |

Fonte: Autora

Calculando o desvio padrão das amostras foram obtidos os valores de 16,25; 5,44 e 0,3 para às temperaturas de 0, 300 e 600 ° C respectivamente.

Como os valores dos coeficientes de variação ficaram entre 42,85% e 90,73%, foram considerados somente os valores de resistência ao Módulo de Elasticidade superior e inferior em 15% em relação à média para às temperaturas de 0, 300 e 600 graus Celsius.

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

A partir dos intervalos calculados foi retirado o menor valor das amostras para o Módulo de Elasticidade aos 28 dias, calculando-se a média para cada temperatura. A média das temperaturas à 0,300 e 600° C esta representada na tabela 14.

Tabela 14 - Média do Módulo de Elasticidade

| Temperatura | Módulo de Elasticidade (GPa) |
|-------------|------------------------------|
| 0° C        | 36,9                         |
| 300° C      | 8,9                          |
| 600° C      | 0,85                         |

Fonte: Autora

Realizando novamente o cálculo do Desvio Padrão, foram obtidos os valores de 7,77; 2,96 e 0,21, às temperaturas de 0, 300 e 600°C.

Para esta nova análise o coeficiente de variação apresentou os seguintes valores:

- 21,07% para a temperatura de 0°C;
- 33,36% para a temperatura de 300°C;
- 24,95% para a temperatura de 600°C.

Analisando as amostras é possível observar que as mesmas apresentaram Coeficiente de Variação entre 21,07% e 33,36%, mesmo após serem considerados os valores em relação à média superior e inferior a 15%.

### 3.4.1 Cálculo da Análise de Variância - ANOVA

Para os ensaios de Módulo de Elasticidade foram realizadas uma análise entre as temperaturas de 0 e 300° C, 0 e 600° C e de 300 e 600° C, para comparar a influência das temperaturas nos concretos, conforme representam as tabelas 15,16 e 17.

Tabela 15 - Significância das amostras a 0 e 300°C

|                  | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>0 e 300°C</b> | 784       | 784       | 22,6197                      | 18,5128                    | S                    |

Fonte: Autora

Analisando os resultados de Módulo de Elasticidade que foi rompido aos 28 dias de idade entre as temperaturas de 0 e 300 °C, foi possível verificar que há diferenças significativas entre os dois concretos, pois  $F > F_{\text{crítico}}$ .

**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Tabela 16 - Significância das amostras a 0 e 600°C

|                  | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>0 e 600°C</b> | 1299,6025 | 1299,6025 | 42,9301                      | 18,5128                    | S                    |

Fonte: Autora

Como  $F > F_{\text{crítico}}$  podemos verificar que existiu influência das temperaturas para a redução da resistência ao Módulo de Elasticidade, quando comparados valores obtidos entre 0 e 600 °C.

Tabela 17 - Significância das amostras a 300 e 600°C

|                    | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F<sub>calculado</sub></i> | <i>F<sub>crítico</sub></i> | <i>SIGNIFICÂNCIA</i> |
|--------------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
| <b>300 e 600°C</b> | 64,8025   | 64,8025   | 14,6198                      | 18,5128                    | NS                   |

Fonte: Autora

Como  $F < F_{\text{crítico}}$ , pode-se concluir que não há diferenças significativas entre os dois concretos, comparando as temperaturas entre 300 e 600°C para o Módulo de Elasticidade.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto quando exposto ao fogo passa a apresentar mudanças em suas características químicas e físicas, como por exemplo, mudança na sua coloração, fissuras, lascamentos superficiais os quais chamamos de *spalling* superficial como também lascamentos explosivos, chamados de *spalling* explosivo, além de outras alterações nas suas propriedades como foi visto no presente trabalho.

Para analisar os efeitos do fogo sobre o concreto, foram moldados corpos de prova de 10x20 cm, para simular um incêndio, utilizando a mufla nas temperaturas de 0, 300 e 600°C. Quando retirados da mufla os mesmos apresentaram mudanças nas suas propriedades, quando comparados os concretos de 300 e 600°C, com os corpos de prova testemunhos. Percebeu-se que à temperaturas mais elevadas o concreto passa a apresentar maiores alterações na sua estrutura.

Os ensaios realizados nos corpos de prova após os mesmos serem retirados da mufla, tiveram como objetivo verificar a resistência do concreto antes e após a sua exposição ao fogo. Analisando os resultados optou-se por retirar uma amostra de cada temperatura para os ensaios à compressão, tração e módulo de elasticidade, por apresentar valores diferentes das demais amostras.

Com a retirada de uma amostra para cada temperatura, foi feita a análise de desvio padrão e coeficiente de variação para as demais. Pensando em melhorar os resultados, foram considerados os valores de 15% superior e inferior em relação à média nas temperaturas indicadas.

Para os ensaios à compressão os resultados obtidos com essa nova análise foram satisfatórios, apresentando um coeficiente de variação entre 5 a 13%. Quando foi realizada à Análise de Variância,



**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa

**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

foi feita uma comparação entre as temperaturas e foram obtidos os valores esperados, tendo em vista, que quanto mais elevada a temperatura em que o concreto esteve exposto maior foi a perda de resistência.

Para os ensaios à tração, os resultados não foram plenamente satisfatórios, pois, as amostras apresentaram um coeficiente de variação alto quando comparados com os valores obtidos nos ensaios à compressão, apresentando um coeficiente de variação entre 2,5 e 37,11%. Analisando os resultados, conclui-se que para os valores não permanecerem dentro do intervalo esperado, os mesmos devem ter sido dosados incorretamente quando foram realizadas as moldagens.

Para os ensaios de módulo de elasticidade, os resultados não foram satisfatórios, mesmo adotando um percentual de 15% superior e inferior em relação à média. Para este ensaio os valores das amostras ficaram com coeficiente de variação entre 21 e 33%. Esta alteração que ocorreu no presente ensaio deve-se ao fato da dosagem incorreta no concreto durante a sua moldagem, com um maior acréscimo de água, quando comparados às moldagens dos demais corpos de prova.

Portanto, para trabalhos futuros indica-se aumentar a quantidade de corpos de prova a serem moldados, para poder fazer uma análise mais detalhada dos mesmos, melhorando desta forma os resultados. Outra sugestão é estudar a microestrutura do concreto quando exposto ao fogo, através dos ensaios de Difração de Raio X - DRX, e Microscopia Eletrônica de Varredura –MEV/EDS.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222: Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522: Concreto– Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

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

LIMA, R. C. A. **Investigação do Comportamento de Concreto em Temperaturas Elevadas.** Porto Alegre, 2005. 257 f. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WENDT, S. C. **Análise da Mudança de Cor em Concretos Submetidos a Altas Temperaturas como Indicativo de Temperaturas Alcançadas e da Degradação Térmica.** Porto Alegre, 2006. 188f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



**Evento:** XXV Jornada de Pesquisa  
**ODS:** 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

**Parecer CEUA:** 2.260.474