

## **ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS RESIDUAIS EM CONCRETO CONVENCIONAL E CONCRETO GEOPOLIMÉRICO SUBMETIDOS À ALTAS TEMPERATURAS**

Murillo Alexandre Fernandes (1), Bruno do Vale Silva (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)murillofernandes@hotmail.com., (2)dovaleesilva@unesc.net

### **RESUMO**

O concreto é um material que apresenta alterações no seu comportamento quando submetido a situações não usuais, como incêndios. É também um grande poluente da atmosfera, fatores estes que promovem a pesquisa para o desenvolvimento de novos concretos, como é o caso dos concretos geopoliméricos. Dentro deste contexto, este trabalho buscou analisar as propriedades mecânicas residuais em concreto convencional e em concreto geopolimérico submetidos à altas temperaturas, com corpos de prova cilíndricos de diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm ( $\varnothing 100 \times 200$  mm). Os concretos foram aquecidos as temperaturas de 200°C, 400°C e 600°C. Após o aquecimento no forno e resfriamento até a temperatura ambiente, as amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão simples e de módulo estático de elasticidade. Os resultados mostram que o concreto geopolimérico apresentou melhor resistência à compressão, quando exposto a altas temperaturas, que o concreto convencional. Porém, nas mesmas condições, ambos os concretos não apresentaram resultados satisfatórios para módulo estático de elasticidade.

*Palavras-Chave: concreto, geopolímero, altas temperaturas, resistência residual.*

### **1. INTRODUÇÃO**

No cenário atual da construção civil, é muito comum a utilização do concreto armado em grandes estruturas, pois se trata de um material resistente, com boa durabilidade e de fácil trabalhabilidade. Porém, é de conhecimento comum que o concreto é um material que apresenta alterações no seu comportamento quando submetido a situações não usuais, sendo o incêndio uma delas.

Em um incêndio o concreto entra em contato com altas temperaturas e demonstra uma perda de sua resistência mecânica. Para Bazant e Kaplan (1996), aos 200°C a resistência residual varia entre 85% e 110% da resistência obtida em condições ambientes, e acima desta temperatura a diminuição da resistência à compressão do concreto é de forma quase linear. Já para Morales, Campos e Faganello (2011), as perdas de resistência mecânica abaixo da temperatura de 300°C não são consideráveis, somente a partir deste valor é que começam os prejuízos. Neville

(1997) destaca que entre as temperaturas de 600°C e 700°C ocorre à perda total e irreversível das propriedades mecânicas.

Com o aumento da temperatura no concreto, pode ocorrer o fenômeno físico conhecido por *spalling*, definido por Brites e Costa (2011), como sendo o violento/explosivo (ou não violento/explosivo) deslocamento de camadas ou pedaços de concreto da superfície de um elemento estrutural. Para Cimolin (2015) esse fenômeno pode afetar a integridade e a capacidade de suporte da estrutura de concreto.

Além de não apresentar resultados satisfatórios, em relação aos danos a resistência mecânica quando exposto a altas temperaturas, o concreto obtido do cimento Portland é um grande poluente da atmosfera devido aos métodos empregados em sua produção, fator que aumenta as preocupações com a sustentabilidade e o meio ambiente. Para Torgal, Jalali e Gomes (2005), a produção do cimento, não é possível sem a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Davidovits (1994) acrescenta que, a produção de uma tonelada de clínquer de cimento Portland gera diretamente 0,55 toneladas de CO<sub>2</sub> químico, e exige a combustão do combustível de carbono para produzir um adicional de 0,40 toneladas de dióxido de carbono. Simplificando, uma tonelada de cimento Portland equivale a 0,95 toneladas de dióxido de carbono. Diante destes fatos, para Costa (2012), surgem como uma alternativa inovadora e bastante promissora, os cimentos geopoliméricos, pois quando comparados com o cimento Portland, podem ser produzidos a partir de resíduos, apresentando baixas emissões. Para Nematollahi (2014) o geopolímero é sintetizado a partir de materiais de origem geológica (metacaulim, por exemplo) ou subprodutos industriais, como cinzas volantes e escórias, materiais ricos em sílica e alumina com ativadores alcalinos elevados. Menger (2015) descreve que o termo “geopolímero” foi patenteado por Davidovits em 1976 nos Estados Unidos, para designar esses cimentos que sofrem ativação alcalina.

Depois de alguns estudos Osório (2006), concluiu que o concreto geopolimérico resiste bem a temperaturas de até 1000°C, porém sua resistência a compressão é afetada. Torgal e Jalali (2009) acrescentam que só é possível resistir à temperatura de 1000°C com composições bem cuidadas e bem curadas. Costa (2012) menciona que quando comparados com o concreto convencional, obtido de cimento Portland, os concretos geopoliméricos apresentam uma melhor resistência ao fogo.

Em pesquisas relacionadas com a durabilidade do concreto geopolimérico, Vasconcelos (2010), ressalta a excelente resistência do material ao fogo, podendo ser considerado, em alguns casos, um material refratário. Krivenko & Guziy (2007) também constataram um bom desempenho do material ao estudar seu comportamento em altas temperaturas. Portanto, “este material pode ser indicado para a utilização em obras na qual o risco de incêndio é elevado, como túneis e edifícios altos” (TORGAL; JALALI, 2011).

Buscando aumentar o número de evidências, este trabalho tem como objetivos realizar uma análise de resistência residual à compressão axial, perda de massa e módulo de elasticidade, no concreto convencional e no concreto geopolimérico submetidos a altas temperaturas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item é apresentado o programa experimental da pesquisa com a descrição das principais características dos materiais e dos métodos utilizados. Os ensaios de altas temperaturas foram realizados de acordo com a metodologia de Almeida et al. (2014). Para aquecimento dos corpos de prova foram analisadas as recomendações das normas da RILEM, especificamente, RILEM TC 129-MHT (2004) e RILEM TC 200-HTC (2007). A resistência à compressão simples e o módulo estático de elasticidade dos concretos na compressão foram determinados seguindo as recomendações das normas brasileiras NBR 5739 (ABNT, 2007) e NBR8522 (ABNT, 2008).

Foram utilizados, um traço de concreto convencional (CC) e um traço de concreto geopolimérico (CG), apresentados na Tabela 1. No traço convencional foi utilizado cimento Portland do tipo CP IV – 32, fornecido pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC). No traço geopolimérico o caulim utilizado também foi fornecido pelo laboratório, porém o mesmo foi submetido à desidroxilação em uma temperatura de recozimento de 800°C. O tratamento térmico foi realizado em um forno, do tipo mufla, com uma velocidade de aquecimento de 9°C/min, sendo o tempo de recozimento, quando atingida a temperatura especificada, igual a 3 horas. O material foi caracterizado com base em ensaios de difração de raios-X. O traço de concreto geopolimérico obteve uma relação molar que é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1: Traços utilizados nas misturas.

Especificações	Concretos	
	Convencional	Geopolimérico
Traço	1:2,3:2,7 (Cimento:Areia:Brita)	1:1,2:3,8:1,2 (Metacaulim:Silicato:Areia:Brita)
Relação a/agl	0,4	0,75
Aditivo	0,7% (Superplastificante)	-

Fonte: Autor, 2015.

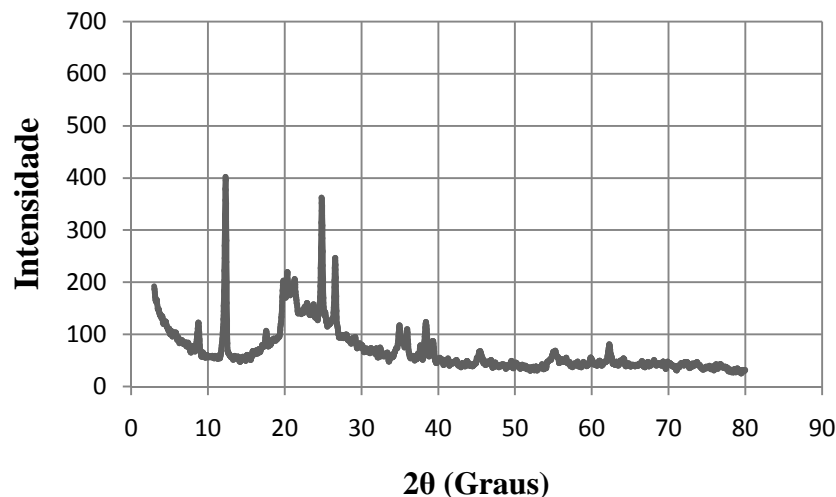
Tabela 2: Relação molar da mistura de geopolímero.

Composição	
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	3,2
$\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,46
$\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	0,14
$\text{Na}_2\text{OSiO}_2/\text{NaOH}$	1,6
$\text{H}_2\text{O}/\text{MK}$ (g/g)	0,75

Fonte: Autor, 2015.

A Figura 1 apresenta o resultado da análise de difração de raios-X para o metacaulim produzido, sem picos de cristalização consideráveis e um halo amorfo em  $2\theta=20$  evidenciando o amorfismo da amostra.

Figura 1 – DRX do Metacaulim.



Fonte: Autor, 2015.

A Tabela 3 apresenta as características físicas do agregado miúdo utilizado nas misturas.

Tabela 3 - Caracterização física do agregado miúdo.

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>%retido</b>	<b>%acumulado</b>
2,4	0,00	0,00
1,2	5,00	5,00
0,6	39,00	44,00
0,3	31,00	75,00
0,15	22,00	97,00
Fundo	3,00	100,00
<b>Dimensão máxima característica: 2,40 mm</b>		
<b>Módulo de Finura: 2,21</b>		

Fonte: Autor, 2015.

A Tabela 4 apresenta as principais características físicas da brita (agregado graúdo) utilizada.

Tabela 4 – Caracterização física do agregado graúdo.

<b>Abertura da peneira (mm)</b>	<b>%retido</b>	<b>%acumulado</b>
25	0,00	0,00
19	4,00	4,00
12,5	44,00	48,00
9,5	34,00	82,00
6,5	17,00	99,00
4,8	1,00	100,00
Fundo	0,00	100,00
<b>Dimensão máxima característica: 19,00 mm</b>		
<b>Módulo de Finura: 6,84</b>		

Fonte: Autor, 2015.

Com os traços definidos e os materiais preparados, foram moldados corpos de prova (CP) cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura ( $\varnothing 100 \times 200$  mm), 3 por variável de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). O traço utilizado para o concreto convencional garantiu um abatimento de cone de  $200 \pm 10$  mm, obtido de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). A água utilizada na dosagem do CC foi proveniente da rede de abastecimento da cidade de Criciúma (SC). O silicato de sódio, utilizado na dosagem do CG foi fornecido pelo LMCC.

Os CPs de concreto convencional foram desmoldados 24 horas após a concretagem e colocados em cura submersa, em solução saturada de hidróxido de cálcio, por 27 dias. Os CPs de concreto geopolimérico foram desmoldados 168 horas (7 dias) após a concretagem e armazenados em temperatura ambiente. Após período de cura do

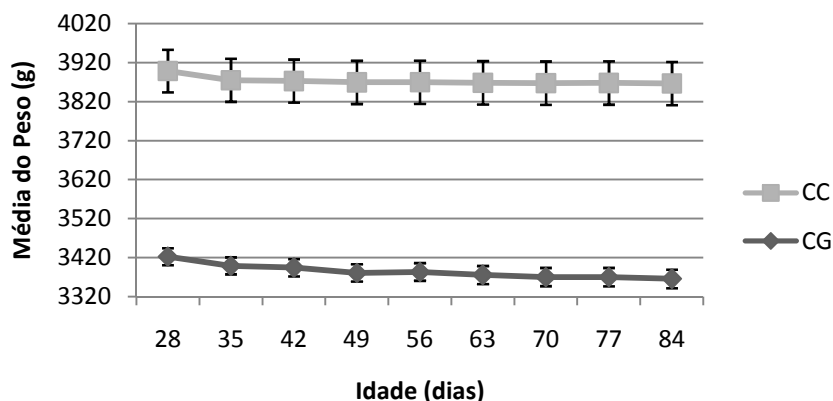
CC, todas as amostras foram armazenadas em sala com temperatura controlada ( $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ), durante um período de três meses, para a estabilização do seu peso.

Figura 2 – CC em cura (a), armazenamento CG até os 28 dias (b), amostras em sala com temperatura controlada (c).



Fonte: Autor, 2015.

Figura 3 – Média de peso das amostras.



Fonte: Autor, 2015.

Com o peso estabilizado, as amostras foram submetidas à ação das altas temperaturas de até  $600^{\circ}\text{C}$ , utilizando forno Mufla modelo CT-095 da Servitech com dimensões internas de  $480 \times 530 \times 530 \text{mm}$  e resistências metálicas espiraladas, aplicando uma taxa de aquecimento de  $9^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . A taxa de aquecimento utilizada foi um tanto quanto superior à definida na RILEM TC 129 – MHT, que recomenda uma taxa de  $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Também não foi possível seguir a curva padrão de incêndio ISO 834, devido às condições limitantes do aparelho disponível.



Figura 4 – Forno utilizado (a); Suporte para os CPs dentro do forno (b).



Fonte: Autor, 2015.

Foram testados quatro patamares distintos de temperatura, especificamente, 23°C (temperatura ambiente), 200°C, 400°C e 600°C. Atingido o patamar especificado, o mesmo era mantido até que a temperatura no interior do CP se igualava a temperatura exterior. Foram utilizados dois termopares do tipo K, com espessura de 3 mm, para realizar a verificação das temperaturas, um disposto na face externa do CP e outro no núcleo, através de furo de 5 mm realizado até a meia altura do corpo de prova (100 mm). A abertura do furo foi isolada com a aplicação de lã de vidro. Para coletar os valores das temperaturas, os termopares foram acoplados em um aparelho coletor de dados (datalogger). Quando as temperaturas se igualavam o forno era desligado e sua porta era aberta em 5 cm, para resfriamento dos CPs até a temperatura próxima a ambiente. O tempo de exposição das amostras as altas temperaturas foi de aproximadamente 150 minutos, para todos os patamares. As amostras foram pesadas antes e após a ação das altas temperaturas, para determinação da perda de massa. Após resfriamento, as amostras foram envolvidas em papel alumínio e colocadas em embalagens plásticas, com finalidade de evitar troca de umidade com o meio envolvente até o momento dos ensaios destrutivos.

Figura 5 – Disposição dos termopares(a); Amostras armazenadas após exposição à alta temperatura(b).



Fonte: Autor, 2015.

A resistência após a exposição às altas temperaturas (resistência residual) foi determinada através de ensaios de resistência à compressão simples. Os CPs foram rompidos por prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200I, com capacidade máxima de 2000 kN, acoplada a um computador com o software TESC – Test Script, que fornece recursos para a leitura e obtenção dos resultados.

Para a determinação do módulo de elasticidade os equipamentos utilizados foram: prensa servo-hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS, com capacidade de 2000 kN, acoplada a um computador com software TESC – Test Script.

Os ensaios e processos necessários para o desenvolvimento da pesquisa foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais (CECAM), Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) e Laboratório de Cerâmica Técnica (CerTec), todos localizados no IPARQUE (Parque Científico e Tecnológico) pertencente à Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

A Tabela 5 resume a matriz experimental desta pesquisa.

Tabela 5 - Matriz Experimental.

Variáveis	Descrição
<b>Concretos</b>	Convencional (Portland) / Geopolimérico
<b>Temperaturas de exposição (°C)</b>	23/200/400/600
<b>Taxa de aquecimento (°C/min)</b>	9
<b>Ensaio Destrutivos</b>	fc / Ec
<b>Amostras para ensaios</b>	
15 CPs Concreto Convencional (3/variável + 3 extras) + cura submersa(28 dias) + 3 meses estabilização de peso	
15 CPs Concreto Geopolimérico (3/variável + 3 extras) + cura ambiente(28 dias) + 3 meses estabilização de peso	

Fonte: Autor, 2015.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos após os ensaios realizados durante este estudo.

#### 3.1 PERDAS DE MASSA

A perda de massa dos corpos de prova ocorrida durante o ensaio foi determinada pela diferença entre as massas antes do aquecimento e após o resfriamento, empregando a Equação (1):

$$pm = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

pm = é a perda de massa do corpo de prova (%);

m1 = massa do corpo de prova (g), antes do aquecimento;

m2 = massa do corpo de prova (g), após resfriamento;

A Tabela 6 apresenta os resultados da perda de massa, em percentual, obtidos após o ensaio na temperatura ambiente e após o aquecimento às temperaturas de 200°C, 400°C e 600°C.

Tabela 6 – Perda de massa das amostras.

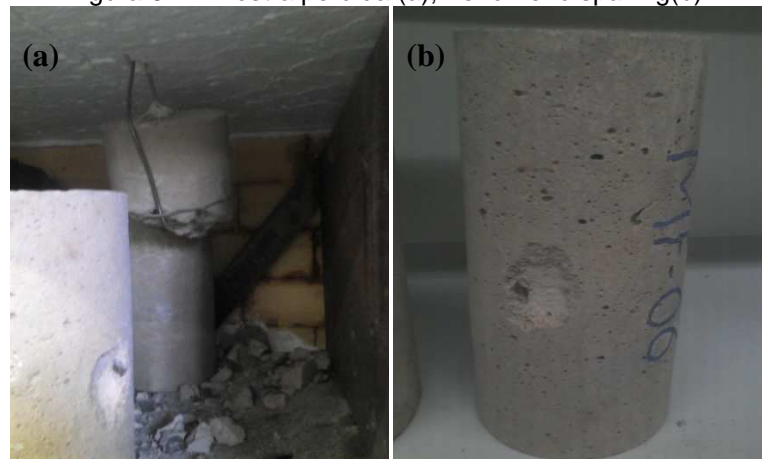
Concreto	Temperatura (°C)	Perda de massa das amostras (%)		
Convencional	23	-	-	-
	200	2,46	2,97	2,23
	400	5,52	6,04	5,89
	600	54,27*	6,46	6,55
Geopolimérico	23	-	-	-
	200	6,46	5,54	6,4
	400	7,25	6,52	6,62
	600	8,72	7,35	7,26

Obs.\*Dado considerado espúrio para análise da perda de massa devido ao *spalling*.

Fonte: Autor, 2015.

Pode-se observar que aos 200°C, o concreto convencional (CC) apresenta um percentual de perda de massa inferior ao concreto geopolimérico (CG). Aos 400°C a perda praticamente se iguala. Porém no patamar de 600°C, um dos corpos de prova de concreto convencional apresentou uma perda muito elevada, devido ao fenômeno *spalling*, levando o mesmo ao descarte para o cálculo da perda de massa.

Figura 6 – Amostra perdida (a); Fenômeno spalling(b).



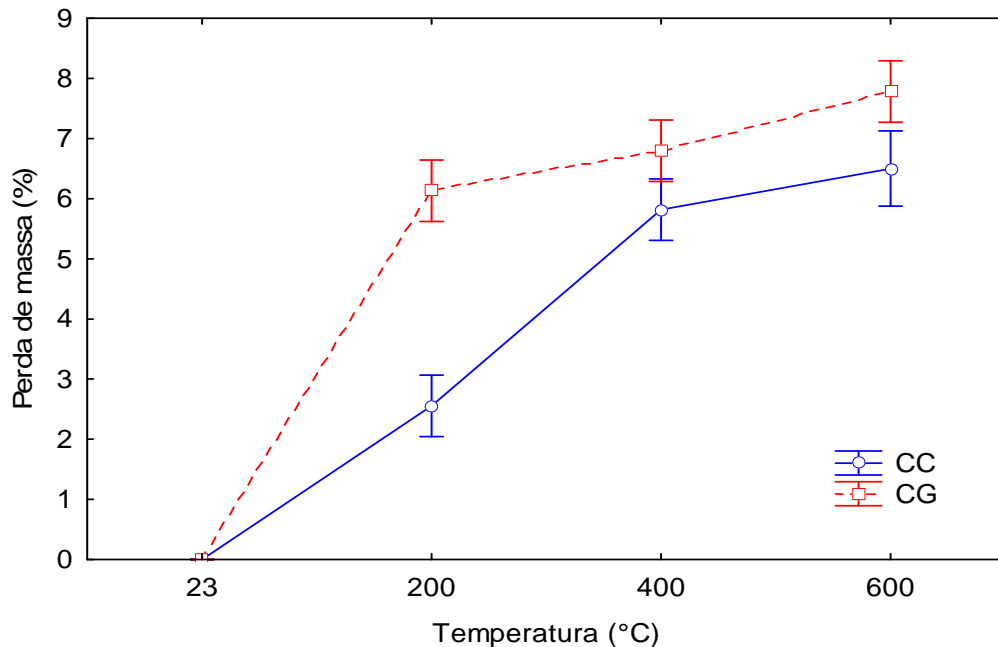
Fonte: Autor, 2015.

Para verificar se os valores de perda de massa são diferentes entre cada patamar aplicou-se análise estatística de variância (ANOVA) com nível de confiança de 95%, ou seja, para um fator ser significativo deve-se obter  $p_{value} \leq 0,05$ . A Figura 7 ilustra os resultados obtidos na ANOVA para a variável resposta perda de massa, onde se observa que os diferentes patamares influenciam estatisticamente os resultados de perda de massa com  $p_{value} = 0,00$ .

Figura 7 – Análise perda de massa.

Current effect: F(3, 15)=19,908, p=0,00002

As barras verticais representam intervalos de confiança de 0,95



Fonte: autor, 2015.

### 3.2 COMPRESSÃO SIMPLES E MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDADE

Para cálculo da resistência à compressão foi utilizada a Equação (2).

$$f_c = \frac{F}{A} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

$f_c$  = resistência à compressão (MPa)

F = carga máxima obtida no ensaio (N)

A = área do corpo de prova (m<sup>2</sup>)

O módulo estático de elasticidade na compressão simples,  $E_{ci}$ , foi obtido com base na NBR 8522 (2008), através da Equação (3).

$$E_c = \frac{\sigma_b - 0,5}{\epsilon_b - \epsilon_a} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

$\sigma_b$  = tensão de ensaio, correspondente a 30% de  $f_c$

$\epsilon_a$  = deformação específica correspondente a tensão de 0,5 MPa

$\epsilon_b$  = deformação específica correspondente a  $\sigma_b$

A Tabela 7 resume os valores médios e desvio padrão obtidos experimentalmente para resistência à compressão média,  $f_{cm}$ , para o módulo estático de elasticidade médio,  $E_{cm}$ , dos concretos submetidos à ação das altas temperaturas.

Tabela 7 – Resumo dos resultados experimentais.

Concreto	Temperatura (°C)	$f_{cm}$ (MPa)	D.P. (MPa)	$E_{cm}$ (GPa)	D.P. (GPa)
<b>Convencional</b>	23	67,83	3,93	44,85	0,08
	200	61,77	0,40	32,46	0,47
	400	53,43	3,52	19,71	1,53
	600	23,65	0,07	5,22	0,00
<b>Geopolimérico</b>	23	19,65	4,45	21,34	6,74
	200	21,30	10,96	9,34	0,13
	400	16,10	3,94	4,02	0,92
	600	9,90	3,41	1,88	0,39

D.P. = Desvio Padrão.

Fonte: autor, 2015.

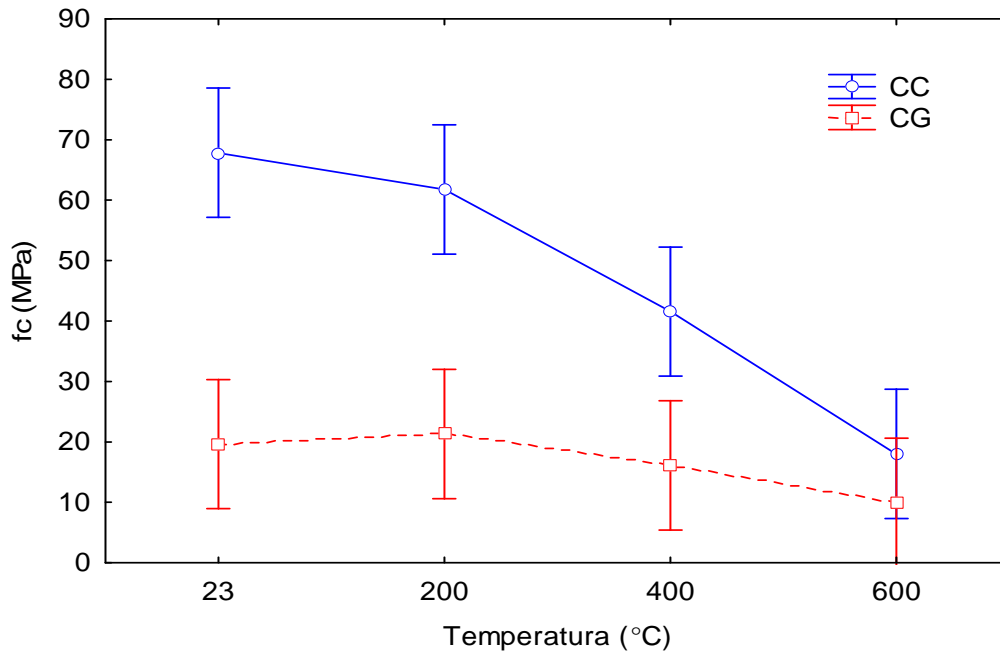
Foi possível observar que, ambos os concretos apresentaram alterações nas propriedades mecânicas após a ação das altas temperaturas. Porém, o concreto geopolimérico apresentou ganhos na resistência após exposição a 200°C. Sarker, Kelly e Yao (2014), também obtiveram em sua pesquisa, aumento na resistência do geopolímero após ação das altas temperaturas, porém no patamar de 400°C. Segundo Sarker, Kelly e Yao (2014), esse aumento na resistência é caracterizado pela nova geopolimerização que o material sofre quando exposto à altas temperaturas.

A Figura 8 ilustra os resultados obtidos na ANOVA para a variável resposta resistência à compressão, onde pode-se observar que os diferentes patamares influenciam estatisticamente os resultados com  $p_{value}=0,00$ .

Figura 8 – Análise de resistência à compressão.

Current effect:  $F(3, 16)=6,1521, p=0,00553$

As barras verticais representam intervalos de confiança de 0,95



Fonte: Autor, 2015.

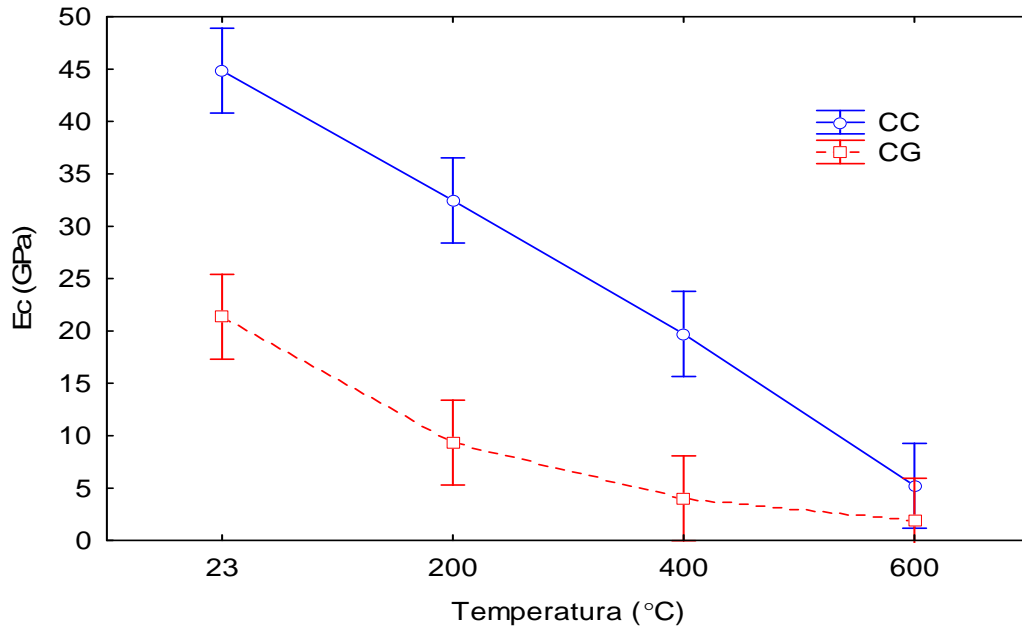
É possível observar na figura 8, que após os 200°C a perda de resistência a compressão do concreto convencional apresenta-se de forma acentuada. Segundo Silva (2009), acima dos 200°C, a água evaporada reduz as forças de atração de Van der Waals entre as camadas de C-S-H (silicato de cálcio hidratado). Essa redução é refletida nas diminuições de resistência a compressão.

A Figura 9 ilustra os resultados obtidos na ANOVA para a variável resposta módulo estático de elasticidade, onde se pode observar que os diferentes patamares influenciam estatisticamente os resultados com  $p_{value}=0,00$ .

Figura 9 – Análise de módulo estático de elasticidade.

Current effect:  $F(3, 8)=14,407$ ,  $p=0,00137$

As barras verticais representam intervalos de confiança de 0,95



Fonte: Autor, 2015.

Foi possível observar que o módulo estático de elasticidade do concreto convencional apresentou uma redução em um comportamento quase linear, diferentemente do concreto geopolimérico, que apresentou uma maior redução no patamar de 200°C.

As formas de ruptura dos dois concretos nos diferentes patamares são apresentadas nas Figuras 10, 11 e 12. As rupturas mais evidentes em todas as amostras são cônicas e cisalhada e apenas cisalhada.

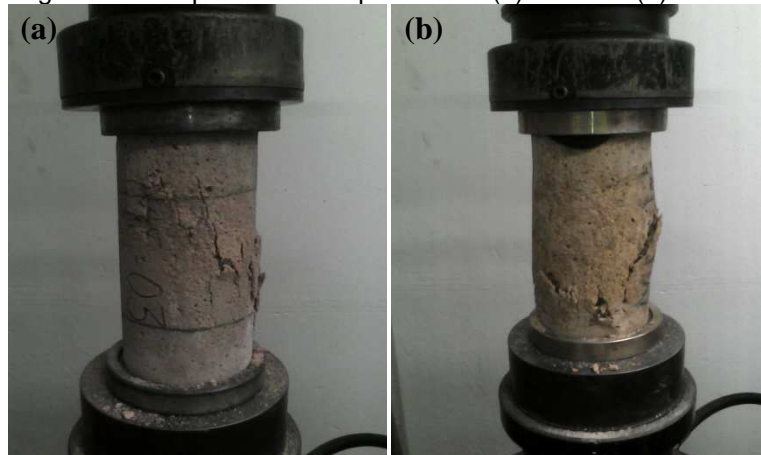
Figura 10 – Ruptura CG nos patamares (a) 23°C e (b) 200°C.



Fonte: Autor, 2015.

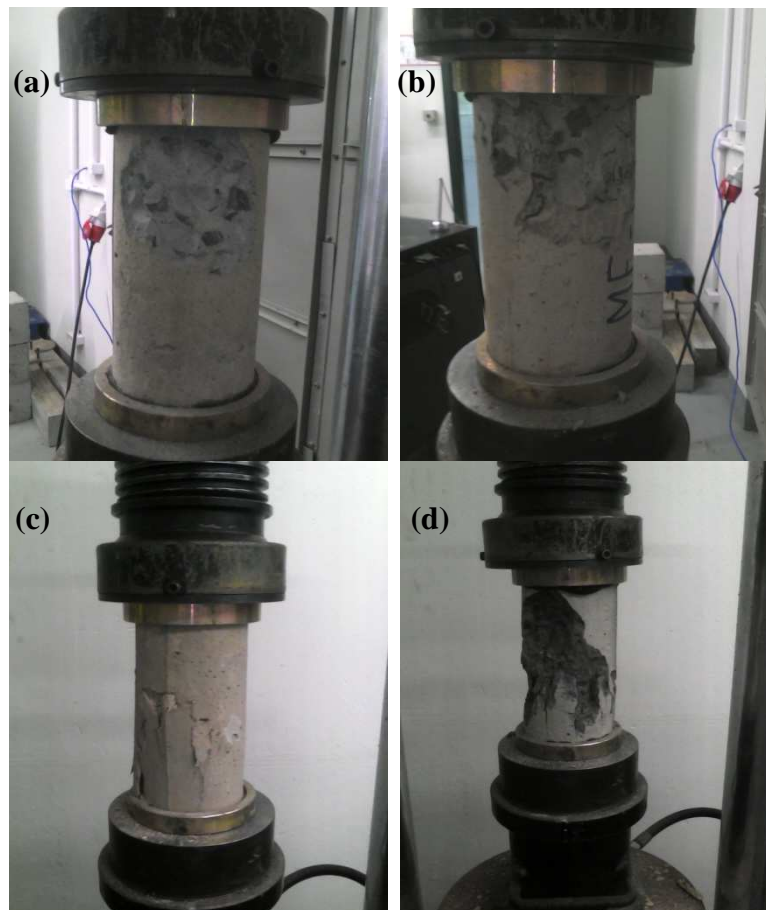


Figura 11 – Ruptura CG nos patamares (a) 400°C e (b) 600°C.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 12 – Ruptura CG nos patamares (a) 23°C; (b) 200°C; (c) 400°C; (d) 600°C.



Fonte: Autor, 2015.

Em uma última análise dos dados obtidos, foi realizada uma comparação entre os valores residuais obtidos experimentalmente e os valores reduzidos de projeto

recomendados pela NBR 15200 (ABNT, 2012), para concreto em situação de incêndio, conforme demonstra a Tabela 8.

Tabela 8 – Valores reduzidos experimentais e de projeto de acordo com a NBR 15200.

Temperatura $\theta(^{\circ}\text{C})$	Convencional		Geopolimérico		NBR 15200	
	$f_{c_j,\theta}/f_{c_j}$	$E_{c_j,\theta}/E_{c_j}$	$f_{c_j,\theta}/f_{c_j}$	$E_{c_j,\theta}/E_{c_j}$	$f_{c_j,\theta}/f_{c_j}$	$E_{c_j,\theta}/E_{c_j}$
23	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
200	0,911	0,724	1,084	0,438	0,950	0,900
400	0,788	0,439	0,819	0,188	0,750	0,560
600	0,349	0,116	0,504	0,088	0,450	0,200

Fonte: Autor, 2015.

De modo geral, tanto o concreto convencional quanto o geopolimérico apresentaram resultados experimentais inferiores aos recomendados pela norma, exceto para a Resistência residual do concreto geopolimérico que apresentou resultados satisfatórios aos 200°C. Porém, a NBR 15220 (2012), utiliza o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), apresentado pela NBR 14432 (2001), como tempo de exposição do material a ação das altas temperaturas. A metodologia adotada para aquecimento dos corpos de prova sujeitou as amostras a um tempo de exposição superior ao TRRF, possibilitando assim maiores danos na resistência a compressão e no módulo estático de elasticidade.

#### 4 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados e da análise dos resultados, é possível concluir que:

- A perda de massa do concreto geopolimérico (CG) é superior a perda do concreto convencional (CC).
- O concreto geopolimérico (CG) teve uma resistência residual no patamar de 200°C, melhorada quando comparada a sua resistência em temperatura ambiente.
- A redução nas propriedades mecânicas (resistência a compressão e módulo estático de elasticidade) dos concretos foi substancialmente maior no patamar de temperatura mais elevado. Aos 600°C a redução na resistência a compressão do CC foi de 65%, superior ao do CG, com redução de 50%. No

mesmo patamar o CG apresentou redução no módulo de elasticidade de 91%, valor superior ao do CC, que foi de 88%.

- A redução do módulo estático de elasticidade do CC apresenta um comportamento praticamente linear, diferentemente do comportamento apresentado pelo CG.
- No patamar mais elevado, 600°C, o CC apresentou *spalling*, já no CG este fenômeno não ocorreu.
- A ação das altas temperaturas é mais danosa na resistência à compressão do CC em comparação ao CG.
- Os corpos de prova dos dois tipos de concreto apresentaram formas de ruptura semelhantes, mesmo quando expostos a patamares de temperaturas diferentes.
- Os valores residuais experimentais dos dois concretos apresentaram valores inferiores aos recomendados pela NBR 15200 (2012), com exceção dos valores de resistência do CG aos 200°C.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Expor os concretos a outras temperaturas;
- Realizar os mesmo ensaios em concretos com resistências semelhantes;
- Realizar cura térmica para o concreto geopolimérico.

## 5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Jacinto M. A. ; SILVA, B. V. ; SOUZA, F. B. ; SILVA FILHO, L. C. P. . **Avaliação Experimental de Concretos com Substituição Parcial de Cinza de Casca de Arroz Submetidos à Ação das Altas Temperaturas.** In: 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014, Natal. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5628:** Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: Rio de Janeiro. ABNT, 2015.

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

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

\_\_\_\_\_. **NBR 14432:** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 15200:** Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BAZANT, Z. P.; KAPLAN, M. F. **Concrete at high temperatures: Material properties and mathematical models.** Concrete design and construction series, Essex, Longman Group Limited, 1996.

BRITEZ, Carlos Amado; COSTA, Carla Neves. Deslocamento do concreto em elevadas temperaturas. **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: G.C.Isaia, 2011, v2. p.1050.

CIMOLIN, Felipe Rocha. **ESTUDO DO EFEITO DA FIBRA DE POLIPROPILENO EM CONCRETO EXPOSTO A ALTAS TEMPERATURAS.** 2015. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

COSTA, António Filipe Martins. **Utilização de Geopolímeros para Protecção de Betão: Resistência a altas temperaturas.** 71 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal 2012.

DAVIDOVITS, Joseph. Global warming impact on the cement and aggregates industries. **World Resource Review**, Saint-quentin, v. 6, n. 2, p.263-278, 1994.

KRIVENKO, P., GUZIY, S. (2007). **Fire Resistant Alkaline Portland Cements.** Alkali Activated Materials. Research, Production and Utilization 3rd Conference, pp.333-347. Praga, República Checa.

MENGER, Manuela Hoffmann. **ANÁLISE DA ADERÊNCIA ENTRE COMPÓSITOS DE CIMENTO PORTLAND E GEOPOLIMÉRICO.** 2015. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

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

NEMATOLLAHI, Behzad; SANJAYAN, Jay; SHAIKH, Faiz Uddin Ahmed. Comparative deflection hardening behavior of short fiber reinforced geopolymer composites. **Construction and Building Materials**, vol 70 (2014), p. 54-64, abr./jun. 2014.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. São Paulo, SP. Ed. PINI, 1997.

OSÓRIO, Paulo Dias Lopes. **Concepção de um Saferoom Anti-Tornado em Betão Geopolimérico**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2006.

RILEM Technical Committee. **RILEM TC 129-MHT**: Test methods for mechanical properties of concrete at high temperatures. 2004.

RILEM Technical Committee. **RILEM TC 200-HTC**: Mechanical concrete properties at high temperatures - modelling and applications. 2007.

SARKER, Prabir Kumar; KELLY, Sean; YAO, Zhitong. Effect of fire exposure on cracking, spalling and residual strength of fly ash geopolymer concrete. **Materials And Design**, p. 584-592, 2014.

SILVA, Daiane dos Santos da. **Propriedades Mecânicas Residuais Após Incêndio de Concretos Usados na Construção Civil na Grande Florianópolis**. 2009. 102p. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univ. Fed. de Santa Catarina, Florianópolis.

TORGAL, Fernando Pacheco, Gomes, João Castro, Jalali, Said. (2005). Tendências no Desenvolvimento Sustentável: Investigação sobre o desenvolvimento de ligantes de baixas emissões a partir de resíduos de minas. **Engenharia 2005**, p.281-285. Universidade da Beira Interior. Covilhã, Portugal, 2005.

TORGAL, Fernando. Pacheco; JALALI, Said.. **A Sustentabilidade Dos Materiais De Construção**. Guimarães, Portugal: TecMinho, 2011. 460 p.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. Ligantes geopoliméricos : uma alternativa ao cimento Portland. **Revista Ingenium**, v. 114, p.66-68, nov. 2009.

VASCONCELOS, E.. **Reabilitação de Estruturas de Betão com Recurso a Geopolímeros e Fibras de Carbono**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2010.