

## Estudo do efeito da adição de óxido de alumínio no concreto submetido à altas temperaturas

Thiago Laurindo Ferreira (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) [thiago.l.ferreira@icloud.com](mailto:thiago.l.ferreira@icloud.com), (2) [dss@unesc.net](mailto:dss@unesc.net)

**Resumo:** Altamente difundido nas construções, o concreto pode ser considerado um material homogêneo em temperatura ambiente, no entanto quando exposto a elevadas temperaturas, sua heterogeneidade é realçada, devido às transformações físicas, químicas e mecânicas. As limitações do concreto convencional proporcionam o desenvolvimento de concretos especiais. Deste modo, o presente trabalho avalia as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos concretos com adições de 4 e 8% de óxido de alumínio (alumina). A alumina apresenta bom desempenho entre os cerâmicos como material estrutural, devido seu elevado módulo de elasticidade, refratariedade, dureza, resistência ao ataque químico e resistência em altas e baixas temperaturas. Foram produzidos 72 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 x 20 cm que foram aquecidos a 400 e 800 °C. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios mecânicos de Resistência à Compressão Axial, Módulo de Elasticidade e ensaios para análise da microestrutura como a Difractometria de Raios X (DRX), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Análise Térmica (TGA-DTA). Os concretos estudados perdem gradativamente sua resistência mecânica com o incremento da temperatura. É possível observar que a adição de 4% de alumina influencia de forma positiva na resistência a compressão, no entanto a adição de 8% causa perda de resistência.

**Palavras-chave:** Alumina; Microestrutura; Propriedades mecânicas.

### Study of the effect of the addition of aluminum oxide on concrete when subjected to high temperatures

**Abstract:** Highly diffused in the constructions, concrete can be considered a homogeneous material at room temperature, however when exposed to high temperatures, its heterogeneity is enhanced due to physical, chemical and mechanical transformations. The limitations of conventional concrete provide the development of special concrete. Thus, the present work evaluates the physical, chemical and mechanical properties of concretes with additions of 4 and 8% aluminum oxide (alumina). The alumina presents good performance among the ceramic as a structural material, due to its high modulus of elasticity, refractoriness, hardness, resistance to etching and resistance in high and low temperatures. 72 cylindrical specimens with dimensions of 10x20 cm were produced that were heated to 400 and 800 °C. The specimens were submitted to mechanical tests of Resistance to Axial Compression, Modulus of Elasticity and tests for analysis of the microstructure as X-ray diffractometry (DRX), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Thermal Analysis (TGA- DTA). The studied concretes gradually lose their mechanical resistance with increasing temperature. It is

possible to observe that the addition of 4% of alumina positively influences the compressive strength, however the addition of 8% of a loss of resistance occurs.

**Key-words:** Alumina; Microstructure; Mechanical properties

## Introdução

Considerado um material estrutural altamente difundido nas construções, o concreto tem como principais vantagens seu baixo custo, possibilidade de ser moldado em variadas formas e fornecer monolitismo as construções (FIGUEREDO 2011). De acordo com Rocha (2018) o mesmo pode ser sujeito a altas temperaturas, acidentalmente ou em suas condições normais de trabalho, tornando relevante o estudo das suas propriedades, quando submetido a essas temperaturas (BATISTA; GODINHO, 2017).

O concreto endurecido pode ser considerado um material homogêneo em temperatura ambiente, no entanto quando exposto a elevadas temperaturas, sua heterogeneidade é realçada devido às transformações físicas e químicas. Apresenta bom desempenho, pois é incombustível e não emite gases, sendo capaz de manter resistência suficiente por períodos relativamente longos, reduzindo os riscos de colapso estrutural (COSTA, 2008; SILVA, 2009).

Contudo, estruturas de concreto expostas a altas temperaturas por um longo período sofrem um processo de desidratação da pasta de cimento, causando a perda de rigidez elástica e a resistência do material, levando a fragmentação do concreto devido ao aumento da pressão nos poros (RIPANI 2014)

De acordo com Rocha (2008) as limitações do concreto convencional proporcionam o desenvolvimento de concretos especiais, como o concreto refratário que segundo a NBR 8826 (ABNT, 2014) é um produto não conformado de pega hidráulica, química ou ao ar e consiste na mistura de um ou mais agregados refratários de granulometria adequada, com ligantes como cimento aluminoso (CAC), sílica coloidal, alumina hidratada e fosfatos, podendo conter aditivos e componentes não cerâmicos.

Segundo Benali (2016) o uso de concreto refratário evoluiu consideravelmente, estes são usados geralmente em instalações expostas a altas temperaturas na indústria cimenteira, petroquímica, siderúrgica e indústrias nucleares.

Usado na produção de concreto refratário os cimentos aluminosos são compostos, principalmente de óxido de cálcio, obtido de rocha calcária, e alumina, obtido de bauxita,

disponíveis em composições distintas, sendo os mais comuns aqueles contendo entre 70 a 80% de alumina (OLIVEIRA; CREPALDI, 2016).

De acordo com Melo (1989 apud CAMPOS, 2016) a alumina apresenta bom desempenho entre os cerâmicos como material estrutural, devido ao seu elevado módulo de elasticidade, refratariedade, dureza, resistência ao ataque químico e resistência mecânica em altas e baixas temperaturas.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar as propriedades, físicas, químicas e mecânicas do concreto com adição de óxido de alumínio (alumina), a fim de verificar a influencia deste composto na refratariedade do concreto.

## Materiais e métodos

Os materiais utilizados para a produção do concreto e suas características são apresentados na Tabela 1. O concreto produzido para os ensaios foi dosado para atingir uma resistência característica de 30 MPa e trabalhabilidade fixada em 10 +/-2 cm no ensaio de abatimento de tronco de cone.

Tabela 01. Materiais usados na mistura de concreto

Material	Tipo	Dimensão máxima característica (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Cimento	CP IV-32	-	2,82
Agregado graúdo	Diábasio (Brita)	19	2,83
Agregado miúdo	Areia média	6,3	2,54
Óxido de alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1,00
Hiper plastificante	TEC-FLOW 8000	-	1,10

O estudo propõe a análise de três tipos de misturas. Uma das dosagens sendo o traço referência e as demais com 4 e 8% de adição de Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) em sua mistura, que no decorrer deste trabalho serão chamadas respectivamente de Mistura REF, Mistura 4% e Mistura 8%. Os traços unitários dos concretos utilizados estão dispostos na Tabela 2. Com a acréscimo de Alumina foi necessário a adição de aditivo plastificante para manter a trabalhabilidade do concreto, que foi verificada através do teste de abatimento de tronco de cone.

Tabela 02 - Traços de concreto

Concreto	Cimento	Areia	Óxido de alumínio	Brita	a/c	Aditivo%	Abatimento (cm)
Mistura REF	1,00	3,13	-	3,38	0,60	-	10
Mistura 4%	1,00	3,13	0,32	3,38	0,60	0,31	09
Mistura 8%	1,00	3,13	0,60	3,38	0,60	0,96	08

Após secagem, pesagem e separação dos materiais, foi realizada a concretagem de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Foram moldados 24 corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm (diâmetro x altura) para cada traço, totalizando 72 amostras. Após 24 h de repouso os corpos de prova foram desmoldados, identificados e colocados submersos em água, no tanque por um período de cura de 28 dias com a finalidade de evitar a evaporação prematura da água necessária para a hidratação do cimento, em seguida foram retirados e armazenados em ambiente de laboratório por mais 28 dias, permitindo a evaporação da água de forma natural, completando assim 56 dias de cura.

Todo o processo foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IDT/UNESC de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 1.

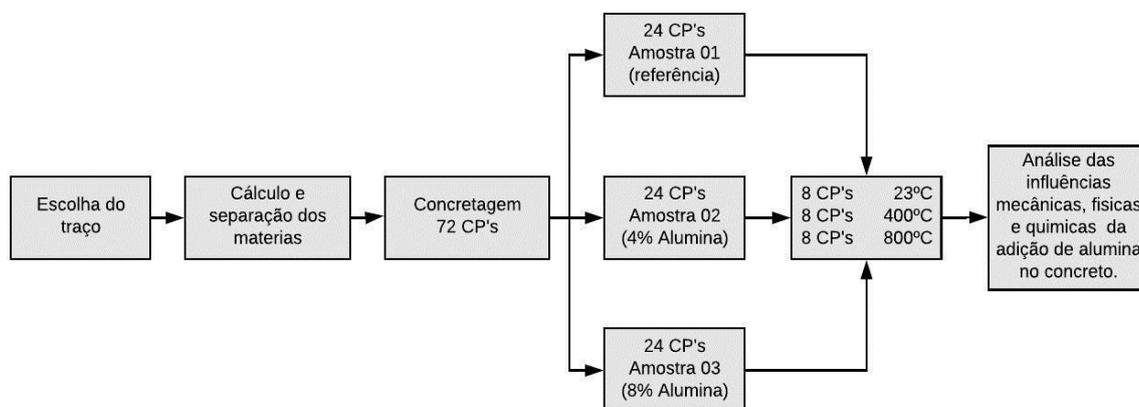


Figura 1: Fluxograma do procedimento experimental

Para realizar a análise das características mecânicas, físicas e químicas do concreto produzido com adição de Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) e submetidos a diferentes patamares de temperaturas foram realizados ensaios de Análise Calorimétrica Diferencial de Varredura (DSC), Resistência à Compressão Axial, Módulo de Elasticidade, Difração de Raios X (DRX) e Espectroscopia de Infravermelhos (FTIR).

Após completar 56 dias de cura, os corpos de prova foram aquecidos em dois níveis de temperatura, 400 e 800 °C, com uma taxa de aquecimento de 3°C min<sup>-1</sup> seguindo as recomendações de Rilem TC129 MHT (2000 apud SILVA, 2009). Depois de atingir a temperatura definida ela foi mantida durante 30 min. Após o aquecimento a mufla foi desligada e os corpos de prova permaneceram no interior da mesma por, aproximadamente, 24 h até que ocorresse seu resfriamento natural. Não foi possível simular o resfriamento com água como acontece em incêndios reais, pois a mufla só pode ser aberta em temperaturas abaixo de 150 °C para não ser danificada.

Quando retirados da mufla os corpos de prova foram pesados para determinação da perda de massa que é obtida através da diferença entre as massas antes o aquecimento e 24 h após através da Eq. 01.

$$pm = \frac{m1 - m2}{m2} \cdot 100 \quad (1)$$

em que:

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

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

m2 = massa do corpo de prova 24 h após ser exposto à altas temperaturas (kg).

Para determinar a resistência mecânica do concreto produzido foi realizado ensaio de Resistência à Compressão Axial de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). O procedimento se deu pela aplicação de uma força axial aplicada ao corpo de prova com a finalidade de avaliar o desempenho das amostras expostas a diferentes patamares de temperatura. O mesmo foi executado por uma prensa hidráulica da marca EMIC, modelo PC 200, monitorada por computador, com capacidade máxima de 2000 kN .

Conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008) foi realizado o ensaio do módulo de elasticidade. Este ensaio visa relacionar a tensão aplicada com a deformação instantânea obtida no corpo de prova, sendo a medição da deformação dos corpos de prova realizada por extensômetro eletrônico fixado ao corpo de prova. Para se obter o Módulo de Elasticidade do concreto foi utilizado 30% da tensão da carga de ruptura do ensaio de compressão axial. Os equipamentos utilizados foram os seguintes: prensa servo-hidráulica da marca EMIC modelo PC 200CS, com capacidade máxima de 2000 kN, juntamente com um computador que utiliza

o software TESC - Test Script, o qual fornece os recursos para a leitura e a obtenção de resultados.

Para o alcance de informações sobre a estrutura do material, foi realizado o ensaio de Difração de Raios X (DRX) que permite identificar as fases cristalinas através dos picos gerados na difração dos raios produzidos pelos átomos característicos do mineral. Para realização do ensaio as amostras dos corpos de prova foram fragmentadas, moídas e peneiradas, obtendo-se um material fino. Este ensaio foi realizado com o aparelho de reflexão Lab X, modelo XRD 6000, operando a 25 kV e 25 mA, com radiação de  $\text{CuK}\alpha$ , ângulo de varredura de 3 a 80°, passo de 0,02 de tempo e contagem de 0,6 s por passo, logo,  $2^\circ \text{ min}^{-1}$ .

Para a análise térmica do material foi realizada a Análise Termogravimétrica (TGA) que é uma técnica na qual a variação da massa da amostra é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura. Também foi realizada a análise Calorimétrica Diferencial de Varredura (DTA) que indica as temperaturas críticas na quais ocorrem as mudanças de fase e também o percentual de perda de peso relacionado a mudança ou desaparecimento de fases. Esta análise foi realizada no LabValora/UNESC, em atmosfera de ar sintético, no intervalo de temperatura de 35 a 1000°C e taxa de aquecimento de  $10^\circ \text{ C min}^{-1}$ , com equipamento da marca Netzsch, modelo STA 449 F3 Júpit

Buscando encontrar as possíveis interações químicas foi realizada a Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) que permite identificar as ligações químicas presentes na microestrutura do concreto. O equipamento utilizado foi um espectrômetro da marca Shimadzu e modelo Irtaffinity-1S.

As diferenças estatísticas significativas dos resultados encontrados foram comparados pelo método de análise estatística de variância (ANOVA) com confiabilidade de 95%. O Teste de Tukey foi utilizado para avaliar a influência da alumina e da temperatura nas amostras em questão. Estas análises foram realizadas através do software Past3 versão 3.20.

## **Resultados e Discussões**

A Figura 2 ilustra os resultados dos ensaios de Termogravimetria (TGA) e Calorimetria (DTA), respectivamente das amostras das três formulações estudadas nesta pesquisa.

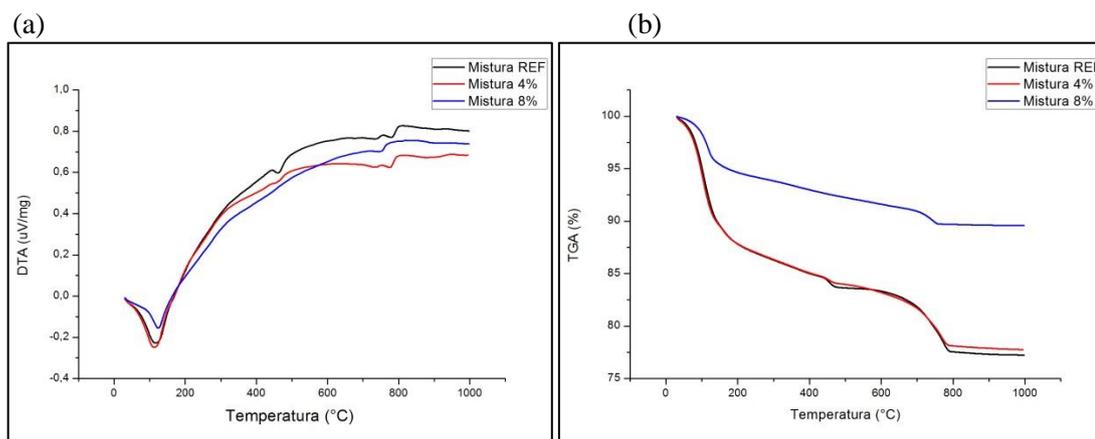


Figura 2. (a) Análise Termo diferencial (DTA); (b) Análise Termogravimétrica (TGA).

A perda total de massa das amostras variou de 11 a 23% (Mistura 8% e Mistura REF, respectivamente). Através da curva termogravimétrica é possível observar uma inclinação acentuada entre a temperatura inicial até 100 °C. Este fato está relacionado com a perda inicial da água absorvida e a contida nos capilares. Na análise termodiferencial esse comportamento surge como um pico endotérmico na curva (COSTA, FIGUEIREDO & SILVA, 2002; LIMA, 2005; SOUZA, 2016).

De acordo com Rocha (2008) aos 300 °C, a água intermelar do C-S-H e parte da água quimicamente combinada do C-S-H e dos sulfatos aluminatos hidratados é perdida, provocando perda de massa.

Aproximadamente aos 500 °C, nota-se uma desidratação da pasta do cimento devido à decomposição do hidróxido de cálcio (portlandita) isso pode ser notado na acentuada declividade na curva termogravimétrica e um pico endotérmico na curva termodiferencial. (COSTA, FIGUEIREDO & SILVA, 2002; LIMA, 2005; SOUZA, 2016). Próximo aos 800 °C ocorre um pico endotérmico na curva termodiferencial e um declínio na curva termogravimétrica, que é atribuído à decomposição da calcita, que pode ser observado pela difratometria de raios X (LIMA, 2005; SOUZA, 2016).

A Figura 3 ilustra os percentuais de perda de massa dos corpos de prova depois de aquecidos nas temperaturas de 400 e 800 °C. Observa-se que a perda de massa aumenta progressivamente com o aumento da temperatura. A massa inicial foi obtida à temperatura ambiente (23°C), antes do aquecimento dos corpos de prova, enquanto que a massa final foi obtida após o aquecimento dos mesmos .

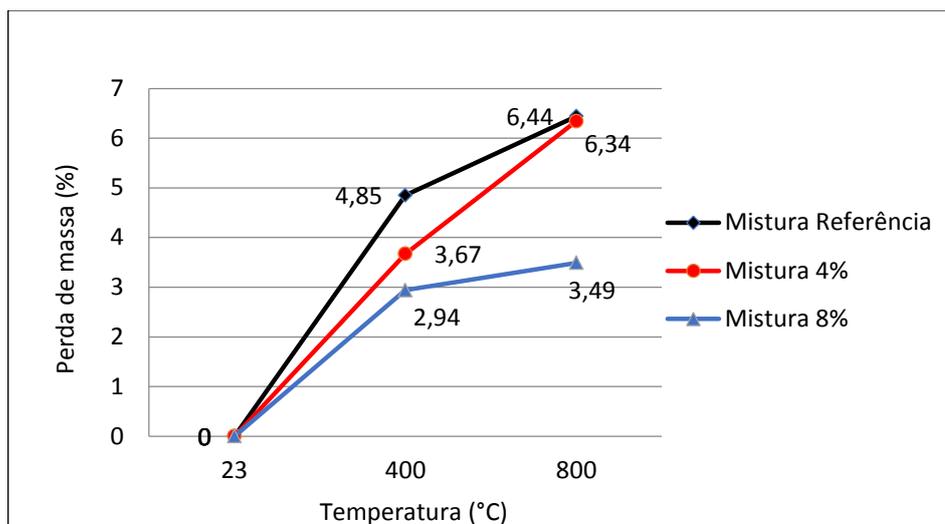


Figura 3. Gráfico de perda de massa.

Por meio da análise estatística de variância (ANOVA) pode-se constatar que a temperatura exerce influência significativa na redução de massa dos corpos de prova. Através do Teste de Tukey é possível afirmar que apenas a Mistura 8% entre os patamares 400 á 800 °C não sofreu redução significativa estatisticamente.

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos das médias dos corpos de prova, para os ensaios de Resistência à Compressão Axial.

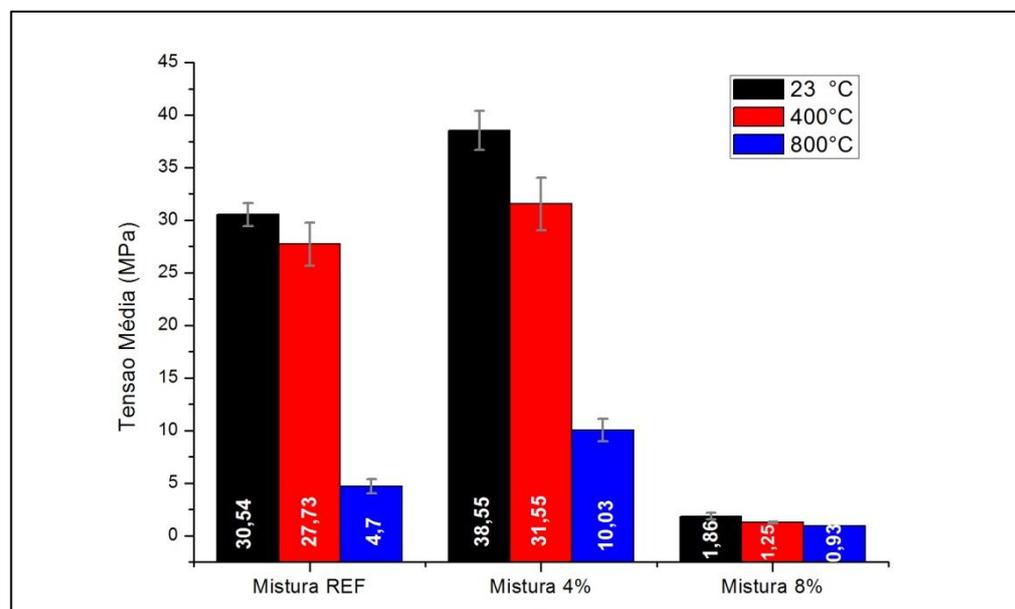


Figura 4. Resistência à Compressão Axial

De acordo com a análise estatística de variância (ANOVA) dos resultados obtidos foi possível observar que existe diferença significativa da Resistência à Compressão Axial dos concretos com o acréscimo da temperatura.

Esta perda de resistência pode ter sido originada por vários fatores. Segundo Neville (1997) a pasta de cimento começa a sofrer desgaste químico a partir dos 200 °C com a redução das forças de Van der Waals. A partir dos 300 °C a água interlamelar do C-S-H inicia seu processo de evaporação, este mantém a pasta de cimento unida por meio de ligações químicas e das forças coesivas de Van der Waals. Em torno de 450°C a Portlandita começa a se desidratar (SOUSA, 2016).

A norma NBR 15200 (ABNT, 2004) apresenta valores mínimos de fator de redução da resistência do concreto em função de diferentes patamares de temperaturas conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Fator de redução para Resistência a Compressão Axial.

Fator de Redução	Temperatura		
	23°C	400°C	800°C
NBR 15200	1	0,85	0,27
Mistura REF	1	<b>0,91</b>	0,15
Mistura 4%	1	0,82	0,26
Mistura 8%	1	0,67	<b>0,50</b>

Fazendo uma análise comparativa entre os resultados obtidos na pesquisa e os fatores previstos pela norma, foi possível observar que ambos apresentaram a mesma tendência, com exceção da Mistura REF a 400°C e da Mistura 8% a 800 °C que possuem um fator de redução superior aos prescritos pela norma.

Analisando as três misturas em cada temperatura 23, 400 e 800 °C separadamente pode se afirmar através da ANOVA e do Teste de Tukey que a alumina influencia significativamente na resistência do concreto. Com o acréscimo de 4% a Alumina atua de forma positiva aumentando a resistência do concreto, já com o acréscimo de 8%, à alumina age de forma negativa reduzindo a resistência. Este comportamento se assemelha com o notado por Grison et al. (2015) que utilizou diferentes percentuais de alumina calcinada na produção de um compósito, o teor de 4% de alumina teve o melhor desempenho, sendo que a mesma consegue se distribuir de forma mais homogênea e preencher os espaços vazios aumentando a resistência do material.

A Figura 5 ilustra os resultados obtidos das médias dos corpos de prova para os ensaios de Módulo de Elasticidade.

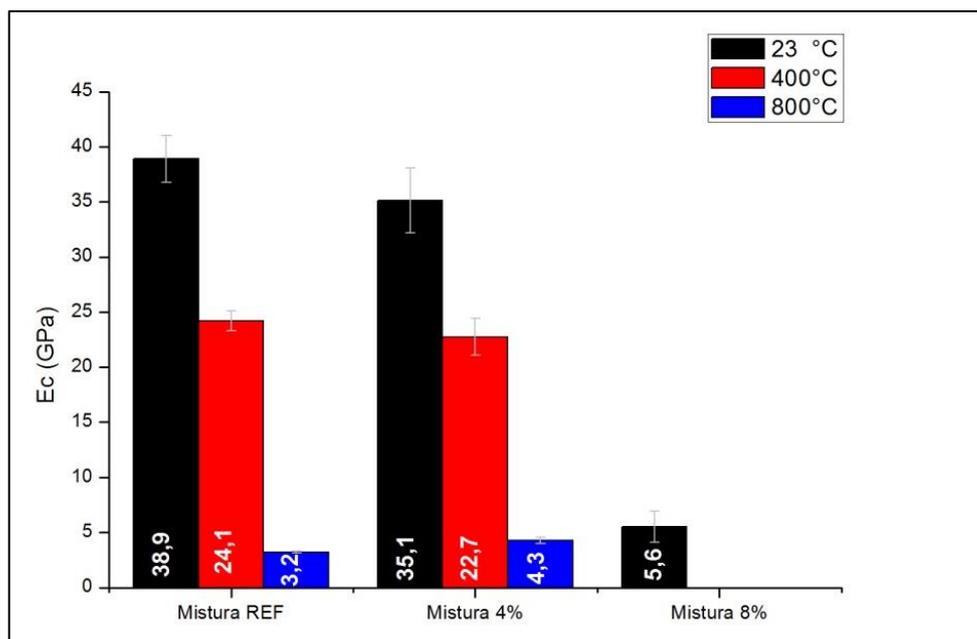


Figura 5. Módulo de Elasticidade.

Para obter o Módulo de Elasticidade do concreto, foi utilizado 30% da tensão da carga de ruptura do ensaio de compressão axial como faixa superior e como faixa inferior foi utilizado 0,5 MPa. Desta forma não foi possível obter o Módulo de Elasticidade dos corpos de prova da Mistura 8% nas temperaturas de 400 e 800°C, de forma que 30% da tensão da carga de ruptura do ensaio de compressão axial fica abaixo da faixa mínima.

Com os resultados obtidos através da ANOVA, é possível afirmar que houve uma redução estatisticamente significativa no Módulo de Elasticidade dos concretos com o aumento da temperatura, sendo que esse comportamento já era esperado, pois, o Módulo de Elasticidade está diretamente ligado à resistência à Compressão Axial do concreto.

Comparando as três misturas em cada patamar de temperatura através da ANOVA, e Teste de Tukey é possível afirmar que a alumina influencia negativamente no Módulo de Elasticidade do concreto a 23 °C, nas adições de 4 e 8%. Na temperatura de 400 °C não ocorreu mudança significativa estatisticamente.

Analisando a Tabela 4 é possível comparar os fatores de redução mínimos do Módulo de Elasticidade fornecidos pela norma NBR 15200 (ABNT, 2012) com os fatores obtidos neste trabalho, foi possível observar que ambos apresentaram a mesma tendência, no entanto é possível afirmar que a Mistura REF e Mistura 4% possuem fatores de redução superiores aos descritos na norma.

Tabela 4. Fator de redução do Módulo de Elasticidade.

Fator de Redução	Temperatura		
	23°C	400°C	800°C
NBR 15200	1	0,72	0,07
Mistura REF	1	0,62	<b>0,08</b>
Mistura 4%	1	0,65	<b>0,12</b>
Mistura 8%	1	-	-

Os resultados apresentados pela difratometria de raios X dos corpos de prova são apresentados na Figura 5. Percebe-se que com o aumento dos patamares de temperatura ocorre a decomposição de alguns compostos do concreto (LIMA, 2005; VIEIRA 2016).

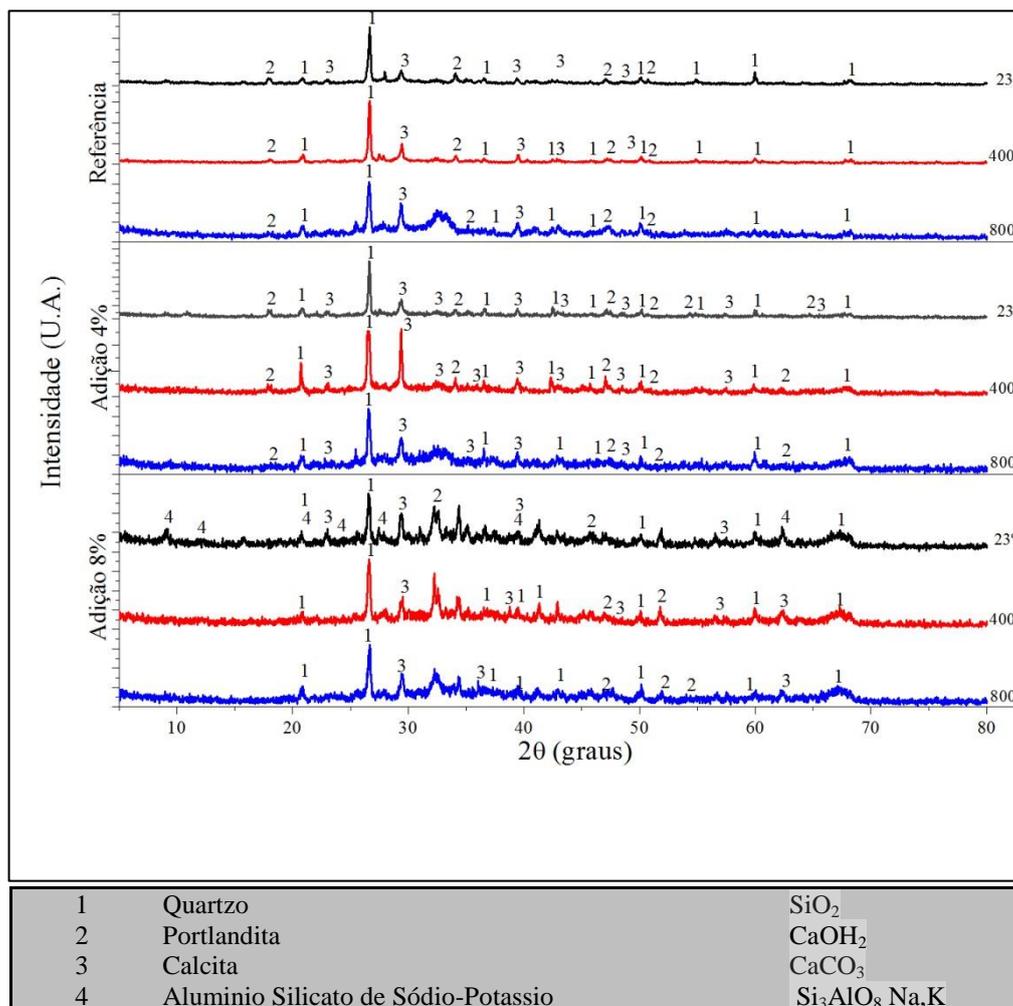


Figura 6. Difractogramas das amostras.

É possível observar a presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) em todas as amostras visto que, a areia e a brita (basalto) possuem essa fase em sua constituição. A presença de alumínio silicato de sódio-potássio ( $\text{Si}_3\text{AlO}_8$ ) (Na,K) se justifica por ser uma fase característica da pedra brita, originado da britagem de uma rocha maior, que pode ser do tipo basalto, granito, gnaise, entre outras (CARDOSO 2017).

A calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), está presente em maior quantidade nas temperaturas mais baixas, com o aumento da temperatura a mesma se decompõe em aproximadamente  $800^\circ\text{C}$  (LIMA, 2005).

É possível observar também a portlandita ( $\text{CaOH}_2$ ), uma das fases que contribuem para a resistência do concreto, isso justifica a maior Resistência a Compressão da Mistura 4%, sendo esta a que apresentou maior quantidade de portlandita. A Mistura 8% que possui menor resistência, também possui uma presença menor de portlandita. (LIMA, 2005; FERNANDES, B. et al., 2017).

Os resultados obtidos através dos espectros de infravermelho das amostras ensaiadas a  $23^\circ\text{C}$  estão apresentados na Figura 6.

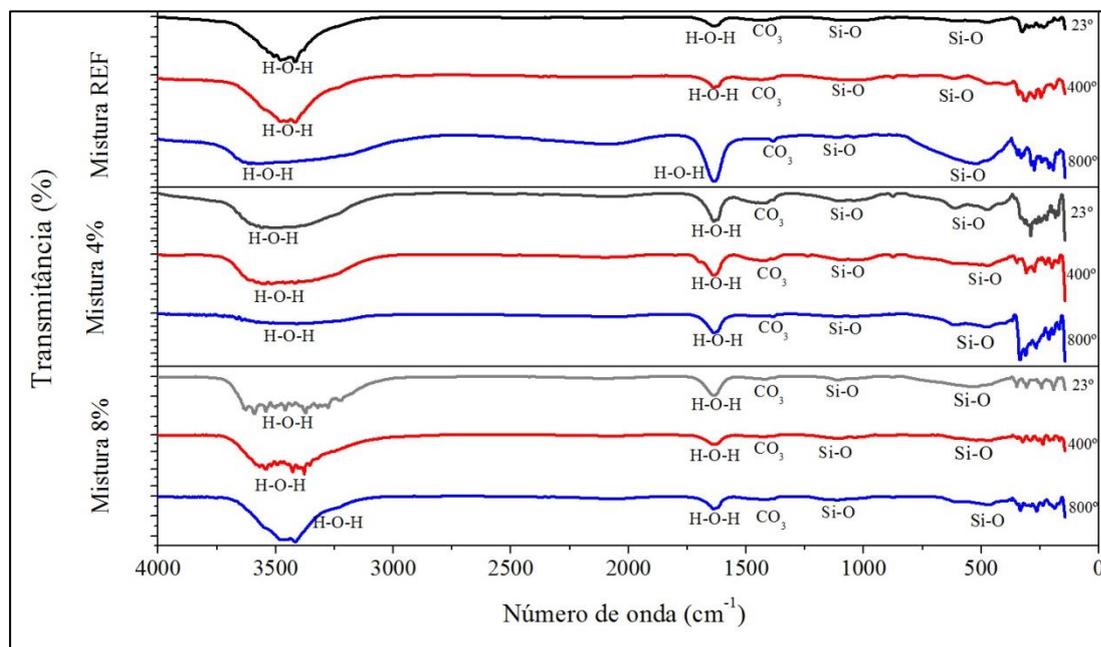


Figura 7. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

O espectro das amostras apresentaram bandas na ordem de  $3470\text{ cm}^{-1}$  e  $1650\text{ cm}^{-1}$  caracterizadas como o estiramento e a vibração da ligação química H-O-H (RODRIGUES, 2013; TERESA & ANÁLIA, 2012), sendo as bandas referentes à água constituinte e

absorvida pelos silicatos de cálcio, com isso pode-se verificar que os misturas expostas a altas temperaturas sofreram desidratação. (PANZERA et al, 2010, ).

As bandas em na ordem de 1000 e 600  $\text{cm}^{-1}$  são referentes às vibrações de alongamento Si-O do quartzo (TORRES, 2013; TREZZA, 2007).

As bandas em próximas a 1420  $\text{cm}^{-1}$  são caracterizadas como o estiramento C-O da calcita (BESSLER & RODRIGUES 2008; RODRIGUES, 2013).

De acordo com Batista (2017) a falta de diferenças significativas nas amostras em temperatura ambiente e as de 400 e 800 °C, pode ter ocorrido devido ao tempo de exposição nestas temperaturas que foi de 30 min. De modo que os corpos de prova foram moídos e as amostras continham material da parte interna e externa dos mesmos, com esse tempo de exposição existe a possibilidade da parte interna do corpos de prova não atingir a mesma temperatura que a parte externa, gerando assim tais resultados.

## Conclusões

No presente estudo analisa a influência da adição de oxido de alumínio nas propriedades físicas, mecânicas e químicas dos concretos submetidos a altas temperaturas. Com base nos resultados obtidos através dos ensaios realizados, pode-se concluir que os concretos estudados perdem gradativamente sua resistência mecânica com o incremento da temperatura. É possível observar que a adição de 4% de alumina influência de forma positiva na resistência a compressão, no entanto a adição de 8% causa perda de resistência.

Ao observar o comportamento do Módulo de Elasticidade é possível constatar redução de valores nas duas adições de 4 e 8% de alumina. Com o incremento da temperatura o Modulo de Elasticidade também é reduzido, esse fato esta associado à perda de resistência e a microfissuração do concreto.

Através da análise de perda de massa é possível observar uma redução devido à perda de água na microestrutura com o aumento da temperatura. Dentre os concretos estudados a Amostra REF e a Amostra 4% apresentaram uma redução de massa semelhante, esta semelhança é observada também na Análise Termogravimétrica (TGA).

As análises microestruturais indicam a decomposição de alguns constituintes do concreto com o incremento da temperatura. É possível observar também através da

difratometria de raio X, uma concentração reduzida de portlandita e calcita, o que reflete nos resultados mecânicos encontrados.

### Sugestões para trabalhos futuros

- ✓ Analisar o comportamento mecânico, químico e físico de concretos com percentual de adição de alumina diferente.
- ✓ Analisar o comportamento mecânico, químico e físico em concretos com resistência diferente.

### Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8826**: Materiais refratários — Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- AZEVEDO de L.F.S.; PAIVA R.A.E.M. **PROCESSAMENTO DE CERÂMICAS POROSAS À BASE DE ALUMINA VISANDO APLICAÇÕES EM ALTAS TEMPERATURAS**. 2014. 8 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal do Maranhão, Cuiabá, 2014.
- BATISTA, Maurício Alves; GODINHO, Daiane dos Santos da Silva. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA RESIDUAL DE CONCRETOS SUBMETIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS POR MEIO DE ANÁLISE MACRO E MICROESTRUTURAL**. 2017. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

BENALI, F. **Thermo-mechanical characterization of a silica-alumina refractory concrete based on calcined algerian kaolin.** *Ceramics International*.v42, n. 8, p.9703-9711, jun. 2016.

Elsevier BV

CAMPOS, Heloisa Gonçalves. **Propriedades mecânicas de compósitos à base de alumina e zircônia com adição de céria.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p 14, 2016.

CARDOSO, Franciellen Alves. **COMPARATIVO DO EFEITO DA TEMPERATURA NA ESTRUTURA SINISTRADA E ÍNTEGRA NO PAÇO MUNICIPAL MARCOS ROVARIS EM CRICIÚMA/SC – ESTUDO DE CASO.** 2017. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

CARDOSO, Lucas Ramos. **Concreto refratário-constituintes, propriedades e aplicações.** Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais, p 13 ,2013.

GRISON, Karine et al. Avaliação das propriedades mecânicas e morfológicas de compósitos de PEAD com pó de *Pinus taeda* e alumina calcinada. **Polímeros**, Porto Alegre, v. 25, n. 4, p.408-413, ago. 2015

COSTA, Carla Neves. **Dimensionamento de Elementos de Concreto Armado em Situação de Incêndio.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, p. 93 – 145, 2008.

COSTA, Carla Neves; FIGUEIREDO, Antônio Domingues de; SILVA, Valdir Pignatta. **Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas.** Seminário internacional núcleo de pesquisa em tecnologia da arquitetura e urbanismo, São Paulo, p.1, 2002.

FERNANDES, B. et al. Microstructure of concrete subjected to elevated temperatures: physico-chemical changes and analysis techniques. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 10, n. 4, p.838-863, ago. 2017.

FIGUEREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras.** 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GRISON, Karine; TURELLA, Taís Caroline; SCIENZA, Lisete Cristine and ZATTERA, Ademir José. **Avaliação das propriedades mecânicas e morfológicas de compósitos de PEAD com pó de *Pinus taeda* e alumina calcinada.** *Polímeros*. 2015, vol.25, n.4, pp.408-413.

LIMA R. C. A., KIRCHHOF L.D., CASONATO C.A., SILVA FILHO L. C. P.. **Efeito de Altas Temperaturas no Concreto**. Artigo - Grupo de Pesquisas LEME - UFRGS. In: II Seminário de patologia das Edificações. Porto Alegre, 2004.

LIMA, Rogerio Cattelan Antochaves de. **Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p 23, 2005.

OLIVEIRA, Gabriele; CREPALDI, Avelino. **CIMENTO ALUMINOSO: CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES**. 2016. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de São Paulo, São Paulo, 2016.

PANZERA, T. H. et al. **Propriedades Mecânicas de Materiais Compósitos a Base de Cimento Portland e Resina Epóxi**. Cerâmica. São Paulo, v. 56, n. 337, p. 77-82, Mar. 2010. Disponível em: . Acesso em: 20 Out. 2018.

RIPANI, Marianela et al. **Thermodynamic gradient-based poroplastic theory for concrete under high temperatures**. International Journal of Plasticity, Buenos Aires, v. 61, p. 157-177, 2014.

ROCHA, Rochanna Alves. EFEITO DA ALTA TEMPERATURA EM CONCRETOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA. **Interscientia**, João Pessoa, v. 6, n. 14, p.211-227, 18 jul. 2008. Anual

RODRIGUES, Paula Nader. **Caracterização das argamassas históricas da ruína de São Miguel Arcanjo/RS**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SILVA, Daiane dos Santos da. **PROPRIEDADES MECÂNICAS RESIDUAIS APÓS INCÊNDIO DE CONCRETOS USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL NA GRANDE FLORIANÓPOLIS**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009

SOUSA, Leovegildo Douglas Pereira de. **Análise do comportamento estrutural de vigas de concreto armado submetidas as altas temperaturas utilizando a metodologia de planejamento fatorial**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

NEVILLE, A.M. (1997) Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: Pini.

TORRES, Júlia Cristina de Lima. **Obtenção de emulsões asfálticas convencionais e modificadas com argilas e nanoargilas**. 2013. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natau.

TREZZA, Monica Adriana. **Hydration Study of Ordinary Portland Cement in the Presence of Zinc Ions**. Mat. Res. São Carlos, v.10, n.4, pp.331-334, Dec. 2007. Disponível em: . Acesso em: 20 out. 2018.

VIEIRA, Andreia. **Análise macro e microestrutural do comportamento do concreto reforçado com fibras de polipropileno submetido a elevadas temperaturas**. 2016. 22 f. Artigo (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.