

Análise residual e macroestrutural do comportamento do concreto adicionado com fibras de polipropileno submetido a elevadas temperaturas

Marcos Tramontin ¹,

Daiane Dos Santos Da Silva Godinho ²,

Davi Marcelo Rodrigues Martins ³,

Juliana Magnus ⁴,

Ezequiel de Oliveira ⁵.

Resumo: A utilização de fibras adicionadas ao concreto tem o intuito de melhorar as suas propriedades, as fibras tem tido papel de destaque nos últimos anos, sendo objeto estudo em muitas pesquisas. As fibras de polipropileno são empregadas principalmente para minimizar o aparecimento das fissuras originadas pela retração do concreto. O presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento do concreto C50 com a adição de fibras de polipropileno exposto a altas temperaturas. Os corpos de provas foram expostos a um aquecimento de 200 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C e 900 °C, simulando uma situação de incêndio através da moldagem de corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e comparados com uma amostra de referência sem incorporação de fibras. Foram realizados os ensaios de perda de massa, resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral. Os resultados mostram que a adição de fibras interfere na trabalhabilidade do concreto. Dessa forma, as fibras afetaram de forma negativa as propriedades mecânicas, reduzindo tanto a resistência a tração como a resistência à compressão do concreto, assim como também diminuiu seu módulo de elasticidade.

Palavras-chave: concreto, fibras de polipropileno, altas temperaturas, propriedades mecânicas, macroestrutura.

Residual and macrostructural analysis of the behavior of concrete added with polypropylene fibers subjected to high temperatures

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da UNESC. mtramontin35@gmail.com

² Professor do Curso de Engenharia Civil da UNESC, dss@unesc.net

³ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da UNESC, davimarceloroma@hotmail.com

⁴ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da UNESC, julianamagnus1@hotmail.com

⁵ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da UNESC, zeqoliveira@gmail.com

Abstract: The use of fibers added to concrete has the intention of improving its properties, as the fibers have been highlighted in the last years, being the object of study in many researches. Polypropylene fibers are used mainly to minimize the appearance of cracks caused by the shrinkage of the concrete. This work aimed to study the behavior of C50 concrete with the addition of polypropylene fibers exposed to high temperatures. The specimens were exposed to a heating of 200 ° C, 300 ° C, 500 ° C, 700 ° C and 900 ° C, simulating a fire situation by molding cylindrical specimens with 10 cm in diameter and 20 cm in height and compared to a reference sample without incorporation of fibers. Mass loss tests, axial compression strength, elasticity modulus and tensile strength by diametrical compression were carried out. The results show that the addition of fibers interferes with the workability of the concrete. Thus, the fibers negatively affected the mechanical properties, reducing both the tensile strength and the compressive strength of the concrete, as well as decreasing its elasticity modulus.

Key-words: Concrete, polypropylene fibers, high temperature, mechanical properties, macrostructure.

Introdução

Atualmente várias pesquisas estão direcionadas para conhecer os efeitos de altas temperaturas nos concretos de alta resistência. Tem-se observado perda de rigidez da estrutura, mudanças físicas dos materiais constituintes do concreto, perda de massa e alterações microestruturais, quando os mesmos são submetidos ao aquecimento. Além disso, as dilatações e retrações térmicas promovem mudança de volume que resultam em altas tensões internas levando a microfissuração e redução da resistência mecânica. (Castro et al., 2011).

Os efeitos da elevação da temperatura no concreto promovem a degradação da estrutura por meio de fissuras, esfarinhamentos e lascamentos (*spalling*) que podem levar ao colapso da estrutura. O termo *spalling* é conhecido por ser o deslocamento e o lascamento explosivo ou não explosivo de camadas da superfície do concreto quando exposto a altas temperaturas e elevadas taxas de aquecimento. (BULLETIN, 2007 apud BRITZ, 2011).

Uma alternativa para a redução desses problemas pode ser através da criação de canais para evacuar os gases gerados durante o aquecimento, incorporando fibras de polipropileno na matriz cimentícia. Essas fibras se fundem em aproximadamente 170 °C e deixam uma rede de canais que levam os gases até a superfície, contribuindo para a redução da pressão interna. (HAGER, 2013, p.08).

O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento do concreto com a adição de fibras de polipropileno exposto a altas temperaturas em concreto C50 baseado em trabalho já realizado no ano de 2016 por Vieira, com o intuito de dar continuidade as pesquisas.

Materiais e métodos

Conforme o fluxograma (Figura 1) foi realizado estudo experimental baseado nas normas técnicas da ABNT NBR 15200:2011, NBR 5738:2003, NBR 5739:2007, NBR 8522:2003 e NBR 9939:2011. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) no IDT/UNESC.

Foi realizada a escolha do traço baseado em trabalhos já realizado no ano de 2016 por Vieira, com o intuito de dar continuidade às pesquisas.

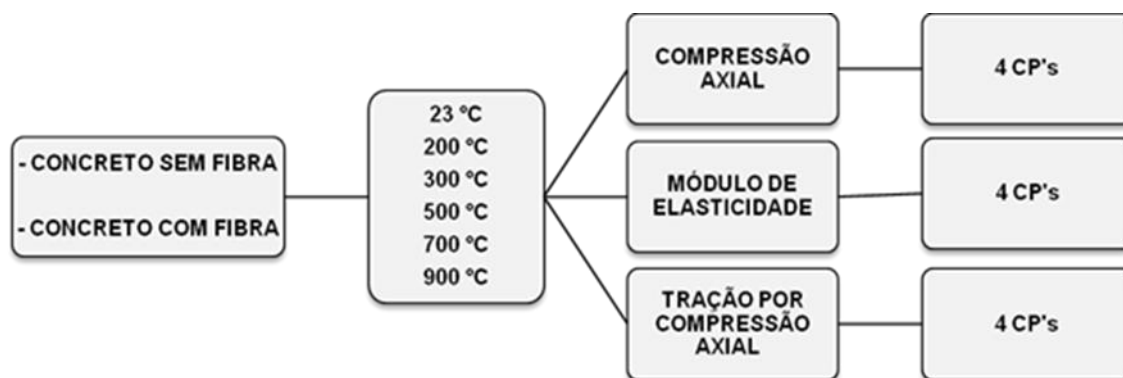


Figura 1. Fluxograma Experimental.

Na Tabela 1 são apresentados os materiais utilizados na pesquisa e suas características. O concreto produzido foi dosado para atingir uma resistência de 50 MPa. O traço referência foi de 1:1,7:2,3 com fator água cimento de 0,42. Foram adicionadas as amostras um teor de 0,5% de fibra de polipropileno no volume total do concreto conforme estudo realizado por Bonifácio (2014), com exceção dos corpos-de-prova que serviram de referência e 0,2% de aditivo Hiper Plastificante para ter uma boa trabalhabilidade no concreto com adição da fibra.

Tabela 1. Propriedades dos Materiais

Material	Tipo	Dimensão máxima característica	Densidade g/cm³
Cimento	CP IV-32	-	2,82
Agregado Graúdo	Brita	19	2,83
Agregado Miúdo	Areia média	6,3	2,54
Fibra	Polipropileno	-	0,90
Hiper Plastificante	TEC-FLOW 8000	-	1,1

A Tabela 2 apresenta o quantitativo dos materiais utilizados para a produção dos corpos de prova para cada traço.

Tabela 2. Quantidade de materiais para a produção das amostras

Material	Traço 01 Referência (kg)	Traço 02 Polipropileno (kg)
Cimento	65,02	65,02
Areia	110,54	110,54
Brita	149,58	149,58
Água	27,32	27,32
Fibra de Polipropileno	-	0,63
Hiper plastificante	-	0,135
Quantidade de CP's	72	72

A concretagem foi realizada com o auxílio uma betoneira de 400 litros. Foram moldados 72 corpos de prova cilíndricos para cada traço com dimensões 10x20 cm, totalizando 144 amostras. A moldagem foi realizada por adensamento manual, respeitando-se as orientações da NBR 5738:2003, sendo verificado o abatimento dos traços através do ensaio de slump test, para a verificação da consistência do concreto.

Após a moldagem foi aguardado um tempo de 24 horas para a desmoldagem dos corpos de prova e posteriormente os mesmos permaneceram em cura submersa por 60 dias, sendo retirados e armazenados em ambiente de laboratório por mais 30 dias. Todo o processo de produção, seleção do material, secagem, pesagem, preparação dos moldes, moldagem, e cura dos corpos de prova foi realizado no LMCC – IDT/UNESC.

Após a cura de 90 dias, mesmo tempo utilizado por Vieira (2016), os corpos de prova foram aquecidos a 5 (cinco) níveis de temperatura: 200 °C, 300 °C, 500 °C, 700 °C e 900 °C, a uma taxa de aquecimento recomendada por Rilem (2000 apud SILVA, 2009) para concreto material de 3°C/min até atingir o patamar desejado. Após atingirem a temperatura os corpos de prova permaneceram expostos por mais 30 min. Ao se atingir o patamar de tempo e temperatura desejada a mufla foi desligada e permaneceu fechada por 24 horas para obter o resfriamento lento. Não foi possível simular o resfriamento brusco com água como acontece em uma situação real, pois a mufla não pode ser aberta em temperaturas maiores que 250 °C. O resfriamento brusco de uma estrutura pode ser responsável por seus maiores danos. Quando é realizado o resfriamento lento existe a possibilidade de recuperação das estruturas de 90%. (MORALES et al, 2011).

O equipamento utilizado para aquecimento foi um forno mufla CT095 com controle digital de temperatura, dimensões de 500x470x500 mm e capacidade de aquecimento de até 1200 °C.

A perda de massa dos corpos de prova ocorrida durante o ensaio foi determinada pela diferença entre as massas antes do aquecimento e 24 horas após, empregando-se a equação abaixo:

$$P_m = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

em que:

P_m = a perda de massa do corpo de prova (%)

M_1 = massa do corpo de prova de referência (kg), antes do aquecimento;

M_2 = massa do corpo de prova 24 horas após ser exposto a altas temperaturas (kg).

A balança usada para a pesagem dos corpos de prova foi da marca Marte, modelo AS 10000 com capacidade de 10000 g, disponibilizada pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) – IDT/UNESC.

No ensaio de resistência à compressão foram utilizados 4 (quatro) corpos de prova para cada traço e temperatura totalizando 48 corpos de prova. Após serem submetidos aos diferentes patamares de temperatura os corpos de prova foram submetidos à força axial distribuída uniformemente em toda a sua seção transversal.

Os ensaios para a determinação da resistência à compressão axial foram realizados de acordo com as orientações da NBR 5739:2007. O equipamento utilizado foi prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200I, com capacidade máxima de 200 toneladas, juntamente com um computador utilizando o software TESC - Test Script, que fornece recursos para leitura e obtenção de resultados dos ensaios. A carga foi aplicada de forma contínua até que ocorresse uma queda na força de carregamento indicada no equipamento, a do corpo de prova.

A determinação do Módulo de Elasticidade do concreto é mais complexa em relação à determinação da sua resistência à compressão por isso a maioria dos projetos utiliza o valor obtido para o módulo de elasticidade através de equações empíricas tomando como variável a Resistência à Compressão Axial.

O ensaio do módulo de elasticidade foi realizado conforme a NBR 8522:2003, sendo a medição da deformação dos corpos-de-prova feita por dois extensômetros eletrônicos acoplados à prensa.

Para este ensaio foram utilizados quatro corpos de prova para cada traço e temperatura totalizando 48 corpos de prova, após serem submetidos aos diferentes patamares de temperatura.

O equipamento utilizado foi prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200I, com capacidade máxima de 200 toneladas, juntamente com um computador utilizando o software TESC - Test Script, que fornece recursos para leitura e obtenção de resultados dos ensaios.

Após a centralização do corpo de prova em relação à prensa, foi iniciada a aplicação da carga. O carregamento se dá por meio de ciclos, que consistem em aplicar a carga de maneira crescente até atingir a carga correspondente a 30% da resistência de ruptura do mesmo, que é mantida por 60 segundos, até que a carga seja reduzida com a mesma velocidade com que foi aplicada, e atinja a tensão básica estabelecida em 0,5 MPa, permanecendo nessa condição também por um período de 60 segundos.

Esse ciclo de pré-carrega é realizado três vezes antes da aplicação final, sendo que no último ciclo é realizada a leitura das deformações sofridas pelo concreto, lidas em um tempo máximo de 30 segundos. A partir desse processo de carregamento de cargas em ciclos, foi gerado o relatório de resultados do ensaio dos módulos de elasticidade dos dois traços de concreto estudado.

O ensaio de Tração por Compressão Diametral é um método indireto para obtenção da resistência à tração do concreto, realizado conforme o método NBR 7222:2011, da ABNT.

Para este ensaio foram utilizados 4 (quatro) corpos de prova para cada traço e temperatura totalizando 48 corpos de prova, após serem submetidos aos diferentes patamares de temperatura.

O Equipamento utilizado foi prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200I, com capacidade máxima de 2000 kN, juntamente com um computador utilizando o software TESC - Test Script, que fornece recursos para leitura e obtenção de resultados dos ensaios compressão, porém foi acoplado à prensa um par de placas metálicas retangulares.

Em seguida, verificou-se visualmente a retilineidade das geratrizes de contato com ambas as placas e utilizou-se como ligação entre elas duas taliscas de madeira. Então a carga de compressão foi aplicada progressivamente, até haver a ruptura da amostra no plano vertical diametral.

Resultados e discussões

A Figura 2 ilustra os valores das massas dos corpos de prova durante o aquecimento. De acordo com a Figura 2 pode-se observar que a temperatura influencia no percentual de perda de massa de modo geral. Ao analisar os concretos com e sem fibra, nota-se que eles apresentaram o mesmo comportamento de perda de massa sendo que a diferença entre eles não foi significativa de acordo com a análise de variância estatística ANOVA.

A perda de massa na temperatura de 900 °C foi de aproximadamente 31% para os corpos de provas que tiveram adição de fibra em relação a temperatura de 23°C e de 30% para os corpos de provas sem adição de fibra; em 700 °C a perda de massa foi de aproximadamente 25% para os CP's com fibra e 23% para os sem fibra; aos 500 °C a perda de massa foi de 24%

para os CP's com fibra e 22% para os sem fibra; em 400 °C ocorre a inversão das perdas de massa. Aos 300 °C a perda de massa para os CP's sem adição de fibra foi de 6% e para os com CP's com adição de fibra foi 5% e aos 200 °C a perda de massa foi a mesma para ambos, aproximadamente 3%.

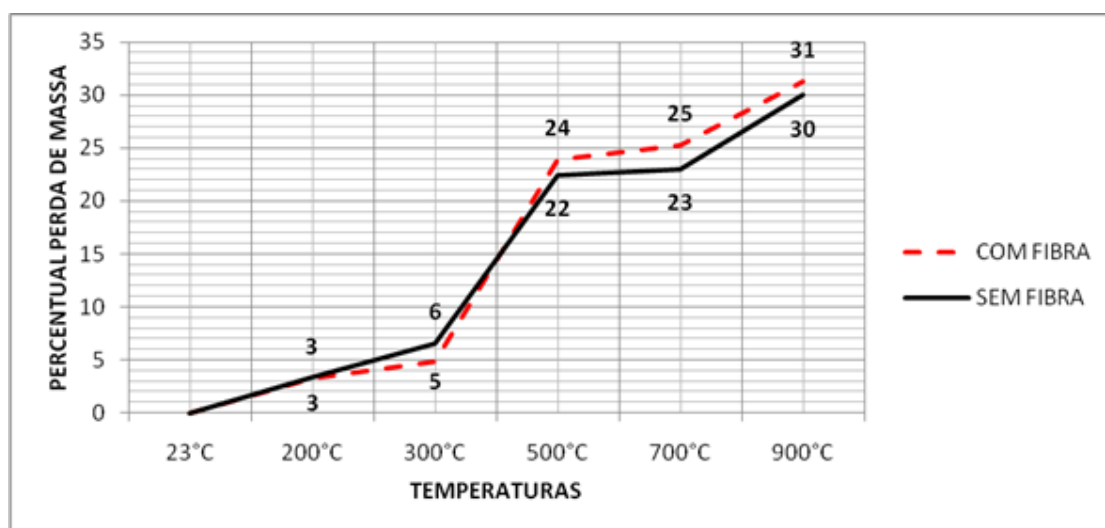


Figura 2. Perda de massa

Segundo Fernandes et al., (2017), sob altas temperaturas o processo de degradação se inicia com a decomposição da Etringita a 80 °C, na sequência com o aumento da temperatura a pasta de cimento inicia o processo de desidratação. Inicialmente como a evaporação das águas capilares seguido pela evaporação das águas lamelares.

Para Cardoso (2017) em torno de 400 °C observa-se a desidratação final do C-S-H. Segundo Hager (2013), em 500 °C ocorre a desidratação da Portlandita (Ca(OH)_2). Que justifica a curva acentuada de perda de massa nesta faixa de temperatura. Aos 670 °C ocorre a descarbonatação da Calcita (CaCO_3), resultando na liberação de gás carbônico (CO_2) e formação de óxido de cálcio (CaO).

Segundo Pandolfelli, Tiba & Castro (2011), a perda de massa acima dos 700 °C pode estar relacionada à decomposição da pasta de cimento e agregados.

A Figura 3 ilustra os resultados de compressão axial após o aquecimento dos corpos de prova.

Ao analisar a Figura 3 pode-se observar um comportamento de redução na resistência de acordo com o aumento da temperatura para os concretos com e sem adição de fibras de polipropileno.

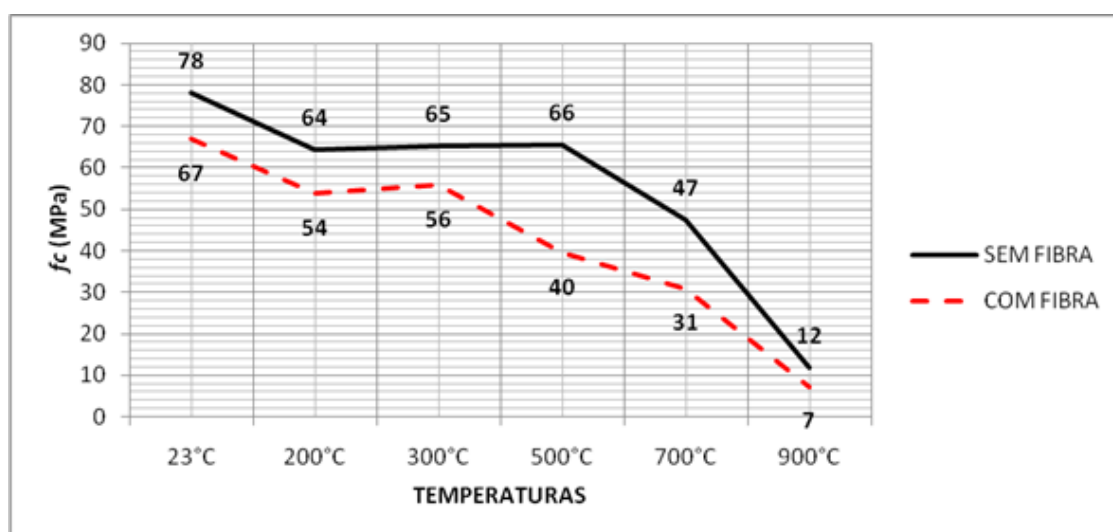


Figura 3. Resistência à Compressão Axial

Os corpos de provas sem adição de fibra tiveram uma redução total da sua resistência inicial de 84,62% a temperatura de 900°C, já os corpos de provas com adição de fibra tiveram uma redução total em sua resistência inicial de 89,55% a temperatura de 900°C.

Em 23 °C observou-se uma diferença de resistência entre os corpos de provas com e sem adição de fibra, mesmo não sendo expostos a elevadas temperaturas e tendo sido utilizado o mesmo traço, eles apresentaram divergência em sua resistência inicial. Na faixa de temperatura de 300 °C ocorre um acréscimo de resistência quando comparado com a resistência obtida em 200 °C. Esse acréscimo foi de 3,5% para o concreto com fibra e de 1,54% para o concreto sem fibra. A partir de 300 °C a resistência do concreto com fibra começa a decair significativamente, enquanto que o concreto sem fibra só apresenta queda brusca a partir de 500 °C.

O acréscimo de resistência entre 200 °C e 300 °C pode estar ligado à maturação do concreto de pequena idade ou devido ao aumento das forças de Van der Waals decorrente da

maior proximidade das partículas de gel após a evaporação da água livre. Cardoso (2017, apud LIMA 2005 e ALMEIDA 2017).

A NBR 15200:2012 apresenta valores mínimos de fator de redução da resistência do concreto, por sua vez não especifica a resistência para tais valores de redução em função da temperatura, sendo uma referência muito importante para consideração, ainda em projeto, do comportamento de elementos estruturais após exposição e diferentes patamares de temperaturas, por sua vez não especifica a resistência para tais valores de redução.

A Figura 4 apresenta um comparativo entre o fator de redução da resistência estipulado pela norma e os valores obtidos para os corpos de provas com adição de fibra e sem adição de fibra.

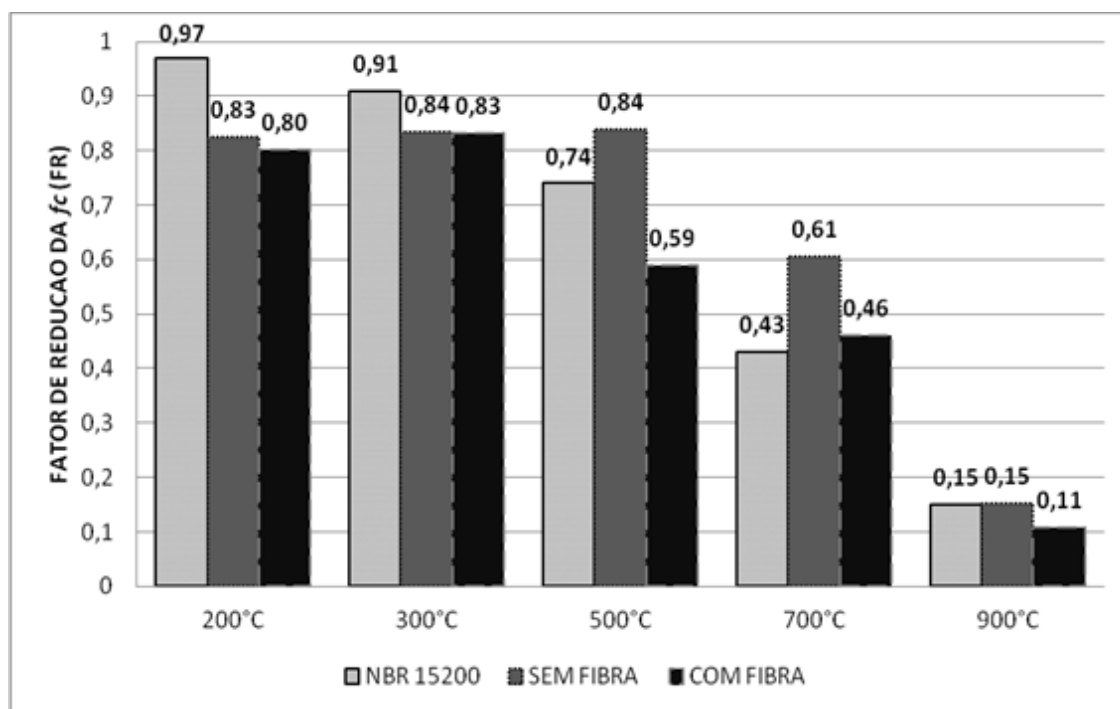


Figura 4. Fator de Redução da Resistência à Compressão Axial

Fazendo uma análise comparativa entre os resultados obtidos da pesquisa e os fatores previstos pela norma, foi possível observar que ambos apresentaram a mesma tendência no intervalo de temperatura entre 200 °C e 300 °C. Na faixa de temperatura de 500 °C, observou-se a inversão desses valores, o concreto sem fibra teve uma redução menor do que a prevista

em norma e o concreto com fibra teve um redução de sua resistência elevada, quase que reduzindo pela metade sua resistência inicial. Na faixa de temperatura de 700 °C, o concreto sem fibra mantém-se com redução menor quando comparado ao estipulado em norma. Em 900 °C a redução da resistência não obteve diferenças significativas.

A Figura 5 ilustra os resultados do módulo de elasticidade dos corpos de provas após o aquecimento.

A Figura 6 ilustra o fator de redução de acordo com a NBR 15200:2004 que apresenta valores paramétricos de fator de redução do módulo de elasticidade do concreto em função da temperatura.

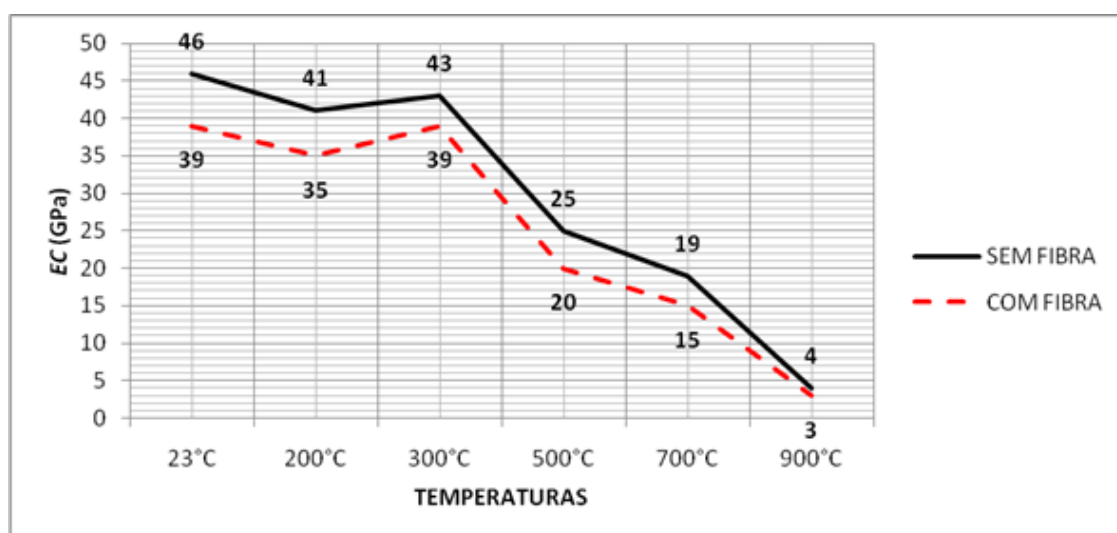


Figura 5. Módulo de Elasticidade

Assim como nos resultados do ensaio de compressão axial, à medida que se elevou a temperatura os corpos de provas com adição de fibras também tiveram uma queda nos resultados comparados ao traço de referência.

É possível observar que existe redução do módulo de elasticidade com o aumento gradativo da temperatura, entretanto na faixa de temperatura entre 200 °C e 300 °C, observou-se um aumento no módulo de elasticidade, indo de encontro com os resultados citados anteriormente.

Tal situação justifica-se pela literatura exposta em Cardoso 2017, o acréscimo da resistência do concreto aquecido em 200 °C pode estar ligado à maturação do concreto de pequena idade igual que na compressão axial como já foi explicado acima.

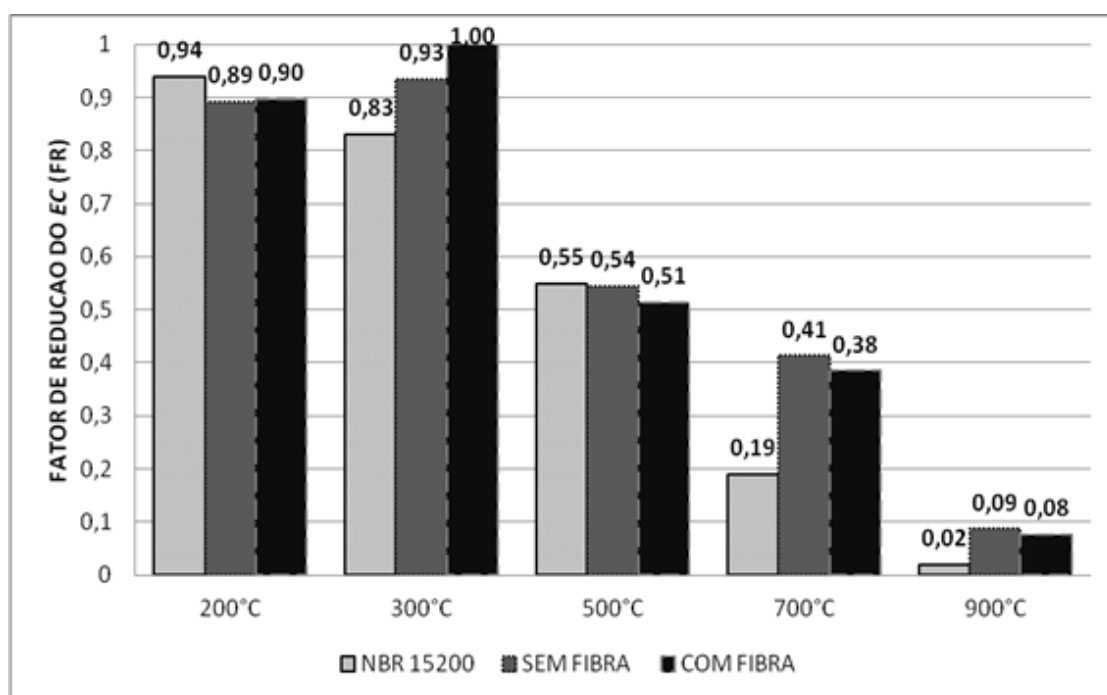


Figura 6 – Fator de Redução do Módulo de Elasticidade

A partir dos 300 °C a redução se intensifica até o patamar de temperatura de 900°C, onde tende a atingir 0 (zero). A redução se mantém quase que paralela entre os corpos de provas com e sem adição de fibra, nessa faixa de temperatura entre 300 °C e 900 °C.

Segundo Cardoso (2017 apud SOUZA, 2016) o colapso de uma estrutura submetida a altas temperaturas pode ocorrer através do conjunto: temperatura máxima atingida, tempo de exposição, traço do concreto, tipo da estrutura e velocidade do resfriamento. Destaca-se também o fato de o concreto ser praticamente incombustível e não exalar gases tóxicos ao ser aquecido.

No entanto, o aumento da temperatura nos elementos de concreto causa redução de sua resistência e de seu módulo de elasticidade, levando a uma redução da rigidez da estrutura.

A Figura 7 ilustra os resultados de resistência à tração por compressão diametral após o aquecimento dos corpos de prova.

Através da análise estatística de variância (ANOVA), os resultados obtidos apresentaram uma redução significativa na resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova com adição de fibra de polipropileno e dos corpos de prova de referência.

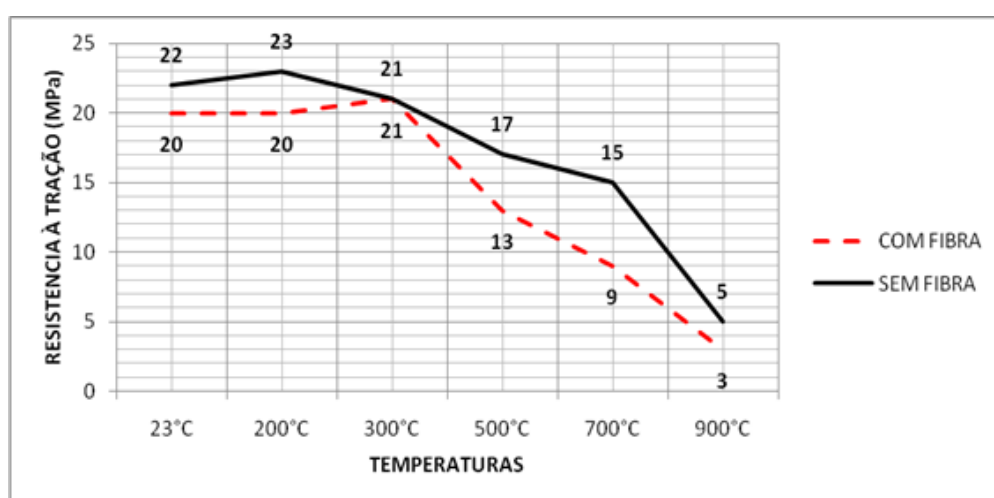


Figura 7. Resistência à Tração por Compressão Diametral

O concreto sem adição de fibra teve uma redução total de 77,27% com relação a temperatura de 23°C e o concreto com adição de fibra teve uma redução total de 85% com relação a temperatura de 23°C em sua resistência à tração por compressão diametral.

O concreto com adição de fibras de polipropileno apresentou resistência à tração na compressão diametral inferior ao concreto de referência sem fibras. Esta redução pode ser explicada pela fusão das fibras que ocorre na temperatura de 170 °C, assim deixando espaços vazios e reduzindo área de concreto.

Observou-se através do teste Tukey redução expressiva na resistência de tração por compressão diametral a partir dos 300°C, tendo queda expressiva em sua resistência. Sendo que os resultados já discutidos anteriormente também apresentaram redução na resistência e no módulo de elasticidade nessa faixa de temperatura.

Segundo Castro et al. (2011), verifica-se que o comportamento de concretos expostos às altas temperaturas é bastante distinto da perda gradual normalmente observada para a resistência à compressão. Isso porque com o aumento da temperatura são criadas microfissuras, juntamente com a decomposição do Ca(OH)_2 e de outros hidratos. Dessa forma a resistência à tração do concreto é mais sensível a elevadas temperaturas e formação de fissuras quando comparada a resistência à compressão axial.

Conclusões

Com base nos resultados desta pesquisa, pode-se observar que o concreto submetido a elevadas temperaturas perde significativamente sua resistência mecânica que se intensifica a partir dos 300 °C. Neste nível de temperatura ocorre a dissociação do C-S-H em CaO e água, visto que a principal função do C-S-H é manter a pasta de cimento unida por meio de ligações químicas e das forças coesivas de Van der Waals, contribuindo satisfatoriamente para a resistência do concreto.

A adição de fibras de polipropileno apresentou inferioridade em todos os ensaios realizados, apresentando maior perda de massa e menor resistência à compressão axial e a tração por compressão, não contribuindo significativamente no estudo.

O módulo de elasticidade foi reduzido com a adição de fibras, pois o módulo de elasticidade está diretamente ligado à resistência à compressão axial do concreto.

Tal situação pode estar associada ao fato de o concreto quando adicionado de fibra, apresenta uma menor trabalhabilidade no momento de moldagem dos corpos de prova de concreto, ocasionado uma possível concentração de ar na mistura ou ainda nichos de concretagens, funcionando como pontos de fragilidade na estrutura, resultando na diminuição da resistência.



Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.

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 7222:** Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformações e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939:** Agregado graúdo: Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

CARDOSO, F. **Comportamento do efeito da temperatura na estrutura sinistrada e integra no paço municipal Marcos Rovaris em Criciúma/SC – Estudo de caso.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

CASTRO, A. L. de; TIBA, P. R. T.; PANDOLFELLI, V. C. **Fibras de polipropileno e sua influência no comportamento de concretos expostos a altas temperaturas - Revisão.** Scielo: Cerâmica, São Paulo, v. 57, n. 341, p.22-31, mar. 2011.

FERNANDES, B.; GIL, A. M.; BOLINA, F. L. and TUTIKIAN, B. F. Microestrutura do concreto submetido a altas temperaturas: alterações físico-químicas e técnicas de análise. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** 2017, Vol.10, n.4, pp.838-863.

HAGER, B. **Of Cement Concrete At High Temperature.** Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences, Vol 61, n.1, Technical Siences, 2013, 10 p.

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

MORALES, G; CAMPOS, A.; FAGANELLO, A. M. P. **The action of the fire on the components of the concrete.**

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. p.401-407.



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

VIEIRA, A. **Análise macro e microestrutural do comportamento do concreto reforçado com fibras de polipropileno submetido a elevadas temperaturas.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense.