



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS
DE POLIPROPILENO SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS**

Diana de Castro

Lajeado, novembro de 2017.

Diana de Castro

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS DE POLIPROPILENO SUBMETIDO A ALTAS
TEMPERATURAS**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Marcelo Ferreira

Lajeado, novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar uma experiência tão gratificante quanto o curso da Engenharia Civil.

Agradeço também ao meu orientador professor Marcelo, pela paciência, pelas orientações e preocupação com os resultados do trabalho.

Agradeço, em especial, à professora Débora, que sempre foi muito prestativa ao auxiliar e ajudar quando mais precisei.

À minha família, que muitas vezes me incentivou e não deixou que eu desistisse da minha carreira profissional.

Em especial, ao meu companheiro Eduardo que sempre esteve presente ao meu lado, incentivando, ajudando e colaborando para o término desta caminhada.

E por fim a todos os laboratoristas do LATEC da Univates, em especial ao Rodrigo e ao Fernando, por estarem sempre prontos para auxiliar na execução dos testes deste estudo de pesquisa, não medindo forças para que tudo fosse como o esperado.

RESUMO

O crescimento tecnológico, quando aliado ao conhecimento humano das técnicas de construção, impõe a este a necessidade de constantes aprimoramentos, no que diz respeito a materiais estruturais utilizados na construção civil. A busca por materiais que consigam desempenhar todas as características que uma obra necessita com o menor preço é o grande desafio da construção civil. A Ciência dos Materiais aplicada à tecnologia de confecção de concreto propicia a expectativa de um produto com características superiores em relação à resistência, tenacidade e elasticidade, comparados com os materiais disponíveis atualmente. No presente trabalho será estudado o comportamento dos concretos com adição de fibras de polipropileno monofilamentadas, quando submetidos a altas temperaturas, observando os critérios de resistência obtidos depois da exposição ao calor.

Palavras chaves: Concreto. Resistência. Cimento Portland. Materiais. Fibras de polipropileno. Alta temperatura.

ABSTRACT

Technological growth, when combined with the human knowledge of construction techniques, imposes on the latter the need for constant improvements, as regards structural materials used in civil construction. The search for materials that can fulfill all the characteristics that a work needs at the lowest price is the great challenge of civil construction. The Materials Science applied to the technology of concrete making propitiates the expectation of a product with superior characteristics in relation to the resistance, tenacity and elasticity, compared with the materials currently available. In the present work the behavior of the concrete with addition of monofilamentated polypropylene fibers will be studied, when submitted to high temperatures, observing the resistance criteria obtained after exposure to heat.

Key words: Concrete. Resistance. Portland cement. Materials. Polypropylene fibers. High temperature.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Cimento Portland de Alto-forno
ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de Prova
CPB	Cimento Portland Branco
CPC	Cimento Portland Comum
CPE	Cimento Portland Comum com Escória
CPS	Cimento Portland Comum Simples
CPZ	Cimento Portland Comum com Pozolana
CRF	Concreto Reforçado com Fibras
CSH	Silicato de Cálcio Hidratado
FRC	<i>"Fiber-Reinforced Concrete"</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
Mm	Milímetro (correspondente a um metro multiplicado por 10^{-3})
Mpa	MegaPascal (corresponde a um Pascal multiplicado por 10^6)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
°C	Graus Celsius
POZ	Cimento Portland Pozolânico
PP	Polipropileno
Tc	Temperatura de cristalização

Tg Temperatura de Transição Vítrea
Tm Temperatura de Fusão Cristalín

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Incêndio Edifício Andraus, São Paulo, 1972	16
Figura 02 - Incêndio Edifício Joelma, São Paulo, 1974.....	17
Figura 03 - Incêndio Lojas Renner, Porto Alegre, 1976	18
Figura 04 - Microfibra de polipropileno monofilamentada.....	43
Figura 05 - Microfibra de polipropileno fibrilada.....	44
Figura 06 - Macrofibra de polipropileno.....	44
Figura 07 - Mecanismo de aumento de tenacidade à flexão do concreto com fibras.....	47
Figura 08 - Imagem dos Cp's moldados Traço 1 e 2.....	54
Figura 09 - Moldagem dos Cp's Traço 3	55
Figura 10 - Moldagem dos Cp's Traço A.....	58
Figura 11 - Moldagem dos Cp's traço B, C e D	58
Figura 12 - Procedimentos para o ensaio de abatimento <i>Slump Tes</i>	60
Figura 13 - Cp's na câmara úmida por um período de 28 dias.....	61
Figura 14 - Câmara de secagem.....	61
Figura 15 - Câmara mufla.....	62
Figura 16 - Prensa empregada para o rompimento dos CP's	63
Figura 17 - Cp's cilíndricos aquecidos a 200 °C	89
Figura 18 - Cp's cilíndricos aquecidos a 400°C.....	90
Figura 19 - Cps's cilíndricos aquecidos a 600 °C.	91
Figura 20 - Cp's prismáticos aquecidos a 200 °C.....	91

Figura 21 - Cp's prismáticos aquecidos a 400 °C.....	92
Figura 22 - Cp's prismáticos aquecidos a 600 °C.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Algumas características especificadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para cimentos brasileiros	32
Tabela 02 - Composição do cimento CP IV	33
Tabela 03 - Resistência e sua relação com a elevação da temperatura	39
Tabela 04 - Mudanças que ocorrem no concreto com ao aumento da temperatura	40
Tabela 05 - Massa específica e massa unitária da areia	51
Tabela 06 - Massa específica e massa unitária da brita	52
Tabela 07 - Traços do concreto com a adição de fibras de polipropileno	53
Tabela 08 - Quantidade do material utilizado no teste piloto	53
Tabela 09 - Adaptação do traço de maior resistência do concreto com a adição de fibras de polipropileno monofilamentadas	55
Tabela 10 - Quantidade de material utilizado na mistura	56
Tabela 11 - Quantidade de corpos-de-prova moldados	57
Tabela 12 - Resultado do <i>slump test</i>	66
Tabela 13 - Resultados de resistência dos traços de concreto	66
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão	68
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão	69
Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência a compressão e flexão	71
Tabela 17 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão	72
Tabela 18 - Resultados dos ensaios de resistência a compressão e flexão	74

Tabela 19 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão.....	75
Tabela 20 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão.....	77
Tabela 21 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Pressão de vapor em função da temperatura	38
Gráfico 02 – Curva granulométrica da areia.....	50
Gráfico 03 – Curva granulométrica da brita 01	51
Gráfico 04 – Resistência média à compressão aos 7 dias de cura do concreto.....	67
Gráfico 05 – Resistência média fixa à flexão aos 7 dias de cura do concreto	68
Gráfico 06 – Média de resistência à compressão à temperatura ambiente	70
Gráfico 07 – Média de resistência à flexão à temperatura ambiente	70
Gráfico 08 – Média de resistência à compressão à temperatura de 200 °C.....	73
Gráfico 09 – Média de resistência à flexão à temperatura de 200 °C.....	73
Gráfico 10 – Média de resistência à compressão à temperatura de 400 °C.....	76
Gráfico 11 – Média de resistência à flexão à temperatura de 400 °C.....	76
Gráfico 12 – Média de resistência à compressão à temperatura de 600 °C.....	79
Gráfico 13 – Média de resistência à flexão à temperatura de 600 °C.....	79
Gráfico 14 – Média de resistência à compressão (Mpa) Traço A	80
Gráfico 15 – Média de resistência à flexão (Mpa) Traço A.....	81
Gráfico 16 – Média de resistência à compressão (Mpa) Traço B.....	82
Gráfico 17 – Média de resistência à flexão (Mpa) Traço B.....	82
Gráfico 18 – Média de resistência à compressão (Mpa) Traço C.....	83
Gráfico 19 – Média de resistência à flexão (Mpa) Traço C.....	84
Gráfico 20 – Média de resistência à compressão (Mpa) Traço D.....	85
Gráfico 21 – Média de resistência à flexão (Mpa) Traço D.....	85
Gráfico 22 – Média de resistência à compressão X Exposição Temperatura.....	86
Gráfico 23 – Média de resistência à flexão X Exposição Temperatura.....	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa.....	18
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Estrutura	19
1.4 Delimitações	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 Conceitos básicos sobre o concreto.....	22
2.1.1 Agregados.....	24
2.1.1.1 Areia	25
2.1.1.2 Brita	26
2.1.2 Aditivos	26
2.1.2.1 Superplastificante	27
2.1.3 Cimento	29
2.1.4 Resistência	33
2.1.5 Adensamento.....	35
2.2 Características do concreto submetido a elevadas temperaturas.....	36
2.3 Conceitos básicos das fibras.....	43
2.3.1 Definição	43
2.3.2 Características das fibras de polipropileno	44
2.3.2.1 Característica do material aquecido	47
2.4 Características do concreto com adição de fibras de polipropileno.....	48
3 MATERIAIS E MÉTODOS	51

3.1 Materiais.....	51
3.1.1 Cimento Portland	51
3.1.2 Água	51
3.1.3 Agregados.....	52
3.1.3.1 Areia	52
3.1.3.2 Brita	53
3.1.4 Aditivos	54
3.1.4.1 Superplastificante	54
3.1.5 Fibras de polipropileno.....	54
3.2 Dosagem	55
3.3 Temperatura.....	58
3.4 Ensaio do concreto em estado fresco.....	62
3.4.1 <i>Slump test</i>.....	62
3.5 Ensaio do concreto em estado rígido.....	63
3.5.1 Resistência à temperatura (câmara mufla)	64
3.5.2 Resistência à compressão	66
3.5.3 Resistência à flexão	67
3.5.4 Avaliação visual da estrutura rompida do CP.....	67
4 ANÁLISE E RESULTADOS.....	68
4.1 Resultados dos <i>slump test</i> para o teste piloto	68
4.2 Resultados dos <i>slump test</i> para os traços adaptados.....	68
4.3 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos do teste-piloto (7 dias).....	69
4.4 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos do Traço final (28 dias à temperatura ambiente)	71
4.5 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos (28 dias aquecido a 200°C)	73
4.6 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos (28 dias aquecido a 400°C)	77
4.7 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos (28 dias aquecido a 600 °C)	80
4.8 Gráfico das médias em relação as temperaturas expostas no forno mufla.	83
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

O fogo, quando controlado, possui inúmeras utilidades. Contudo, quando fora de controle, causa grandes devastações e possui grande poder destrutivo. Tendo em vista que os incêndios são fenômenos influenciados por uma grande diversidade de características do ambiente, faz-se com que cada ocorrência seja única (LIMA, 2005). Os incêndios submetem as construções a altíssimas temperaturas, pois além de promover a combustão dos materiais que são suscetíveis à queima, causa, nos materiais incombustíveis como o concreto e outros elementos estruturais, a redução de suas resistências e, conseqüentemente, pode causar o colapso da edificação (NEVILLE, 1997).

Há a probabilidade de ocorrência de colapso das estruturas de concreto mediante um incêndio. É notável que ocorram perdas significativas da resistência dos concretos, quando estes são submetidos a altas temperaturas, como as que ocorrem nos incêndios (COELHO, 2010).

As resistências às quais a estrutura deve assegurar em uma ocorrência de incêndio são estipuladas pela NBR 14432:2001. O tempo descrito pela normativa é definido como TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo). Este tempo é o tempo mínimo que a estrutura deve garantir para um incêndio-padrão e assim propiciar a segurança das pessoas que estão nesta edificação, favorecendo a segurança dos que prestarão o combate ao incêndio (Yazigi, 2008). Os incêndios possuem a característica de devastar grande parte da edificação, em muitos casos apenas restando a estrutura, e em outros, nem esta.

Referente ao dimensionamento das estruturas de concreto expostas a incêndios, tem-se a normativa NBR 15200:2012 (ABNT, 2012). Nos estados brasileiros, estas normativas precisam ser regulamentadas por decreto estadual. Quando não há decreto estadual que as regule, estas devem seguir o Código do Consumidor (CDC), que é regulamentado pelas normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). O estado do Rio Grande do Sul não possui normativas próprias que regem sobre a segurança estrutural de edificações em casos de incêndio, portanto, utiliza as tabelas elaboradas pelo Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP), Instrução Técnica Nº 08/2011.

O estudo de como se comporta o concreto é de relevante importância para que construções futuras possam garantir a sua integridade mediante incêndios. Para que se consiga aprimorar as tecnologias construtivas são desenvolvidos estudos de melhorias das características dos concretos, alterando o traço, seus componentes, seus aditivos e suas adições, promovendo, assim, maior segurança às edificações.

1.1 Justificativa

Altas temperaturas, como 600°C, são facilmente alcançadas em fenômenos como incêndios, onde as chamas aquecem os materiais, que despreendem gases aquecidos e que, por sua vez, se depositam na parte superior do ambiente, aquecendo as estruturas e, conseqüentemente, trazendo a possibilidade de colapso ou ruína das edificações (CBMGO, 2016).

Estuda-se a possibilidade de melhorias das características do compósito concreto utilizado para estruturas de edificações. Estas melhorias visam o ganho de resistência por parte do concreto com adições (PETRUCCI, 1998). Quando são submetidos a altas temperaturas, como as provenientes de incêndios, os concretos sofrem alterações em suas estruturas, podendo reduzir significativamente a sua resistência (LIMA, 2005). Deste modo, a tecnologia construtiva busca novas técnicas para que os materiais utilizados sejam resistentes a eventos catastróficos como incêndios, e possam assegurar a segurança de suas estruturas mesmo nestas situações extremas.

Estas tecnologias tentam mesclar os aprimoramentos do aperfeiçoamento das características estruturais do concreto com a economia, visada em projeto (LUCENA, 2017), buscando assim a confecção de um material relativamente econômico e adaptado aos seus fins, que neste caso se dá pela resistência a elevadas temperaturas.

Conforme referências de Neville (1997), verifica-se que as incorporações de fibras de polipropileno nos concretos possuem uma característica de prover uma melhora significativa na resistência destes materiais quando submetidos a elevadas temperaturas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é a avaliação de concretos de alta resistência que possuam, em sua composição, a adição de fibras de polipropileno monofilamentadas, em diferentes teores, submetidas a temperaturas elevadas distintas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a resistência de compressão e flexão de diferentes traços de concreto com fibras;
- Avaliar o comportamento das fibras monofilamentadas incorporados ao concreto que será submetido a altas temperaturas;
- Avaliar as resistências mecânicas do concreto com a adição de fibras de polipropileno;

1.3 Estrutura

O presente trabalho introduz, no primeiro capítulo, o tema da pesquisa a ser desenvolvido ao longo do trabalho, bem como também as justificativas, objetivos gerais, objetivos específicos e estrutura.

No segundo capítulo são abordadas as referências bibliográficas que descrevem os conceitos sobre o concreto, os materiais, os agregados, os aditivos, os superplastificantes, o cimento, as resistências, o adensamento, as características do concreto submetido a elevadas temperaturas, os conceitos e definições básicas da fibra, as características da fibras de polipropileno, as características do material aquecido e as características do concreto com a adição de fibras de polipropileno.

No terceiro capítulo são abordados os materiais e métodos, que seguem da descrição dos materiais utilizados para a elaboração dos testes, agregados, aditivos, ensaios experimentais, dosagem e temperatura para compor este trabalho de pesquisa.

No quarto capítulo são abordados as análises e resultados, onde são apresentados os resultados de maneira individual das médias e desvio-padrão obtidos através dos ensaios de compressão e flexão. Após, os resultados por temperatura e, por fim, será apresentado um comparativo entre as médias de todos os resultados do presente trabalho de pesquisa.

No quinto capítulo são abordada a conclusão do presente trabalho de pesquisa, a qual compreende a análise da resistência do concreto com adição de fibras de polipropileno submetidas a altas temperaturas.

1.4 Delimitações

Uma das limitações encontradas para este trabalho foi a falta de normativas para as fibras de polipropileno empregadas no concreto. O traço utilizado para o presente trabalho foi adaptado de um trabalho de graduação, de Onuki e Gasparetto (2013), visto que demais trabalhos, de nível de mestrado e doutorado, apenas adotavam traços de concreto com a adição de fibras que faziam uso da sílica ativa, a qual não foi motivo de avaliação. Portanto, poderiam influenciar nos resultados do presente trabalho, o qual considera a resistência do concreto de cimento Portland com adição de fibras de polipropileno monofilamentadas, e apenas utilizando o aditivo superplastificante para conseguir a trabalhabilidade desejada.

Outra delimitação encontrada neste trabalho de pesquisa foi relativa às limitações do uso do material, formas, equipamentos e do próprio Laboratório de Tecnologias de Construção (LATEC) da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, pois a grande quantidade de alunos promoveu uma reserva demasiada de materiais e equipamentos do laboratório, o que limitou a quantidade de corpos-de-prova confeccionados e ensaiados.

Neste trabalho não foi possível desenvolver os testes de aquecimento dos três traços com diferentes teores de fibras de polipropileno propostos devido a inúmeros

fatores, dentre eles: capacidade de armazenamento do forno mufla, quantidade de formas prismáticas, disponibilidade do laboratório, disponibilidade do equipamento de compressão, disponibilidade da câmara de secagem (a qual também promovia a secagem de areia para a confecção de todos os demais trabalhos que envolvem este material). Desta forma, optou-se pela escolha do traço de maior resistência à compressão e flexão aos 7 dias, conforme resultados do estudo piloto do capítulo de análise dos resultados.

Neste trabalho não foi considerado o fenômeno de “*spalling*”.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos básicos sobre o concreto

Concreto é um material composto por aglomerante e pela mistura de agregado e água (YAZIGI, 2008). É um material compósito confeccionado a partir da mistura de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. É dividido em classificações, concretos convencionais e concretos de alta resistência. Esta classificação é, geralmente, dada em função de sua resistência à compressão e da sua dosagem.

Se for possível a obtenção de uma alta resistência a partir apenas da variação da relação água/cimento, ainda é considerado como concreto convencional, e se a obtenção desta alta resistência é feita a partir da incorporação de aditivos especiais ou de adições ativas, tem-se então a classificação de um concreto de alta resistência e desempenho (RECENA, 2015).

Para Mehta e Monteiro (2014), o concreto pode ser classificado a partir de suas resistências à compressão em três amplas categorias: baixa resistência, resistência moderada e alta resistência, com variações de suas resistências sendo menos de 20 MPa, de 20 MPa à 40 MPa e acima de 40 MPa, respectivamente.

Segundo Yazigi (2008), um dos principais fatores que influenciam na durabilidade e resistência de uma estrutura de concreto são a correta execução da estrutura, o controle tecnológico dos materiais empregados na mistura e o estudo da dosagem.

A dosagem do concreto leva em consideração as características que se deseja obter do concreto em seu estado fresco ou endurecido, considerando a resistência, a estanqueidade, a trabalhabilidade e a retração mínima. A trabalhabilidade é

proveniente de estudos experimentais, e a estanqueidade e a resistência levam em consideração a presença de vazios no material, segundo Bauer e Noronha (2000).

Conforme Recena (2015), a dosagem do concreto não visa a obtenção do melhor concreto, nem mesmo o mais resistente, e sim o mais conveniente, levando em conta aspectos econômicos e mecânicos. Contudo, o mesmo autor salienta que a dosagem é a administração de aspectos conflitantes, pois a maior economia nem sempre se associa à melhor trabalhabilidade, à maior durabilidade ou resistência.

Para Yazigi (2008), o concreto deve ser dosado de maneira a atender e assegurar, após a cura, as exigências estruturais indicadas no projeto da estrutura. A resistência a ser atendida no corpo de prova aos 28 dias será dita como resistência-padrão, e para fins de controle de qualidade, jamais poderá ser empregado o cimento em frações de saco, sempre em função ao peso e massa, bem como a relação água-cimento jamais pode ser superior a 0,6.

Segundo Helene e Andrade (2007), o concreto possui duas fases distintas, concreto fresco e concreto endurecido. A primeira denomina-se de concreto fresco, o qual compreende um período de tempo muito curto, varia em torno de uma hora a cinco horas. Para os autores, este tempo compreende o intervalo correspondente à mistura, ao transporte, ao lançamento e ao adensamento do concreto. A segunda denomina-se concreto endurecido, que compreende o início da hidratação do cimento e o endurecimento do concreto, estendendo-se por toda a vida útil do material compósito.

Conforme Sobral (2000), o estado fresco do concreto é constituído por uma pasta de cimento que envolve os agregados graúdos e miúdos e os espaços cheios de ar. Oliveira (2000) cita que o estado endurecido do concreto é considerado a partir da pega. Mehta e Monteiro (2014) definem que o termo pega refere-se à solidificação da pasta plástica de cimento, e é o início da solidificação do material, no momento em que a pasta se torna não trabalhável, dificultando as operações de manuseio do concreto, sendo estas, lançamento, compactação e acabamento.

Yazigi (2008) classifica o concreto, conforme suas propriedades básicas, em concreto endurecido e concreto não endurecido. No concreto não endurecido, observam-se as propriedades de trabalhabilidade, exsudação (transpiração) e tempos de início e fim de pega. Já no concreto em seu estado endurecido são observadas as

propriedades de resistência aos esforços mecânicos, propriedades técnicas, deformações em face das ações extrínsecas e solicitações mecânicas, permeabilidade e durabilidade da ação do meio ambiente. O mesmo autor ainda ressalta sobre as variações da resistência do cimento, bem como a variação da granulometria dos agregados, que resulta em um concreto com trabalhabilidade e resistências variadas.

O concreto, assim como seus componentes, possui normas regulamentadoras que regem sua confecção e distribuição, a fim de garantir as mínimas exigências para sua utilização. Esta norma regulamentadora é a NBR 12.655 (ABNT, 2006), que define sobre o preparo, controle e recebimento do concreto. A NBR 12.654 (ABNT, 1992) define, a partir de procedimentos, como se deve efetuar a realização do controle tecnológico dos materiais empregados na produção do concreto, segundo Helene e Andrade (2007).

2.1.1 Agregados

Para Mehta e Monteiro (2014), os agregados não influenciam diretamente em reações químicas com a água, por isso são chamados de material de enchimento inerte do concreto. Já Albuquerque (2000) define o agregado como sendo um material particulado, incoesivo¹, de atividade química praticamente nula, composto por uma mistura de partículas de tamanhos distintos.

Mehta e Monteiro (2014) classificam os agregados conforme as dimensões das partículas e as massas específicas, onde o termo agregado graúdo é utilizado para partículas maiores de 4,75 mm retidas da peneiradas de número 4, normatizada pela NBR NM ISO-2395 (ABNT, 1997). Já as partículas de tamanho inferior a 4,75 mm são chamadas de agregados miúdos e ficam retidas nas peneiras inferiores.

Farias e Palmeira (2007) definem que as propriedades do concreto irão depender das características que seus agregados possuem, dentre elas: massa específica aparente, porosidade, composição granulométrica, forma e textura. A resistência, compressibilidade e sanidade dos concretos endurecidos está

¹ Incoesivo - que não estabelece uma relação de coesão, ligação não harmônica: elementos incoesivos dos materiais.

relacionada diretamente à porosidade e à composição mineralógica dos agregados a serem utilizados na confecção do concreto.

Mehta e Monteiro (2014) classificam, ainda, os agregados como minerais naturais e artificiais. Os agregados minerais naturais abrangem cerca de 90% do total de agregados utilizados para a confecção do concreto, e compreendem areia, pedregulho e pedra britada (brita), provenientes de jazidas naturais. Os agregados artificiais são materiais termicamente processados, como argila e folhelho expandidos, bem como materiais produzidos a partir de rejeitos industriais, como as escórias de alto forno e cinzas volantes.

Albuquerque (2000) complementa com a adesão de uma classificação dos agregados, segundo o peso específico aparente dos materiais em agregados leves, médios e pesados. Os agregados leves compreendem o grupo das vermiculitas, argilas expandidas e a escória granulada. Já os agregados médios compreendem o calcário, o arenito, o cascalho, o granito, a areia, o basalto e a escória. Por fim, os agregados pesados compreendem a barita, a hematita e a magnetita.

2.1.1.1 Areia

Yazigi (2008) cita que a areia natural quartzosa, conhecida como areia comercial, juntamente com a areia artificial (material obtido pela fragmentação de rochas e que passa pela peneira de 4,80 mm), que contém um diâmetro máximo de 4,80 mm, compõem os agregados miúdos.

Albuquerque (2000) classifica a areia como um sedimento geológico clástico inconsolidado, proveniente de grãos de quartzo extraídos de rios, de cava, de britagem, de escória e de praias e dunas. Ainda o mesmo autor justifica que as areias extraídas e provenientes das praias e dunas brasileiras não são empregadas para a construção civil, devido à grande concentração de cloreto de sódio.

A composição granulométrica da areia é de 0,06 mm a 2,0 mm de diâmetro, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a determinação da composição utilizam-se as peneiras da série normal e intermedia, e a partir dos valores de massa retidos em cada peneira tem-se a classificação. O ensaio de determinação de massa específica e massa específica aparente é normatizado pela NBR NM 52 (ABNT,

2003), a qual descreve os procedimentos para obter valores estipulados em relação à massa-volume dos agregados miúdos. Para a determinação da absorção de água é normatizado o ensaio descrito pela NBR NM 30 (ABNT, 2001).

2.1.1.2 Brita

Para Yazigi (2008), a brita (pedra britada), juntamente com o pedregulho natural, é caracterizada como agregado graúdo, o qual deve possuir diâmetro mínimo superior a 4,8 mm.

Albuquerque (2000) define o agregado graúdo a partir de suas composições mineralógicas, e justifica que é extraído de rochas compactas chamadas jazidas, podendo enquadrar-se em diversas classificações, definidas a partir da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para a classificação dos agregados, a normativa referente ao ensaio de peneiras de série normal e intermédia é a NBR NM 248 (ABNT, 2003), que classifica o tipo de brita através do material que ficou retido em cada peneira e o seu diâmetro. O ensaio de determinação de massa específica, massa específica aparente e determinação da absorção de água dá-se através da NBR NM 53 (ABNT, 2003), a qual descreve os procedimentos para estipular a relação massa-volume do agregado graúdo e sua absorção de água.

Yazigi (2008) caracteriza a brita, por razões comerciais, em pedrisco (diâmetro de 4,80 mm a 9,50 mm), brita 1 (diâmetro de 9,50 mm a 19,00 mm), brita 2 (diâmetro de 19,00 mm a 38,00 mm), brita 3 (diâmetro de 38,00 mm a 76,00 mm) e pedra de mão, também conhecida como rachão (diâmetros maiores que 76,00 mm).

2.1.2 Aditivos

Para Bauer, Noronha e Bauer (2000) os aditivos definem-se como produtos não indispensáveis utilizados na produção de concretos e argamassas, e que promovem o aparecimento ou reforço de determinadas características e propriedades do material em seu estado fresco ou endurecido.

Segundo a normativa Norte-Americana ASTM C-125 (2001), aditivo é o material empregado como componente do concreto ou da argamassa, adicionado

imediatamente antes ou durante a mistura, que não seja água, agregado, cimento hidráulico ou fibras.

A NBR 11768 (ABNT, 1992) define aditivos como produtos adicionados ao concreto de cimento Portland que, em pequenas quantidades, modificam as propriedades, no sentido de melhor se adequar a determinadas condições.

Bauer, Noronha e Bauer (2000) citam a possibilidade da classificação dos aditivos fundamentada na ação ou efeito. O critério baseado na ação possui características mais científicas, distingue-se através de características químicas e/ou físicas. O critério fundamentado nos efeitos determina a escolha do uso correto do aditivo baseado na finalidade que é procurado, ou seja, em específica característica, não considerando os aspectos científicos, como características químicas.

Já a normativa NBR 11768 (ABNT, 1992) classifica os aditivos conforme a característica que irá modificar o concreto, sendo elas: tipo P - Plastificante; tipo R - Retardador; tipo A - Acelerador; tipo PR - Plastificante Retardador; tipo PA - Plastificante Acelerador; tipo IAR - Incorporador de Ar; tipo SP - Superplastificante; tipo SPR - Superplastificante Retardador; e tipo SPA - Superplastificante Acelerador.

A indústria de aditivos e adições para concreto teve um grande crescimento nos últimos 50 anos, devido ao fato dos aditivos terem função de modificar as propriedades do concreto em seu estado fresco endurecido. Portanto, engenheiros da área da construção civil reconhecem as vantagens e limitações dos aditivos utilizados nesta área, segundo Mehta e Monteiro (2014).

Para Bauer, Noronha e Bauer (2000), o estudo de aditivos busca um produto capaz de introduzir todas as qualidades, bem como evitar todos os defeitos do concreto.

2.1.2.1 Superplastificante

Desde 1970, quando foram criados, os superplastificantes possuem ampla aceitação na indústria de construção civil. São surfactantes aniônicos de cadeia longa e de alta massa molecular, com grande número de grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos. Elevam acentuadamente a fluidez do sistema, diminuindo

significativamente a tensão superficial da água circundante entre as partículas de cimento, segundo Mehta e Monteiro (2014).

Os superplastificantes são empregados em concretos para reduzir a relação água cimento, aumentar o abatimento e, conseqüentemente, aumentar a resistência, devido à redução da relação água cimento (a/c), para a mesma trabalhabilidade, abatimento de determinado concreto, conforme Bauer, Noronha e Bauer (2000).

Conforme a NBR 11768 (ABNT, 1992), que determina os aditivos para o concreto Portland, os aditivos superplastificantes (tipo SP) possibilitam uma redução de, no mínimo, 12% (doze por cento) de água da quantidade de amassamento, ou aumentam o índice de consistência do concreto para uma mesma quantidade de água de amassamento.

Os superplastificantes (SP) de 3ª geração, compostos com base de policarboxilatos, agem por repulsão estérica dos grãos de cimento e por repulsão eletrostática, sendo esta não muito presente, devido ao fato de sua ionização não ser suficiente para promover uma repulsão elétrica considerável. Ainda, possuem moléculas longas com ramificações que auxiliam na dispersão das partículas de cimento. Conforme maior o tamanho da cadeia, maior será a fluidez da mistura e menor o seu tempo de pega (HARTMANN, 2002).

Prudêncio Jr. (2005) afirma que aditivos à base de policarboxilatos permitem reduções de água superiores a 20% (vinte por cento) em tempos de atuação entre 30 e 60 minutos e, portanto, são considerados atualmente como os aditivos superplastificantes de melhor eficiência.

A confecção de concretos especiais com resistências elevadas necessita de maiores proporções de cimento na mistura. Este maior consumo de cimento aumenta o teor de finos da mistura e, para isso, necessita de maior consumo de água para a hidratação do cimento e para manter a trabalhabilidade desejada. Para suprir esta demanda de água sem o comprometer a resistência do concreto, é adicionado à mistura o aditivo superplastificante, conforme Mehta e Monteiro (2014).

Prudêncio Jr. (2005) afirma que, em concretos de resistências características acima de 40 Mpa, o uso de superplastificantes é praticamente imprescindível, pois na ausência destes a trabalhabilidade é comprometida significativamente.

Hartmann (2002) cita que aditivos superplastificantes são utilizados no mundo inteiro com as finalidades de reduzir significativamente o consumo de água para uma mesma consistência, acrescentando à resistência e à durabilidade do concreto; de aumentar a fluidez, mantendo o mesmo consumo de água de amassamento; e de minorar a quantidade de cimento, mantendo as características de consistência e resistência, com o intuito de reduzir os custos e também diminuir os problemas como a retração, fluências e tensões térmicas provenientes da hidratação do cimento.

2.1.3 Cimento

Para Neville (1997), o conceito de cimento pode ser considerado, na acepção geral da palavra, como todo material que possui propriedades coesivas e adesivas, capaz, ainda, de unir fragmentos e minerais, formando um material todo compacto.

O cimento Portland é composto por calcário, argila e minério de ferro, que formam o clínquer. Após ser moído, ao clínquer é adicionado gesso para, assim, reduzir a velocidade da pega, ou seja, a velocidade de hidratação das partículas de cimento, e formar o cimento (PETRUCCI,1998).

Os cimentos podem ser classificados em cimentos hidráulicos e não hidráulicos. Os cimentos hidráulicos são caracterizados por só endurecem através a reação com a água, e, também, por formarem um produto resistente à água. Os cimentos não hidráulicos também são chamados de aglomerantes aéreos, e resultam da calcinação da gipsita ou carbonatos de cálcio, e os produtos da hidratação não possuem resistência à água. O cimento tipo Portland, enquadrado como cimento hidráulico, somente adquire propriedades adesivas quando é misturado com a água. Este processo chama-se hidratação do cimento, que proporciona a este as características de pega e endurecimento, segundo Mehta e Monteiro (2014).

O cimento Portland é formado por determinados números de compostos, (C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF) e as origens do processo de endurecimento são as reações que ocorrem com este composto. O cimento Portland possui compostos anidros que se tornam hidratados ao entrar em contato com a água. A hidratação consiste na transformação destes compostos anidros mais solúveis em compostos hidratados menos solúveis, segundo Petrucci (1998).

Mehta e Monteiro (2014) consideram o cimento Portland uma mistura heterogênea, formada por vários compostos, que se comportam de forma diferente entre si quando submetidos à adição de água. Os silicatos se hidratam lentamente, já os aluminatos se hidratam de forma mais acelerada. As reações de hidratação envolvendo aluminatos são as que determinam, de maneira mais ampla, as características de enrijecimento (perda de consistência) e pega (solidificação da mistura) de uma pasta de cimento Portland.

O processo de fabricação do cimento envolve altas temperaturas para a formação de material desidratado quimicamente e, portanto, este processo resulta em um material instável de alta capacidade energética. Ao passo que é hidratado, passa a se tornar um material com estados mais estáveis e de baixa energia, ou seja, este processo de hidratação promove a liberação de energia em forma de calor, dito como uma reação exotérmica. Esta energia liberada nas reações de hidratação do cimento é calor de hidratação, e pode ser prejudicial a estruturas de concreto, dependendo da situação em que está submetida, segundo Mehta e Monteiro (2014).

Yazigi (2008) cita que as propriedades do cimento Portland são consideradas sob três aspectos distintos. A primeira é a propriedade do material em seu estado natural, o pó. A segunda é a propriedade da mistura de cimento e água em suas proporções adequadas a cada uso. E a terceira é a propriedade da mistura da pasta com o agregado. O autor classifica os cimentos Portland como sendo:

Cimento Portland Comum: é o cimento obtido através da moagem do Clínquer Portland, ao qual é adicionado sulfato de cálcio. O Cimento Portland Comum (CPC) permite a adição de misturas de materiais pozolânicos, escórias granulares de alto-forno e materiais carbonáticos, gerando assim as subdivisões conhecidas como Cimento Portland Comum Simples (CPS), Cimento Portland Comum com Escória (CPE) e Cimento Portland Comum com Pozolana (CPZ).

Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI): da mesma forma, é obtido através da moagem do Clínquer Portland, porém, durante a sua moagem, não é permitida a adição de nenhuma substância a não ser algum componente de sulfato de cálcio.

Cimento Portland de Alto-Forno (AF): é obtido através de uma mistura homogênea de Clínquer Portland, juntamente com a escória granulada básica de alto-forno. Permite a adição de sulfatos e de derivados de carbonato de cálcio.

Cimento Portland Pozolânico (POZ): da mesma forma, é obtido através da mistura de Clínquer Portland e substâncias pozolânicas, e permite a adição de sulfato de cálcio na mistura.

Cimento Portland Branco (CPB): é obtido com a moagem de Clínquer Portland com características de baixo ou a ausência de teores de óxido de ferro. Permite, ainda, a adição de sulfato de cálcio.

Na Tabela 01 é possível ver algumas das características especificadas de cimentos brasileiros, regulamentadas pela ABNT.

Tabela 01 - Algumas características especificadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para cimentos brasileiros

TIPOS		CPC			ARI	AF		POZ	
		25	32	40		25	32	25	32
PROPRIEDADES		25	32	40	6,5	-	-	6,0	6,0
Mg O máx. (%)		6,5	6,5	6,5	6,5	-	-	6,0	6,0
Perda ao fogo máx. (%)		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Finura	Resíduo na peneira 0,075 (%)	15,0	15,0	15,0	6,0	10,0	10,0	12,0	12,0
	cm ² /g	2.400	2.600	2.600	3.000	2.600	2.800	2.500	2.900
Tempo mínimo de pega, Vicat (h)		1	1	1	1	1	1	1	1
Resistências mínimas argamassas normalizadas (Mpa)	01 dia	-	-	-	11	-	-	-	-
	03 dias	8	10	14	22	8	10	7	10
	07 dias	15	20	24	31	15	20	15	18
	28 dias	25	32	40	-	25	32	25	32
	90 dias	-	-	-	-	32	40	32	40
NORMA BRASILEIRA		NBR - 5732			NBR - 5733	NBR - 5735		NBR - 5736	

Fonte: Adaptado materiais de construção (OLIVEIRA, 2002).

Cimento Portland Pozolânico (POZ): de acordo com a NBR 5736 (ABNT, 1991), possui composição fixada em norma, contudo aceita uma determinada variação de seus compostos. Em percentual, estas variações estão descritas na tabela 02.

Tabela 02 - Composição do Cimento CP IV

Cimento Portland Pozolânico (POZ)	
Tipo	IV
Sigla	CP IV
Classe de resistência	32
Norma	5736/91
Clínquer + Gesso	45 a 85%
Pozolana	15 a 50%
Material Carbonático	0 a 5%

Fonte: Adaptado Norma Brasileira Regulamentadora 5736 da ABNT, 1991.

Materiais pozolânicos são materiais siliciosos ou silicoaluminosos que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que formam compostos com propriedades cimentícias quando reagem com o hidróxido de cálcio, reação esta que advém da presença de água. São divididos em pozolanas naturais e artificiais. As pozolanas naturais advêm de atividades vulcânicas, ao passo que as pozolanas artificiais são subdivididas em argilas calcinadas, provenientes da calcinação de determinadas argilas, cinzas volantes, provenientes da combustão do carvão, e outros materiais, em que se enquadram as microsílicas, escórias siderúrgicas ácidas e rejeitos silicoaluminosos de craqueamento do petróleo (ABNT, 1991).

Oliveira (2002) acredita que, de um modo geral, não há diminuição da resistência mecânica final com a substituição, de 20 a 40 por cento, do cimento utilizado nos concretos pelas pozolanas. O mesmo autor ainda acredita que isto promove melhorias na qualidade do material.

O uso das pozolanas nos concretos de cimento Portland melhora características como, por exemplo, a trabalhabilidade, diminui o calor de hidratação, aumento da impermeabilidade e, de uma maneira geral, reduz custos (OLIVEIRA, 2002).

Materiais carbonáticos são finamente moídos e, em sua maior parte, são constituídos de carbonatos de cálcio (ABNT, 1991).

2.1.4 Resistência

A seleção de um material para ser utilizado como material construtivo para determinada aplicação específica leva em conta a capacidade de suportar a força aplicada. A aplicação de determinada carga resulta em uma mudança no comprimento por unidade de comprimento, e esta mudança é definida como deformação. As tensões dentro de um mesmo corpo podem ficar mais distintas entre si, e isto ocorre devido à forma como a tensão atua no material. Esta distinção é classificada em tensão de compressão, de tração, de flexão, de cisalhamento e de torção. Esta relação entre tensão e deformação, geralmente, é expressa em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e dureza, segundo Mehta e Monteiro (2014).

Resistência é a medida limite de tensão necessária para que o material sofra o rompimento. Em concretos esta resistência é concebida através da solidificação de seu aglomerante, o cimento e, portanto, é necessário que este sofra a hidratação. A hidratação do cimento ocorre de maneira lenta e, conseqüentemente, o concreto acaba variando sua resistência durante toda a sua vida útil, sendo esta variação mais acentuada nos primeiros dias, conforme o que dizem Mehta e Monteiro (2014).

Para Vasconcelos (1997), a resistência característica da compressão está vinculada à durabilidade e, para que este concreto atenda as condições mínimas de durabilidade, o autor recomenda que esta resistência não seja inferior a 20 Mpa, conforme NBR 8953 (ABNT, 1992).

Nos sólidos como o concreto há uma relação inversa entre a porosidade e a resistência. Embora a relação água-cimento seja indispensável pela determinação da porosidade do concreto, há também fatores como o adensamento e as condições de cura. A resistência à compressão é amplamente usada como um indicador para as demais resistências, ou seja, ao longo do tempo foram elaboradas relações empíricas úteis que relacionavam a resistência do concreto à compressão com a resistência do concreto a outras tensões como a de cisalhamento, flexão e tração. (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O tipo de cimento utilizado no concreto não influencia tão significativamente a resistência do concreto. Contudo, este último influenciará diretamente na velocidade do crescimento da resistência. Na resistência do concreto entram em cena vários fatores, estes podem ter sua influência tanto na mistura, ou seja, em sua fase não endurecida, como na cura, ou seja, em sua fase endurecida, ao passo que cresce a sua resistência, conforme os autores Botelho e Marchetti (2004).

O concreto é um dos materiais empregados em estruturas prediais por possuir uma boa resistência a compressão quando comparado ao seu custo de produção, por isso a resistência à compressão é geralmente especificada, em classes de resistência a compressão sendo elas, baixa, média e moderada resistência, segundo Mehta e Monteiro (2014).

O concreto também é um material que se enquadra como um sólido Hookeano, ou seja, está sujeito às leis de Hooke. Portanto, possui, em sua deformação elástica, proporcionalidade entre as tensões e a deformação, segundo os autores.

Para Botelho e Marchetti (2004), o teste em que o concreto é submetido para que se possa obter a resistência à compressão é classificado como rápido, pois desde o momento em que se iniciam as tensões de compressão até o momento em que são rompidas decorrem apenas poucos minutos. Os ensaios do concreto em seu estado rígido promovem a percepção das características do material após endurecer. Torna-se inviável a verificação das características do material, retirando uma amostra do local onde endureceu na obra. Portanto, é feita uma amostragem do material, ainda em seu estado fresco, conforme a NBR NM 33 (ABNT, 1998) e moldados os corpos-de-prova para que possam endurecer em uma câmara úmida, que promove a cura do concreto de maneira ideal, conforme a NBR 9479 (ABNT, 1994).

Chama-se de regime plástico um alto nível de tensões onde a deformação não se mantém mais proporcional à tensão aplicada. Este regime caracteriza-se pela deformação permanente, ou seja, ao cessar a tensão aplicada no material, o mesmo não retorna à sua forma inicial. Esta deformação, que ocorre durante este período de tempo até o rompimento, é dita como a ductilidade do material. Para estudiosos da área, o concreto não se enquadra nesta características. Mehta e Monteiro (2014) citam que ele não é conceituado como um material dúctil, embora pareça mostrar características inelásticas antes de seu rompimento.

Os mesmos autores citam que os aditivos que reduzem a relação água-cimento empregada no concreto demonstram potencial de elevar a resistência tanto inicial como final do concreto.

As adições de fibras de polipropileno ao concreto podem fornecer, nas frações adequadas, o aumento das características de resistência à tração deste material (LIMA, 2005).

2.1.5 Adensamento

Ao se confeccionar um concreto, é necessário dedicar atenção a alguns aspectos de sua produção. Estes aspectos estão presentes em todas as fases de produção, desde a sua mistura, seja ela em central de dosagens ou em betoneira fixa, até a seu lançamento em formas na obra. A qualidade obtida nestes processos leva em consideração um transporte sem a segregação do material, sem elevar o índice de água do concreto, o tempo para ser destinado a obra, o lançamento de exageradas alturas, a falta de adensamento nas formas e a falta da cura, segundo Botelho e Marchetti (2004).

Para a obtenção de um concreto que possua o índice de vazios reduzidos após o seu lançamento nas formas, é preciso compactá-lo através de procedimentos manuais ou mecânicos, expulsando, assim, a saída de ar e facilitando o arranjo interno dos agregados. Esta expulsão promove um melhor contato do concreto com as formas, fibras e ferragens. O adensamento manual é executado em pequenas estruturas, ao passo que o adensamento mecânico é feito com soquetes apropriados com de 100 a 150 golpes por minuto. A vibração permite que as partículas de concreto movimentem-se oscilatoriamente como as partículas de um fluido, permitindo assim um coeficiente de viscosidade (BAUER, 2000).

Com a redução dos vazios presentes no interior do concreto é possível verificar um aumento na resistência do compósito, visto que os vazios presentes são proporcionadores de fissuras, pois concentram as tensões que deveriam se dissipar na matriz do concreto, formada pela pasta cimentícia (YAZIGI, 2008).

2.2 Características do concreto submetido a elevadas temperaturas

No Brasil, houve grandes catástrofes provenientes das chamas dos incêndios, dentre elas se destacam o incêndio do edifício Andraus, São Paulo, 1972, conforme a figura 01, o edifício Joelma 1974, em São Paulo, conforme a figura 02, e, no Rio Grande do Sul, o incêndio do edifício das Lojas Renner, em Porto Alegre, em 1976, conforme a figura 03.

Figura 01 - Incêndio Edifício Andraus, São Paulo, 1972



Fonte: Incêndio no Edifício Andraus, São Paulo, em 1972 (BOL FOTOS, texto online).

Esta catástrofe destacou-se pela morte de apenas 16 pessoas. Conforme registros, foram efetuados muitos resgates por helicóptero na laje da cobertura, que resistiu ao peso do mesmo, durante o incêndio.

Figura 02 - Incêndio Edifício Joelma, São Paulo, 1974



Fonte: Incêndio destruiu edifício em São Paulo (BORGES, 2014, texto online).

Este incêndio caracterizou-se pela morte de 188 pessoas, no dia 1º de fevereiro de 1974, com início do incêndio por volta das 9 horas da manhã. Este incêndio gerou grande comoção, devido ao fato de várias pessoas se jogarem do edifício com a esperança de vida (SILVA, 2012).

Figura 03 - Incêndio Lojas Renner, Porto Alegre, 1976



Fonte: Sinistro em prédio das Lojas Renner, em Porto Alegre (RISCO, 2015, texto online).

A catástrofe na Lojas Renner foi caracterizada pela morte de 41 pessoas, ocorrida no dia 27 de abril de 1976, no centro de Porto Alegre - RS.

Diante destes marcos históricos ocorridos no Brasil, é possível constatar que o incêndio, por atingir elevadas temperaturas, promove a destruição das edificações. Com as altas temperaturas, o concreto comporta-se de maneira distinta, podendo resultar na ruína da estrutura e, conseqüentemente, na ruína da edificação.

Thomaz (2007) considera que os materiais utilizados na construção civil estão sujeitos a retrações e expansões provenientes das variações de temperatura. A intensidade destas retrações e expansões é definida em virtude de cada material e da amplitude da variação da temperatura. Para a maioria das construções, a amplitude da variação é definida apenas pelo sol, que não consegue impor, de certa forma, grandes variações. Contudo, um incêndio conseguiria prover uma alta energia, a qual poderia submeter os materiais a uma grande temperatura e, conseqüentemente, a comportamentos variados, podendo, assim, levar ao colapso da estrutura.

Nos materiais sólidos, como ocorre no concreto e em outras alvenarias, há, com a variação da temperatura, o aparecimento de tensões internas, que podem

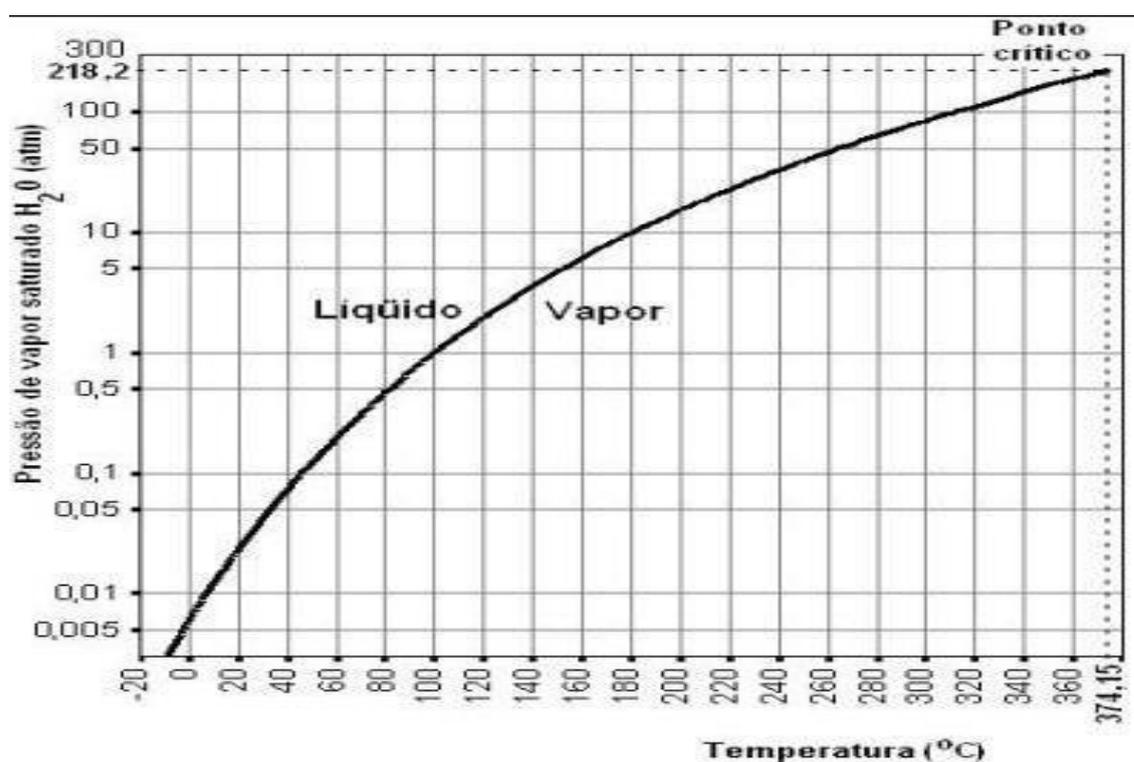
promover o aparecimento de fissuras e trincas, as quais concentram as tensões e propiciam o colapso da estrutura, ruindo assim as construções (ROÇA, 2014). Os materiais que compõem o concreto possuem diferentes coeficientes de dilatação térmica e de condutibilidade térmica, o que remete aos esforços internos que o concreto desenvolve durante o aquecimento (THOMAZ, 2007). O concreto apresenta desempenho adequado, mesmo quando exposto ao calor, uma vez que não há despreendimento de gases e, portanto, o material mantém-se, de certa forma, inalterado, segundo Thomaz (2007).

O mesmo autor considera que o intervalo de tempo que o mesmo resiste ao calor mantendo características adequadas de resistência e durabilidade é relativamente longo. As diferenças de reações sofridas pelo concreto ao longo de sua exposição ao calor podem ser atribuídas às mudanças de tensões atenuantes, ao teor de umidade do material exposto, ao tempo de exposição de elevadas temperaturas e também a propriedades dos agregados e adições envolvidos na mistura, segundo Mehta e Monteiro (2014) e Neville (1997).

O concreto, quando submetido a elevadas temperaturas, não emite gases tóxicos. Diferentemente de outros materiais como o aço, sua resistência não é comprometida nas primeiras horas de exposição ao calor, permitindo, desta forma, a operação de resgates antes que a estrutura colapse, conforme Mehta e Monteiro (2014).

A água, juntamente com os agregados, tem um papel fundamental e indispensável devido ao fato de ocasionar um aumento de pressão nos poros do concreto, provenientes da evaporação da água presente na matriz cimentícia (LIMA, 2005). A água, com o acréscimo de temperatura, aumenta seu volume, e este acréscimo de volume promove uma grande tensão interna nos poros de concreto, conforme Gráfico 01 abaixo:

Gráfico 01 - pressão de vapor em função da temperatura



Fonte: UFRGS (texto online).

Quanto maior o teor de umidade, maior a chance de ocorrer o lascamento superficial, conforme o que dizem Mehta e Monteiro (2014). Para minimizar os efeitos que a água promove no concreto, é desejável que o concreto tenha mínima porosidade, capaz de dissipar os esforços internos provocados pela dilatação térmica dos materiais (NEVILLE, 1970). Contudo, esta porosidade deve ser a mínima possível, para que se obtenha o concreto suficientemente resistente.

Ao analisar separadamente o comportamento dos constituintes do concreto, observa-se que a água contida no concreto apresenta-se em três distintas condições: água ligada quimicamente, fisicamente e em estado livre. Quando a temperatura

alcança pouco mais que 100°C, ocorre a vaporização da água no estado livre e parte da água ligada fisicamente. Com isso, as resistências mecânicas se alteram. Até 300°C a perda de água limita-se a parcelas de água fisicamente ligadas, enquanto a água de constituição do hidróxido de cálcio só é eliminada a temperaturas superiores a 400°C (OLIVEIRA, 2002).

Concretos de alta resistência adquirem uma perda de resistência diferente. Quando comparados com os concretos de resistência normal, possuem também maior tendência de descolamentos explosivos, devido à falta de vazios. Mehta e Monteiro (2014) citam que o estudo sobre o descolamento explosivo possui resultados variados baseados em condições de carregamento, dosagem do concreto, resistência à compressão original e teor de umidade.

Na Tabela 03 tem-se a estimativa de perda de resistência do concreto de resistência normal relacionada com a exposição à temperatura.

Tabela 03 - Resistência e sua relação com a elevação da temperatura

Temperatura (°C)	Tração (%)	Compressão (%)
	100	100
200	70	85
300	40	75
500	20	50
800	5	50

Fonte: Adaptado pela autora (OLIVEIRA, 2000).

O concreto de cimento Portland, embora de maneira pouco reduzida, conserva significativamente suas qualidades mecânicas até 300°C. Para temperaturas acima de 300°C é preferível que se utilize cimentos Portland que produzam menos hidróxido de cálcio, ou seja, cimentos Portland pozolânicos (OLIVEIRA, 2002).

Para Mehta e Monteiro (2014), os concretos deterioram-se em altas temperaturas quando na presença de água ou umidade, pois no aquecimento forma-se óxido de cálcio livre, proveniente da decomposição do hidróxido de cálcio. O material pozolânico reduz a concentração do hidróxido de cálcio, pois transforma-o em silicato de cálcio hidratado (CSH), o qual resulta em uma maior resistência com o tempo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Os agregados do concreto possuem coeficientes de dilatação distintos, e portanto, ao elevarem-se a temperaturas, os agregados de coeficientes elevados promovem uma menor resistência ao concreto, visto que promovem o fissuramento. A sílica, quando submetida a 550°C, transforma-se em uma variedade alotrópica, variando de tamanho consideravelmente. Os agregados, chamados calcáricos, liberam, ao se decompor, dióxido de carbono e óxido de magnésio, quando atingem temperaturas de 900°C (OLIVEIRA, 2002). O concreto, com o aumento da temperatura, sofre diferentes transformações em sua composição e na de seus componentes, conforme expresso na tabela 04 abaixo.

Tabela 04 - Mudanças que ocorrem no concreto com ao aumento da temperatura

Estágio	Temperatura(°C)	Transformação ou reação de decomposição
1	30 – 120	Evaporação da água livre
2	30 – 300	Desidratação da água não evaporada ou água quimicamente combinada do gel de cimento
3	120 – 600	Liberação das águas livres e quimicamente combinadas remanescentes
4	450 – 500	Decomposição do Ca(OH)_2 : $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
5	570	Transformação do quartzo da forma α para β
6	600 – 700	Decomposição do CSH e formação de $\beta\text{-C}_2\text{S}$
7	780	Recristalização das partículas de cimento não hidratadas
8	600 – 900	Descarbonatação do agregado de calcário

Fonte: Adaptado pela autora de Schneider e Diedrich (apud KIRCHHOF, 2010).

Os concretos que possuem microestrutura muito compacta e baixa permeabilidade podem sob certas condições térmicas e mecânicas como o rápido aquecimento, sofrer *spalling* (desplacamentos explosivos). Estes deslocamentos derivam da evaporação da água e de tensões geradas a partir dos gradientes de deformações térmicas dos materiais (LIMA, 2005).

O concreto, quando submetido a altas temperaturas, possui seu comportamento influenciado por fatores que se classificam em externos e internos, segundo Nince, Figueiredo e Bittencourt (2003). Os externos são a taxa de aquecimento, a temperatura máxima, o tempo de exposição, o tipo de exposição, o carregamento, a umidade do ambiente, o tipo de resfriamento, as condições do ensaio e a concentração de tensões térmicas provenientes do aquecimento próximas aos cantos do copo de prova. Os fatores internos são a distribuição e tamanhos dos poros, diferença de dilatação térmica entre agregado e pasta, relação de água e cimento, resistência de partículas finas e grau de hidratação.

A adição de fibras de polipropileno no concreto é avaliada como uma medida para reduzir os resultados de *spalling* (desplacamentos explosivos), pois o emprego destas contribui para o acréscimo da resistência residual (LIMA, 2005).

2.3 Conceitos básicos das fibras

2.3.1 Definição

Mano e Mendes (2004) definem as fibras como um termo geral que remete a um corpo flexível, cilíndrico e de pequenas seções, transversal com elevada razão entre o comprimento e o diâmetro, razão superior a cem. O mesmo autor considera ainda que, no caso de fibras de polímeros, existe uma estreita faixa de extensibilidade, e estas resistem a variações de temperaturas de cinquenta graus Celsius negativos a cento e cinquenta graus Celsius positivos, sem alteração relevante das propriedades mecânicas.

Mehta e Monteiro (2014) consideram que o concreto elaborado a partir do cimento hidráulico, agregados, água e fibras discretas e descontínuas é denominado Concreto Reforçado com Fibras – CRF (*fiber-reinforced concrete – FRC*). Com a incorporação das fibras, percebeu-se que a rápida propagação das microfissuras, provenientes dos esforços de tração do concreto, era reduzida e, conseqüentemente, favorecia um aumento da resistência à tração do material. Apesar do mercado de concreto reforçado com fibras, comparado à produção total de concreto, ainda ser pequeno, houve um crescimento anual na América do Norte de 20% (vinte por cento).

2.3.2 Características das Fibras de Polipropileno

Para Andrade (2007), os polímeros possuem classificações como termoplásticos, termofixos e elastoméricos. O polipropileno enquadra-se na classificação de polímero termoplástico, ou aquele que amolece e flui quando exposto a determinada temperatura e pressão, podendo, então, ser moldado. Possui, ainda, características recicláveis, ou seja, tem as propriedades de um material que pode ser remoldado.

Já para Canevarolo Jr. (2002), os polímeros podem ser classificados quanto à sua estrutura química, quanto ao método de preparação, quanto ao comportamento mecânico e quanto ao desempenho mecânico. Para o mesmo autor, o polipropileno se enquadra como uma estrutura química de cadeia carbônica, de método de preparação de adição, comportamento mecânico termoplástico e desempenho mecânico termoplástico convencional (*commodities*).

O polipropileno é um polímero fabricado a partir da nafta derivada do petróleo. Este material é composto, de origem natural ou sintética, com grandes cadeias de carbono e altas massas molares (ANDRADE, 2007). O polipropileno é produzido a partir do petróleo na forma de óleo cru, que é submetido à destilação fracionada, gerando, como um de seus produtos, a nafta, a qual é submetida ao craqueamento térmico (pirólise a 800 °C) e, por sua vez, apresenta como produto o polipropileno (CANEVAROLO JR, 2002). O polipropileno possui como principais características a baixa massa específica e a boa resistência à corrosão, além de boas características de isolamento térmico e elétrico. Ainda, possui moderada resistência mecânica,

apresentando uma densidade aproximada de 0,9 gramas por centímetro cúbico. (ANDRADE, 2007).

O polipropileno utilizado na construção civil em forma de fibras de polipropileno pode ser classificado em duas formas básicas: microfibras e macrofibras. As microfibras são subdivididas em monofilamentadas e fibriladas. As ditas fibras de polipropileno fibriladas possuem seção retangular e apresentam-se como uma espécie de malha de filamentos muito finos que, por sua vez, promovem um acréscimo na adesão entre a fibra e a matriz. A responsável por este efeito de intertravamento, segundo Bentur e Mindess (2007), é a estrutura em malha.

Ainda o mesmo autor considera que as fibras de polipropileno monofilamentadas são aquelas que se apresentam em fios individualizados e de comprimento padrão. Tanto as monofilamentadas quanto as fibriladas possuem uma mesma resistência e um mesmo módulo de elasticidade. Contudo, as monofilamentadas, por possuírem estrutura individual das fibras, são mais eficientes no combate das microfissuras provenientes dos efeitos de tração no concreto. Na figura 04 está representada a microfibra de polipropileno monofilamentada, enquanto na figura 05 está representada a microfibra de polipropileno fibrilada.

Figura 04 - Microfibra de polipropileno monofilamentada



Fonte: Retirado de NEOMATEX, texto online.

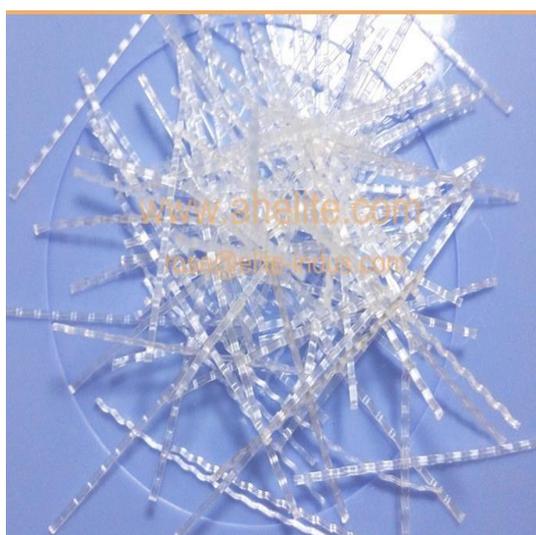
Figura 05 - Microfibra de polipropileno fibrilada



Fonte: Retirado de Anhui Elite Industrial Co Ltda, texto online (a).

Figueiredo (2011) cita que as macrofibras são unidades de tamanhos grandes produzidas com o viés de promover um reforço estrutural em moldes semelhantes às fibras de aço. Promovem uma grande representação volumétrica por unidade de fibra. Ou seja, incorporadas ao concreto, mesmo em pequenas quantidades, promovem uma grande fração volumétrica. Na figura 06 está representada a macrofibra de polipropileno.

Figura 06 - Macrofibra de polipropileno



Fonte: Retirado de Anhui Elite Industrial Co Ltda, texto online (b).

2.3.2.1 Características do material aquecido

O polipropileno é um tipo de polímero e, portanto, ao ser aquecido, ocorrem modificações físico-químicas. Estas modificações são, invariavelmente, a volatilização do material, isto é, a decomposição química do material em produtos voláteis, em determinadas temperaturas (MANO, 2000). O comportamento esperado ao aquecer polímeros é a expansão volumétrica do mesmo, ocorrendo de maneira linear com o aumento da temperatura (CANEVAROLO JR, 2002). Os polímeros, por serem originados de macromoléculas orgânicas, são estáveis apenas abaixo de determinadas temperaturas limites, que normalmente variam de 100 a 200 °C. Quando elevados a temperaturas próximas de 1000 °C os polímeros decompõem-se em fragmentos (radicais livres, íons livres, gás hidrogênio e monóxido de carbono), segundo Gonçalves (2007).

Bentur e Mindess (2007) citam que as fibras de polipropileno originam-se a partir da resina de polipropileno e uma das principais vantagens do uso destas fibras, quando comparadas a outros polímeros, é o relativo alto ponto de fusão, que varia próximo de 165 °C. Contudo, possuem baixa resistência à exposição ao fogo e ao oxigênio.

As características físicas dos polímeros, duros e frágeis ou plásticos e facilmente moldáveis, são determinadas pela mobilidade da cadeia polimérica, e esta está diretamente ligada ao grau de agitação das moléculas e, portanto, da temperatura, conforme Canevarolo Jr (2002). Para o mesmo autor, podem ser apresentadas três temperaturas importantes de transição nos polímeros: transição vítrea, fusão cristalina e cristalização. A transição vítrea (T_g) caracteriza-se pela mudança do estado do polímero rígido e quebradiço para um estado com certa mobilidade, dito como borrachoso. Esta temperatura é próxima dos 5 graus Celsius negativos para o polipropileno. Já a temperatura de fusão cristalina (T_m) caracteriza-se pela mudança do estado do polímero com certa mobilidade, borrachoso, para um estado viscoso, fundido. Esta temperatura é próxima dos 183 graus Celsius para o polipropileno. Por fim, a temperatura de cristalização (T_c) caracteriza-se quando ocorre o rearranjo das estruturas em cristalinas, caracterizado pelo resfriamento de polímeros semicristalinos que encontravam-se a temperaturas elevadas, encontrando-se este em seu estado fundido. Ao resfriá-los, portanto, estes rearranjam

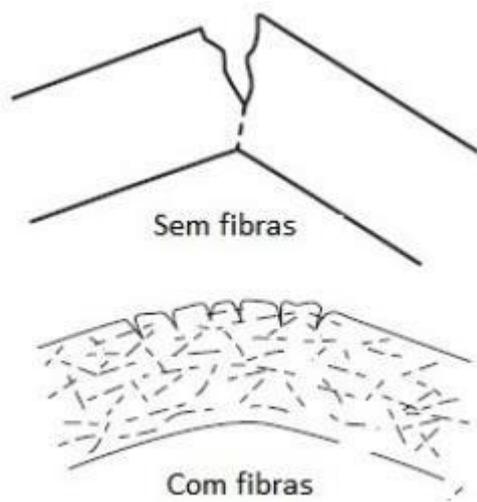
suas estruturas, originando estruturas cristalinas. Esta temperatura de cristalização encontra-se entre a T_g e a T_m , podendo variar conforme condições adversas, conforme o que diz Canevarolo Jr (2002).

2.4 Características do concreto com adição de fibras de polipropileno

Segundo Mehta e Monteiro (2014), assim como o tipo de fibra, os efeitos das propriedades do concreto reforçado também são modificados conforme a variação da fração volumétrica de fibras incorporadas ao concreto. O CRF (Concreto Reforçado com Fibras) pode ser classificado em baixa fração volumétrica, moderada fração volumétrica e alta fração volumétrica. Ainda o mesmo autor cita que a baixa fração volumétrica (<1%) é utilizada para reduzir fissurações provenientes da retração do material utilizado comumente em estrutura com grandes superfícies expostas. A moderada fração volumétrica (entre 1 e 2%) é utilizada quando se deseja aumentar o módulo de ruptura, tenacidade à fratura e resistência a impactos, e é comumente utilizada em estruturas que exigem capacidade de absorção de energia, resistência à delaminação, lascamento e fadiga. A alta fração volumétrica (>2%) é utilizada para elevar o nível de endurecimento por deformação dos compósitos. É comumente utilizada para a obtenção de composto de alto desempenho reforçado com as fibras de polipropileno.

Ao contrário do concreto convencional, um corpo-de-prova de concreto reforçado com fibras não se rompe imediatamente a partir do início de sua primeira fissura. Ocorrem diversas fissuras menores que aumentam de tamanho gradativamente devido ao arrancamento ou escorregamento da fibra. Este efeito aumenta o tempo de fratura e é denominado tenacidade. Na figura 07 é demonstrado o efeito que promove à adição de fibras de polipropileno e o aumento da propriedade de tenacidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Figura 07 - Mecanismo de aumento de tenacidade à flexão do concreto com fibra



Fonte: Adaptado de Johnson (apud MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Lucena (2017) afirma que um compósito elaborado a partir da combinação de material baseado em cimento Portland e em polímeros apresenta características de resistência mecânica, módulo de elasticidade, ductilidade, tenacidade e comportamento pós-fissuração mais adequados ao diversos usos, quando comparados às propriedades de seus componentes isoladamente. Ainda o mesmo autor considera que os materiais que compõem um compósito são classificados em matriz e elemento de reforço, sendo o primeiro o que confere à estrutura material compósito, preenchendo espaços vazios, e o segundo, o que realça as propriedades mecânicas do material compósito como um todo.

Segundo Budinski apud LUCENA, (2017), os compósitos originados de combinações de materiais poliméricos e materiais cerâmicos são os mais importantes, pois os cerâmicos apresentam alta rigidez, fragilidade, baixa resistência à tração e baixo módulo de elasticidade, enquanto os polímeros possuem ductilidade variável, moderada resistência à tração e baixo módulo de elasticidade. Os materiais baseados em cimento Portland são considerados cerâmicos por possuírem propriedades típicas a este grupo, enquanto as fibras de polipropileno possuem afinidade com as características gerais dos polímeros.

Gencel et al (2011) citam que as propriedades mecânicas do concreto têm a possibilidade de serem melhoradas com a adição de fibras curtas discretas aleatoriamente orientadas. Estas previnem e controlam a formação e a propagação das fissuras provenientes por esforços internos de tração no material, a partir da distribuição homogênea das tensões na matriz do concreto.

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a adição de fibras, sejam elas de polipropileno ou de outro material, ao concreto convencional, diminui consideravelmente a trabalhabilidade, que dependerá proporcionalmente do volume de fibras adicionado à mistura. A adição das fibras também promove a resistência à flexão do material. Contudo, o maior benefício da adição é a tenacidade à flexão do material: conforme maior a fração volumétrica das fibras, maior será a resistência à flexão e tenacidade. As fibras de baixo módulos como as de nylon de polipropileno mostram-se muito efetivas na produção de elementos de concretos pré-moldados sujeitos a impactos severos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo de materiais e métodos foram descritos os materiais, os equipamentos e as técnicas de desenvolvimento do trabalho de pesquisa. As técnicas foram desenvolvidas utilizando o apoio do Laboratório de Tecnologia da Construção (Latec) e o Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metrologia, ambos pertencentes à Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES.

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP IV de 32 MPa pozolânico, fabricado pela empresa Votorantim. Segundo o fabricante, é indicado para construções que serão executadas em ambientes agressivos e sujeitos a intempéries. Ao ser misturado com a água, agregados miúdos e graúdos formam os concretos, materiais compósitos. Optou-se pelo uso do Cimento Portland pozolânico pois as pozolanas presentes neste cimento propiciam a ele melhor desempenho quando submetidas a altas temperaturas, em virtude de produzirem menos hidróxido de cálcio.

3.1.2 Água

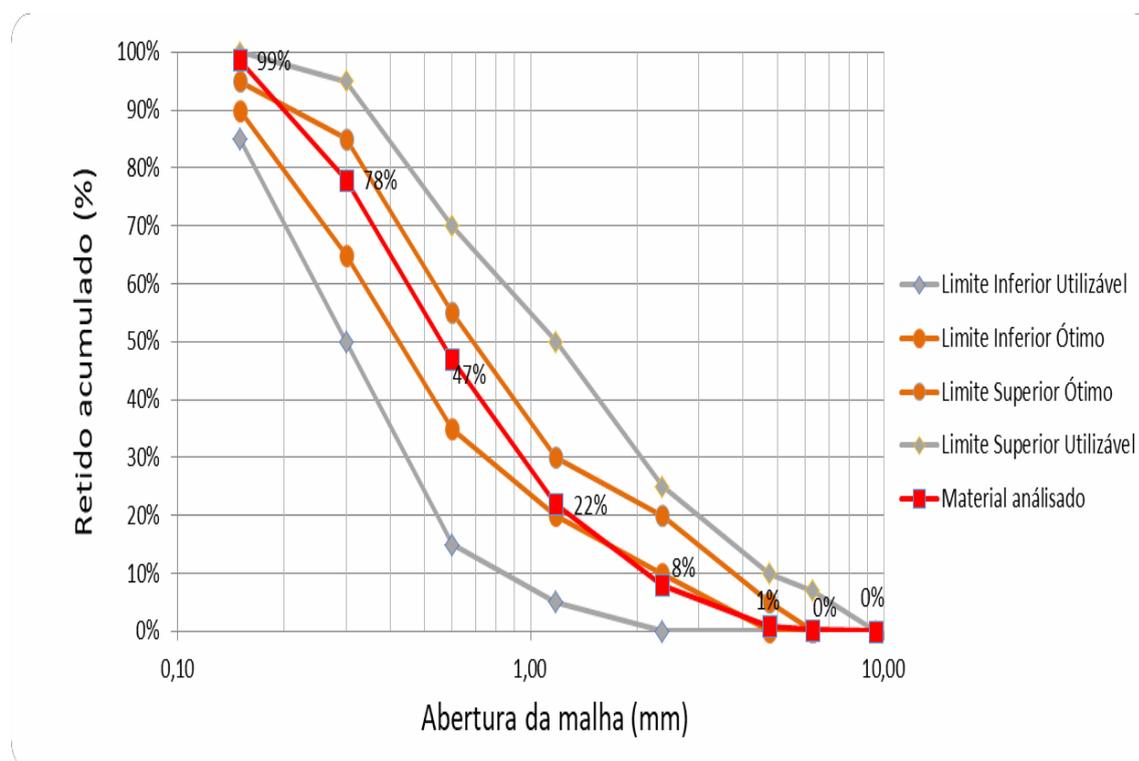
A água empregada para a mistura de concreto foi a proveniente da rede de distribuição de água potável da cidade de Lajeado/RS.

3.1.3 Agregados

3.1.3.1 Areia

O agregado miúdo utilizado para a composição dos traços de concreto foi a areia proveniente de empresas da região do Vale do Taquari. Para a composição granulométrica foi utilizada a NBR NM 248/2003 para a verificação dos padrões, quando foram utilizadas as peneiras da série normal e intermédia para obter a classificação da referida areia, a partir dos valores de massa retidos em cada peneira. O resultado do ensaio de granulometria está representado no Gráfico 02 da curva granulométrica. O ensaio de determinação de massa específica e massa específica aparente foi realizado com base na NBR NM 52/2003, a qual descreve os procedimentos para estipular a relação massa-volume do agregado miúdo. Estes ensaios foram realizados no Latec da Univates, e os resultados obtidos da massa específica e massa unitária seguem na tabela 02.

Gráfico 02 - Curva Granulométrica da areia



Fonte: Da autora (2017).

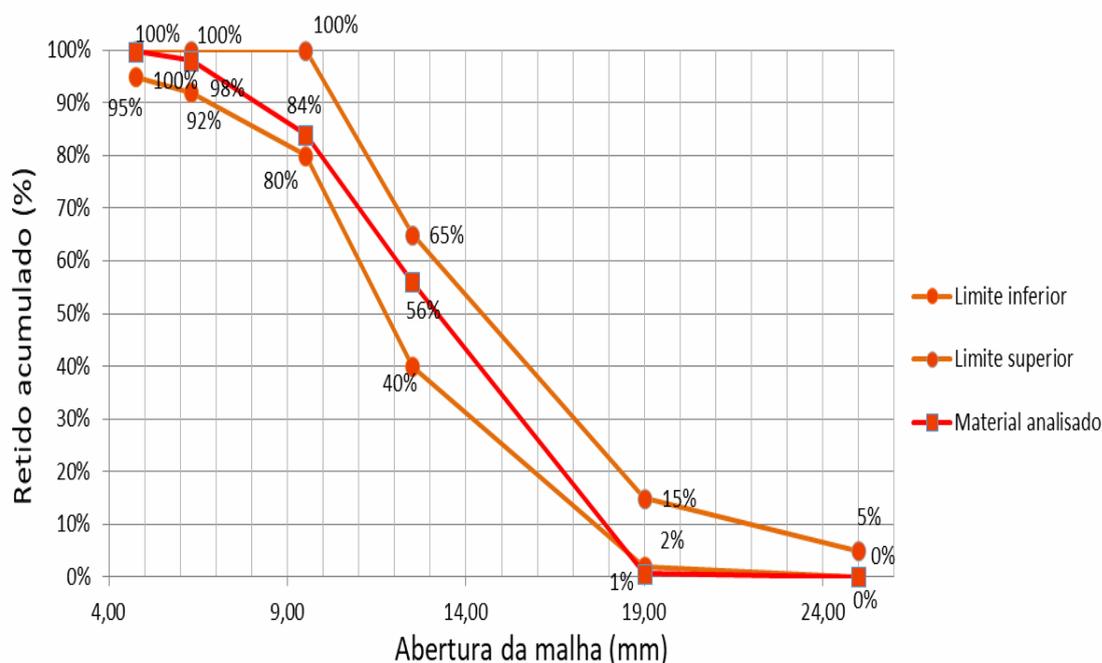
Tabela 05 - Massa específica e massa unitária da areia

Material	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Unitária (kg/m ³)
Areia Média	2641	1585

Fonte: Da autora (2017).

3.1.3.2 Brita

O agregado graúdo utilizado para a composição dos traços de concreto foi a brita 1, proveniente de empresas da região do Vale do Taquari. Sua composição granulométrica foi verificada de acordo com a NBR NM 248/2003, quando foram utilizadas as peneiras da série normal e intermédia para obter a classificação da referida brita, a partir dos valores de massa retidos em cada peneira. O resultado deste ensaio segue no gráfico 03 da curva granulométrica. O ensaio de determinação de massa específica e massa específica aparente foi através da NBR NM 53/2003, a qual descreve os procedimentos para conseguir estipular a relação massa-volume do agregado graúdo. Os resultados seguem na tabela 06. Estes ensaios foram realizados no Latec da Univates.

Gráfico 03 - Curva granulométrica da brita 01

Fonte: Da autora (2017).

Tabela 06 - Massa específica e massa unitária da brita

Material	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Unitária (kg/m ³)
Brita 01	2782	1397

Fonte: Da autora (2017).

3.1.4 Aditivos

3.1.4.1 Superplastificante

Para o trabalho foi utilizado o tipo Super Plastificante (SP) de 3ª geração, composto com base de policarboxilatos, Utilizou-se este aditivo químico superplastificante, pois a confecção de concretos especiais com resistências elevadas necessita de maiores proporções de cimento na mistura. Este maior consumo de cimento aumenta o teor de finos da mistura e, para isso, necessita de maior consumo de água para a hidratação do cimento e para manter a trabalhabilidade desejada. Para suprir esta demanda de água sem o comprometer a resistência do concreto, é adicionada à mistura o aditivo superplastificante.

3.1.5 Fibras de polipropileno

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da adição de fibras de polipropileno monofilamentadas (citadas no item 2.3.2 deste trabalho), pois estas possuem maior relação entre o número de fibras por massa quando comparadas a fibras de polipropileno fibriladas. Quando as mesmas são incorporadas ao concreto tem a função de reforço e não promovem reações, atua como adição. São indicado pelo fabricante a utilizar na proporção de 600g até 8 Kg por m³ de concreto. As fibras reduzem parte da trabalhabilidade do concreto, mas fornece mais coesão ao concreto em seu estado fresco, antes da “pega”. Promove a dissipação de esforços internos do concreto. Possui Densidade aproximada de 0,9 g/cm³;

3.2 Dosagem

Para o presente trabalho foi realizado um teste piloto dos três traços distintos, com relação de a/c diferentes variando entre 0,4, 0,6 e 0,8. Os traços testados foram definidos conforme estudos já realizados pelos autores Onuki e Gasparetto (2013). Da mesma forma foram adotados três parâmetros diferentes para obtenção das resistências a/c's de 0,4; 0,6 e 0,8. O traço foi desenvolvido para um volume de 32 litros de material e com valores mínimos de slump de 12 ± 2 cm, conforme a tabela 07.

Tabela 07 - Traços do concreto com a adição de fibras de polipropileno

Tipo de traço		Relação a/c em kg	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Aditivo (g)	Fibras de PP (g)	Fibras de PP em g/m ³ de Concreto
Concreto de alta resistência (traço 1)	Com fibras	0,4	1	0,73	2,16	4,72	1,09	608
Concreto de média resistência (traço 2)	Com fibras	0,6	1	1,4	3,09	4,72	1,25	697
Concreto de baixa resistência (Traço 3)	Com fibras	0,8	1	2,09	3,98	4,72	1,34	747

Fonte: Adaptado de ONUKI e Gasparetto (2013).

Para o teste-piloto foi realizada a moldagem de cinco corpos-de-prova de 20x10 cm para o ensaio de compressão e um prismático com dimensões de 15x15x50 cm para o ensaio de flexão. A quantidade de cada material utilizado segue na tabela 08, onde tem-se o cimento, areia, brita e a água em quilogramas (kg) e o aditivo e as fibras em gramas (g). O material foi primeiramente majorado em 30% para descobrir primeiramente a densidade do concreto, obtendo, assim, uma quantidade de 24 litros (L) e 835 mililitros (mL).

Tabela 08 – Quantidade do material utilizado no teste piloto

TRAÇO	Relação A/C	Cimento (kg)	Areia Média (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	Aditivo Superplastificante (g)	Fibras de PP (g)
TRAÇO 1	0,4	13,876	10,148	30,031	5,550	65,49	15,10
TRAÇO 2	0,6	9,783	13,738	30,214	5,870	46,17	17,30
TRAÇO 3	0,8	7,573	15,857	30,116	6,058	35,74	18,55

Fonte: Da autora (2017).

Na figura 08 abaixo tem-se os Cp's moldados do traço 1 e 2, o qual compreende cinco Cp's Cilíndricos e um Cp's Prismático de cada traço para a realização do ensaio de resistência à compressão e flexão aos 7 dias de cura do concreto, tendo em vista a urgência de resultados. Para verificar a evolução da resistência à compressão foi utilizada o item 12.3.3 da ABNT 6118, a qual descreve que aos 7 dias de cura os concretos devem atingir 68% de sua resistência.

Figura 08 - Imagem dos Cp's moldados Traço 1 e 2

Fonte: Da autora (2017).

Na figura 09 tem-se os Cp's moldados do traço 3, o qual compreende cinco Cp's Cilíndricos e um Cp's Prismático para a realização do ensaio de resistência à compressão e flexão aos 7 dias de cura do concreto.

Figura 09 - Moldagem dos Cp's Traço 3



Fonte: Da autora (2017).

Estes corpos-de-prova ficaram por um período de sete dias na câmara úmida. Após este período, foram ensaiados conforme as normativas.

A partir dos resultados obtidos aos sete dias foi feita a escolha do traço de maior resistência do concreto com a adição de fibras de polipropileno monofilamentadas. Os resultados dos ensaios seguem nos itens 3.1.4.1 e 3.1.4.2, respectivamente com as seguintes resistências para relação a/c 0,4 atingiu 31,78 Mpa, para relação a/c 0,6 atingiu 8,79Mpa e para relação a/c 0,8 atingiu 5,52Mpa. O mesmo foi reajustado com a finalidade de ter somente uma variável, no caso, as fibras de polipropileno. A tabela 09 apresenta o traço reajustado e as novas quantidades de fibras. As fibras foram distribuídas conforme a indicação do fornecedor, onde o máximo de fibras indicadas para 1 m³ de concreto é de 8 kg e o mínimo para 1 m³ de concreto é de 600 g. Adotou-se o seguinte parâmetro: a quantidade mínima, a média e a máxima da adição de fibras de polipropileno monofilamentadas.

Tabela 09 - Adaptação do traço de maior resistência do concreto com a adição de fibras de polipropileno monofilamentadas

Tipo de traço	Relação a/c em kg	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Aditivo (g)	Fibras de PP (g)	Fibras de PP em g/m ³ de Concreto
Traço A	0,4	1	0,73	2,16	4,72	0	0
Traço B	0,4	1	0,73	2,16	4,72	1,11	600
Traço C	0,4	1	0,73	2,16	4,72	7,93	4300
Traço D	0,4	1	0,73	2,16	4,72	14,76	8000

Fonte: Da autora (2017).

Na tabela 10 tem-se as quantidades de cimento, areia, brita e água em quilogramas (kg) e o aditivo e as fibras em gramas (g). Cada traço foi primeiramente majorado em 15% em relação ao volume e depois calculado para uma quantidade de 20 Cp's Cilíndricos com dimensões de 20x10 cm e quatro Cp's Prismáticos com dimensões de 15x15x50 cm. Obteve-se então 87 litros (L) e 878 mililitros (mL).

Tabela 10 - Quantidade de material utilizado na mistura

TRAÇO	Relação A/C	Cimento (kg)	Areia Média (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	Aditivo Superplastificante (g)	Fibras de PP (g)
TRAÇO A	0,4	47,646	34,845	103,117	19,057	224,89	0,00
TRAÇO B	0,4	47,646	34,845	103,117	19,057	224,89	52,73
TRAÇO C	0,4	47,646	34,845	103,117	19,057	224,89	377,88
TRAÇO D	0,4	47,646	34,845	103,117	19,057	224,89	703,03

Fonte: Da autora (2017).

3.3 Temperatura

Foram moldados cinco corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20 cm e um corpo de prova prismático com dimensões 15x15x50 cm para cada traço e temperatura de exposição (200, 400 e 600 °C). Além disso, foram moldados cinco

corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20 cm e um corpo de prova prismático com dimensões 15x15x50 cm para cada traço, que serviram como parâmetro, não sendo aquecidos, apenas ensaiados para obtenção da resistência aos 28 dias.

Os corpos-de-prova foram confeccionados conforme a NBR 5738/2003, que consiste nos procedimentos para a moldagem e cura de corpos-de-prova. A quantidade de corpos-de-prova a serem moldados está descrita na tabela 10. Após a cura do concreto, que foi efetuada na câmara úmida da LATEC (Univates) durante o período de 28 dias, os referidos corpos-de-prova que seriam expostos a altas temperatura foram colocados na estufa de secagem por um período de 48 horas para reduzir a quantidade de água no concreto. Durante as primeiras 24 horas ficaram a uma temperatura de 50 °C e, posteriormente, permaneceram mais 24 horas a uma temperatura de 105 °C. Após este processo, ficaram esfriando por um período de 24 horas à temperatura e umidade ambiente para posteriormente serem submetidos a diferentes temperaturas durante um período de 5 horas no forno mufla. Após este processo foram retirados da mufla e deixados resfriar à temperatura e umidade ambiente por um período de 24 horas, para posteriormente serem realizados os testes descritos no item 3.5 e 3.6 deste trabalho.

As diferentes temperaturas adotadas no ensaio foram de 200 °C; 400 °C e 600 °C com base nos trabalhos de pesquisa já realizados por Nince, Figueiredo e Bittencourt (2003). A confecção da quantidade de corpos-de-prova far-se-á de acordo com a tabela 11. Os mesmos ficaram expostos por um período de 5 horas.

Ensaio	Compressão				Tração				
	0	600	4300	8000	0	600	4300	8000	
FIBRAS (g/m ³ de concreto)	0 (g/m ³)	600 (g/m ³)	4300 (g/m ³)	8000 (g/m ³)	0 (g/m ³)	600 (g/m ³)	4300 (g/m ³)	8000 (g/m ³)	
Tempera- tura	Não aquecido	5	5	5	5	1	1	1	1
	200	5	5	5	5	1	1	1	1
	400	5	5	5	5	1	1	1	1
	600	5	5	5	5	1	1	1	1

Fonte: Da autora (2017).

Na figura 10 tem-se o traço A moldado conforme a tabela de quantidade de corpos-de-prova. Neste caso foram moldados 20 Cp's Cilíndricos e quatro Cp's Prismáticos para o traço.

Figura 10 - Moldagem dos Cp's Traço A



Fonte: Da autora (2017).

Na figura 11 abaixo tem-se os traços B, C e D, que foram moldados conforme a tabela 10 de quantidade de corpos-de-prova. Neste caso, para cada traço foram moldados 20 Cp's Cilíndricos e quatro Cp's Prismáticos para cada traço.

Figura 11 - Moldagem dos Cp's traço B, C e D



Fonte: Da autora (2017).

3.4 Ensaio do concreto em estado fresco

Os ensaios do concreto em seu estado fresco visam a verificação das propriedades do concreto antes da cura, ou seja, antes dele solidificar-se. Isto promove uma estimativa das propriedades de trabalhabilidade e, conseqüentemente, do seu comportamento ao solidificar-se, garantindo melhores desempenhos do material solidificado.

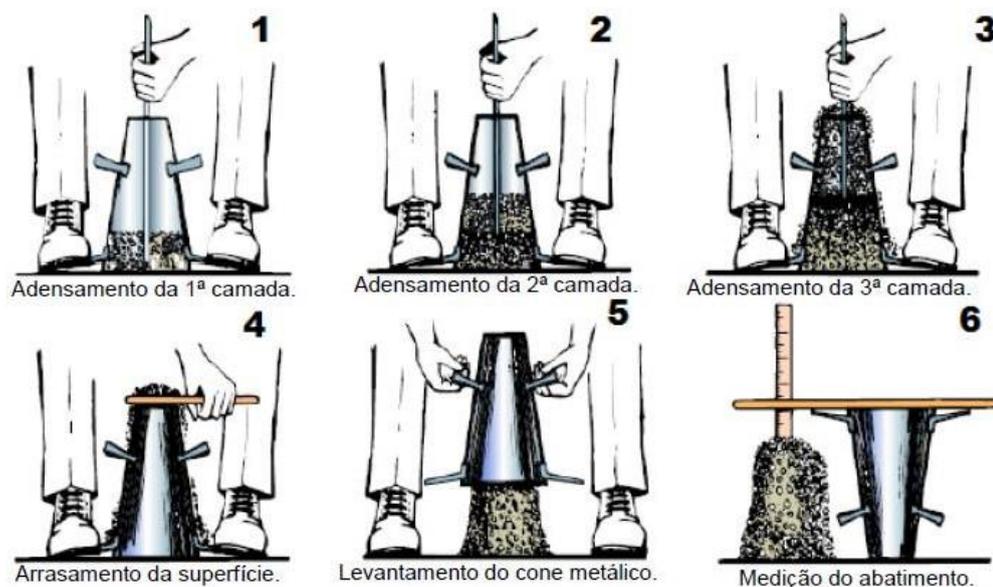
Para o referido experimento, o único ensaio que será executado com o concreto em seu estado fresco será o *Slump Test*.

3.4.1 *Slump Test*

O *Slump Test*, também descrito como “ensaio de abatimento do concreto”, permite avaliar a sua trabalhabilidade, ou seja, a capacidade do material preencher vazios existentes nas formas onde endurecerá e tomar a forma necessária sem deixar espaços incompletos (SOBRAL, 2000).

Para o ensaio existe uma norma que regula as ações, garantindo que sejam preservados os parâmetros de qualidade do material submetido ao ensaio. Esta norma regulamentadora é a NBR NM 67 (ABNT, 1996). O referido ensaio foi realizado dentro dos padrões estipulados pela referida NBR, conforme a figura 12, a qual descreve os procedimentos para o ensaio, visando o resultado inicial de 12 ± 2 . Posteriormente ao ensaio de abatimento do concreto, foi efetuada a confecção dos corpos-de-prova, conforme NBR 5738 (ABNT 2003).

Figura 12 - Procedimentos para o ensaio de abatimento *Slump Test*



Fonte: Adaptado pela autora com base em Mehta e Monteiro (2014).

3.5 Ensaio do concreto em estado rígido

Após o seu endurecimento, o concreto foi colocado na câmara úmida, conforme a figura 13, em um período de 28 dias para a cura do concreto. Após este procedimento, foram colocados na câmara de secagem, conforme figura 14, a qual compreende o equipamento, por 48 horas, onde nas primeiras 24 horas ficaram expostos a uma temperatura de 50 °C e o restante do tempo a uma temperatura de 105 °C. Este ensaio teve como objetivo a redução da quantidade de água dos concretos a fim de evitar o efeito de *spalling* ou deslocamento explosivo, para exclusivamente fazer a avaliação das propriedades de resistências mecânicas conforme os ensaios descritos no item 3.5.1.

Figura 13 - Cp's na câmara úmida por um período de 28 dias



Fonte: Da autora (2017).

Figura 14 - Câmera de secagem



Fonte: Da autora (2017).

3.5.1 Resistência à temperatura (câmara mufla)

O referido trabalho visa a submeter os corpos-de-prova a temperaturas diferentes, de 200 °C, 400 °C e 600 °C, durante um período de 5 horas de exposição, para relatar as modificações que possam ocorrer no concreto com fibras de PP após ser aquecido em forno mufla e resfriado em ambiente com corrente de ar natural por

um período de 24 horas. O tempo de exposição ao calor foi estudado por Nince, Figueiredo e Bittencourt (2003), os quais constataram que, em um período de exposição de 5 horas a altas temperaturas, obteve-se o *steady-state* (estado de equilíbrio), o qual consiste em evidenciar que o núcleo do corpo de prova e a superfície exposta tenham uma diferença limitada a 10 °C de temperatura promovendo uma homogeneidade do material aquecido. Desconsideraram-se, deste modo, para os resultados, as possíveis distorções criadas a partir das diferentes propriedades mecânicas do concreto em seu núcleo e sua superfície. Na figura 15 abaixo tem-se o equipamento disponível no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metrologia da Univates.

Figura 15 - Câmara mufla



Fonte: Da autora (2017).

O procedimento de submeter os CP's a um ambiente extremo de temperatura foi precedido pelo ensaio de resistência mecânica, descrito nos itens 3.5.2 e 3.5.3 e do ensaio de visualização da estrutura rompida do CP, descrito no item 3.5.4.

3.5.2 Resistência à compressão

O ensaio de Compressão foi realizado no Laboratório da Tecnologia da Construção, na Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. Este ensaio possui o intuito de avaliar a capacidade do material de resistir a uma quantidade a ser definida de força pela área que está em contato com o material, ou seja, de pressão máxima que o material resistirá. Este ensaio define o quão resistente o material é, e para que seja válido como método de informação do presente trabalho, os CP's foram moldados na forma padronizada de 10x20 cm, segundo a NBR 5738 (2007). Foram submetidos a este ensaio, conforme a NBR 5739 (2007), os corpos-de-prova com a utilização do equipamento da marca Emic, modelo PC200CS, com capacidade de 2000 KN conforme figura 16 abaixo, de propriedade do LATEC.

Figura 16 - Prensa empregada para o rompimento dos CP's



Fonte: Da autora (2017).

3.5.3 Resistência à flexão

O ensaio de flexão foi realizado no Laboratório da Tecnologia da Construção, da UNIVATES. Possui o intuito de avaliar a capacidade do material, moldado de forma padronizada, de resistir a uma quantidade a ser definida de força pela área que está em contato com o material, ou seja, de pressão máxima que o material resistirá. Este ensaio define o quão resistente o material é, e para que seja válido como método de informação do presente trabalho, foram submetidos a este ensaio, conforme a NBR 12142 (2010), os corpos-de-prova descritos na tabela 10. O equipamento utilizado foi o mesmo já descrito no item anterior. As dimensões destes Cp's foram de 15x15x50 cm e estes foram moldados de acordo com a NBR 5738 (2007).

3.5.4 Avaliação visual da estrutura rompida do CP

Para a realização deste ensaio, foi feita com as amostras submetidas à alta temperatura e rompidas no ensaio de resistência a compressão uma visualização técnica das características dos materiais e das mudanças que ocorreram com as fibras de polipropileno, dentro do concreto aquecido.

4 ANÁLISE E RESULTADOS

Neste capítulo consiste os resultados obtidos a partir das técnicas utilizadas no trabalho, as quais foram descritas no capítulo anterior. Primeiramente serão apresentados os resultados obtidos através do *slump*, após o ensaio de compressão e flexão a quatro pontos realizado aos sete dias de cura do concreto. Posteriormente será apresentado o traço de maior resistência com a variação da quantidade das fibras de polipropileno e a variação das temperaturas de exposição as temperaturas.

4.1 Resultados dos *slump test* para o teste piloto

O resultado deste teste para o traço 1 de relação a/c 0,4 foi de 9 cm; para o traço 2 de relação a/c 0,6, foi de 14 cm e para o traço 3 de relação a/c 0,8, foi de 17 cm. Observa-se que os concretos com menos relação a/c possuem menores valores para os resultados do *slump test*.

4.2 Resultados dos *slump test* para os traços adaptados

Os resultados encontrados com a realização do ensaio para os traços adaptados com diferentes teores de fibras de PP monofilamentadas seguem na tabela 12:

Tabela 12 - Resultado do *slump test*

Traço	Valor <i>Slump Test</i> (cm)
Traço A	17
Traço B	15
Traço C	12
Traço D	10

Fonte: Da autora (2017).

A partir dos resultados é possível observar que, com a adição das fibras de polipropileno monofilamentadas, houve a redução da trabalhabilidade do concreto, observação esta que pode ser visualizada através dos resultados do *slump test*. O resultado condiz com a expectativa, pois as fibras demandam de mais água na pasta cimentícia para atingir uma mesma trabalhabilidade do concreto.

4.3 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos do teste-piloto (7 dias)

Para a escolha do traço de maior resistência dos concretos foram analisadas três diferentes dosagens. Os resultados de resistência à compressão e à flexão seguem na tabela 13 abaixo:

Tabela 13 - Resultados de resistência dos traços de concreto

Traços (a/c)	Compressão			Flexão		
	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8
Resistência (MPa)	32,89	8,54	5,32	3,63	1,84	1,04
	31,93	8,58	6,17			
	31,99	9,42	5,17			
	32,05	9,2	5,97			
	30,04	8,24	5,01			
Média	31,78	8,796	5,528	3,63	1,84	1,04
Variância	0,88	0,19	0,21	-	-	-
desvio-padrão	0,94	0,44	0,46	-	-	-
Densidade do concreto em seu estado fresco (g/cm ³)	2,39	2,36	2,37	2,39	2,36	2,37

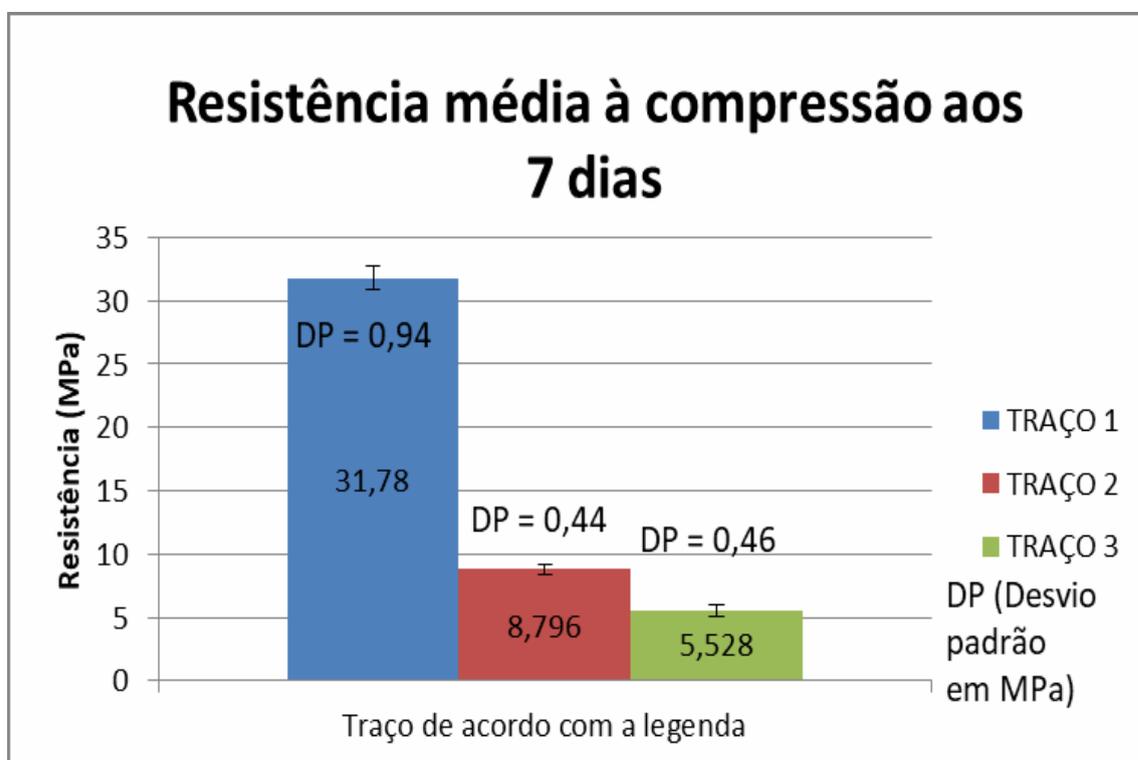
Fonte: Da autora (2017).

Os resultados obtidos permitem evidenciar que houve uma maior uniformidade nos corpos-de-prova moldados, tendo com este um menor valor para o desvio-padrão. Observa-se, ainda, com o resultado encontrado aos 7 dias, que o concreto com menor relação água/cimento apresentou melhor desempenho no que tange à resistência à compressão, motivo este que levou à escolha do mesmo para a confecção dos corpos-de-prova a serem aquecidos como proposta do trabalho.

Sabe-se que o traço de menor relação a/c permite a confecção de um concreto menos poroso, o qual resistirá mais aos esforços de flexão e compressão devido ao fato de resistir à propagação das microfissuras que se concentram nos vazios presentes no interior do concreto.

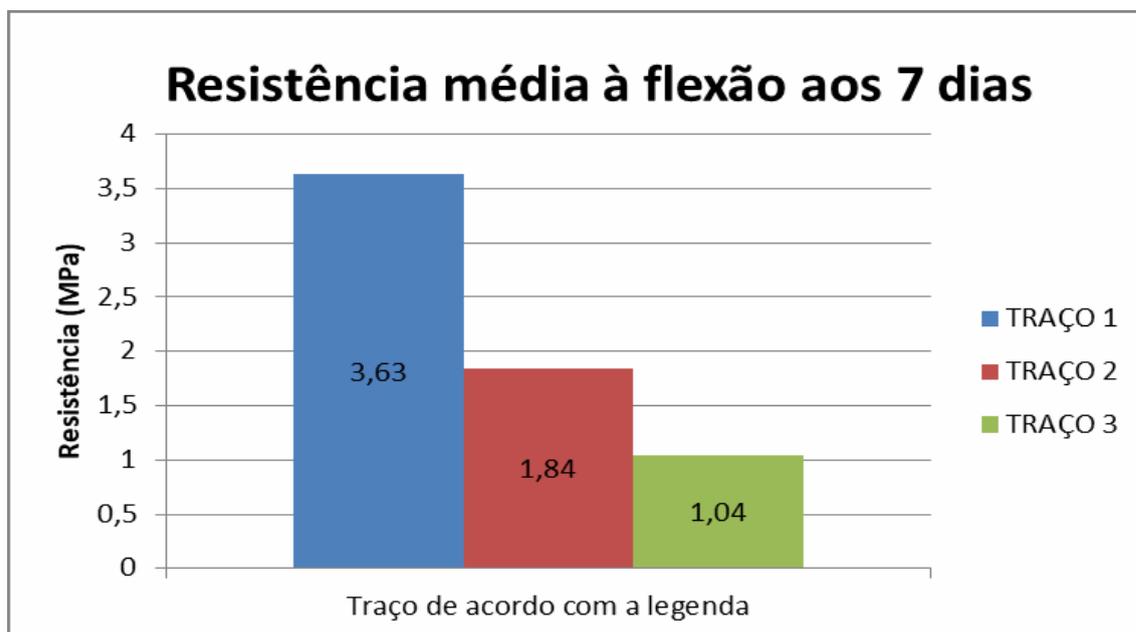
Os resultados apresentados na tabela 13 estão representados graficamente nos gráficos 04 e 05, os quais promovem de maneira visual a comparação dos resultados encontrados nos ensaios de resistência à compressão e à flexão, respectivamente.

Gráfico 04 – Resistência média à compressão aos 7 dias de cura do concreto



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 05 – Resistência média à flexão aos 7 dias de cura do concreto



Fonte: Da autora (2017).

4.4 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos do Traço final (28 dias à temperatura ambiente)

Na tabela 14 tem-se os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão e resistência à flexão. Resultados estes provenientes dos Cp's cilíndricos e prismáticos que foram ensaiados à temperatura ambiente aos 28 dias de cura do concreto.

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
temperatura ambiente	27,17	23,12	21,14	24,84	3,79	3,99	3,86	3,57
	27,96	24,63	28,39	25,00	-	-	-	-
	32,39	25,56	28,68	25,87	-	-	-	-
	32,44	25,75	31,44	30,25	-	-	-	-
	33,03	29,55	35,57	34,37	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão foram filtrados, de maneira a retirar o valor maior e menor, com o fim de reduzir as grandes distorções dos resultados encontrados. Com os resultados filtrados foram calculados o desvio-padrão e a média dos resultados de resistência à compressão.

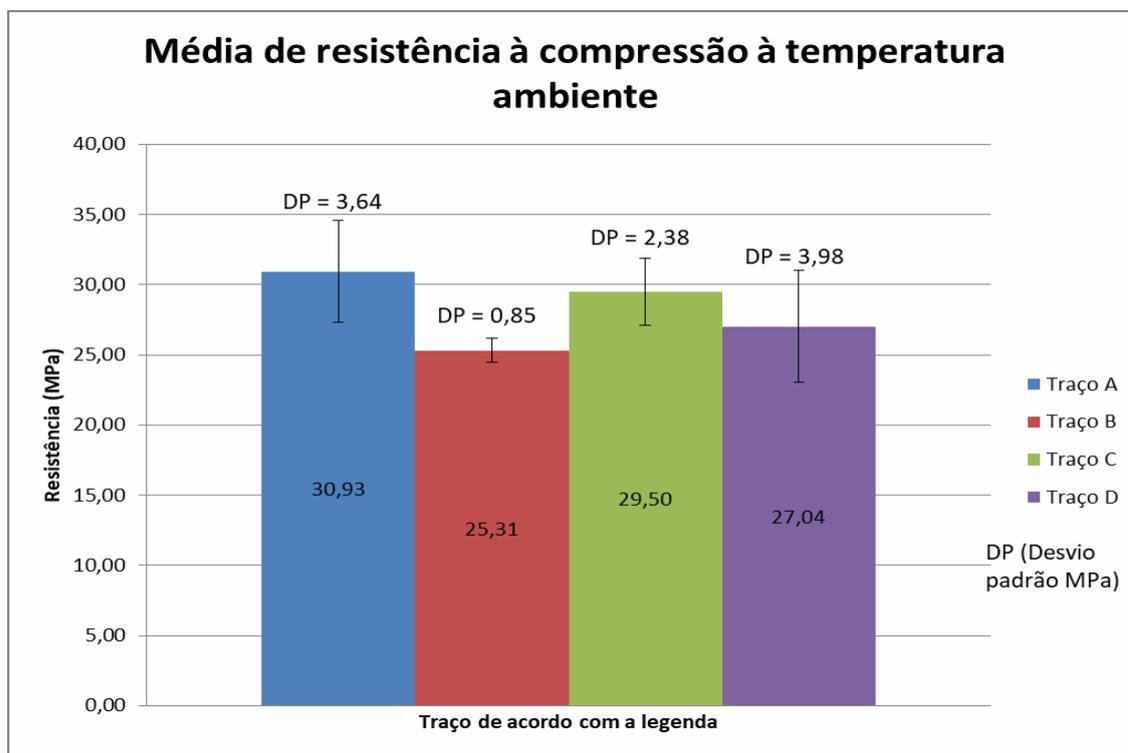
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
temperatura ambiente	27,96	24,63	28,39	25,00	3,79	3,99	3,86	3,57
	32,39	25,56	28,68	25,87	-	-	-	-
	32,44	25,75	31,44	30,25	-	-	-	-
Média	30,93	25,31	29,50	27,04	-	-	-	-
desvio-padrão	3,64	0,85	2,38	3,98	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

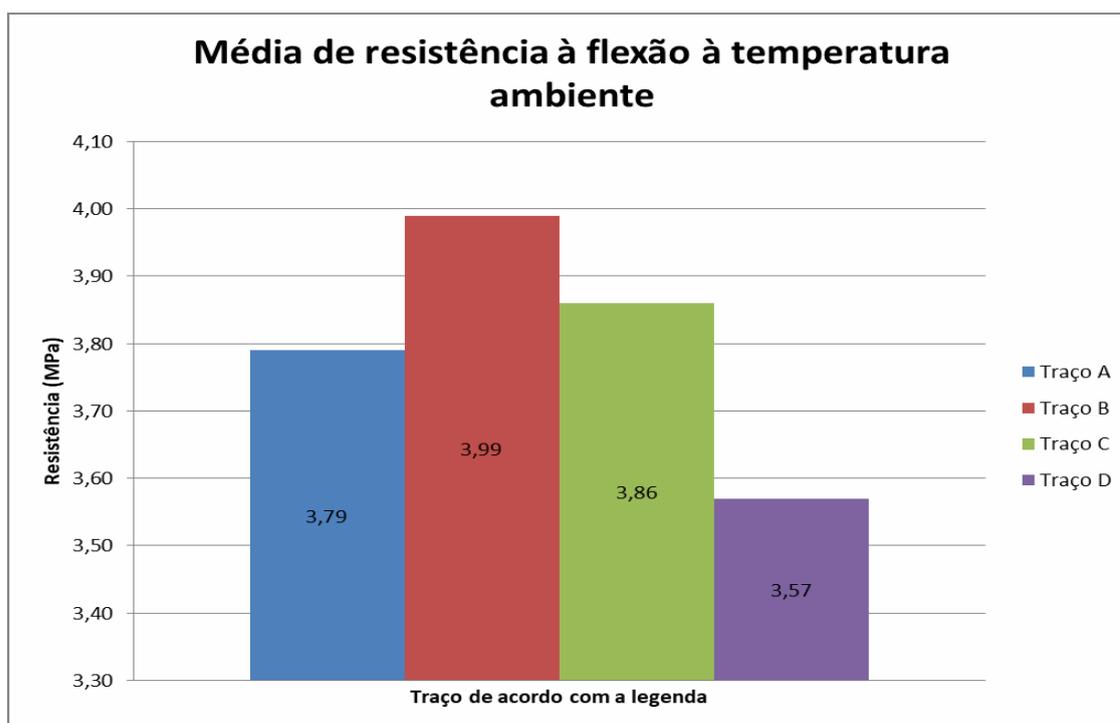
Observa-se a partir do Gráfico 06 que na temperatura ambiente, nos traços confeccionados, houve uma melhoria da resistência à flexão quando adicionadas fibras em uma relação de baixa à média quantidade. No que tange à resistência à compressão, observa-se que se obteve uma relativa homogeneidade, onde os resultados foram parecidos. Para os maiores resultados de resistência à compressão, obteve-se elevados desvios-padrão. Deste modo, se elencadas as resistências como o valor da média reduzida de seu respectivo desvio-padrão, obtém-se resultados muito parecidos. Portanto, é notável certa igualdade dentre os resultados obtidos nos ensaios de compressão dos corpos- de-prova não aquecidos. Nos gráficos 06 e 07 observa-se a teoria descrita acima, de maneira visual.

Gráfico 06 – Média de resistência à compressão à temperatura ambiente



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 07 – Média de resistência à flexão à temperatura ambiente



Fonte: Da autora (2017).

4.5 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos (28 dias aquecido a 200°C)

Na tabela 16 abaixo tem-se os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão e resistência à flexão. Resultado este proveniente dos Cp's cilíndricos e prismáticos que foram submetidos na câmara mufla por um período de 5 horas à temperatura de 200 °C e esfriados à temperatura ambiente por um período de 24 horas para a realização do ensaio de rompimento.

Tabela 16 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
200 °C	24,58	26,77	36,14	33,14	2,40	2,84	3,08	1,84
	26,49	28,61	37,23	33,43	-	-	-	-
	28,08	29,45	38,29	35,14	-	-	-	-
	29,22	32,81	39,26	36,11	-	-	-	-
	29,46	34,76	41,30	37,20	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão foram filtrados, de maneira a retirar o valor maior e menor, com o fim de reduzir as grandes distorções dos resultados encontrados. Com os resultados filtrados foi calculado o desvio-padrão e a média dos resultados de resistência à compressão. Para os resultados de resistência à flexão não foi adotado o mesmo procedimento devido a limitações físicas do Laboratório de Tecnologia da Construção (LATEC), conforme explanado no Capítulo 1, em que se expressam as delimitações do presente trabalho. Na tabela 17 são apresentados os valores oficiais para a análise dos resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão e resistência à flexão, após o período de exposição de 5 horas à temperatura de 200 °C.

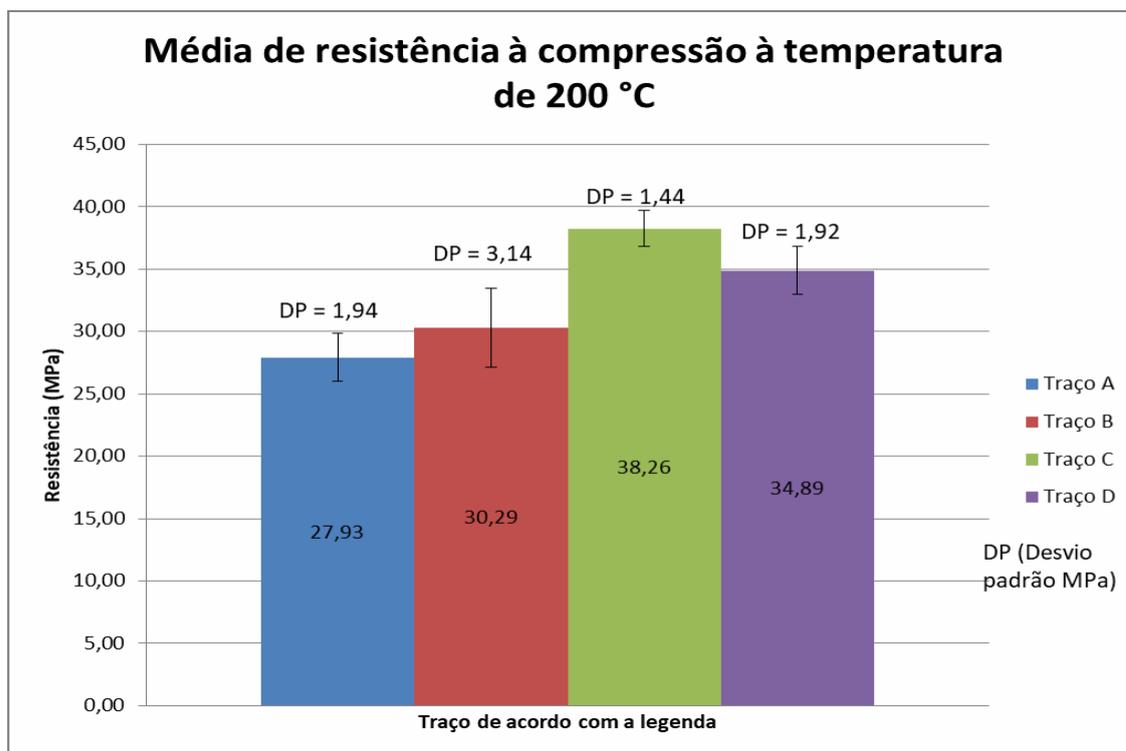
Tabela 17 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
200 °C	26,49	28,61	37,23	33,43	2,40	2,84	3,08	1,84
	28,08	29,45	38,29	35,14	-	-	-	-
	29,22	32,81	39,26	36,11	-	-	-	-
Média	27,93	30,29	38,26	34,89	-	-	-	-
desvio-padrão	1,94	3,14	1,44	1,92	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

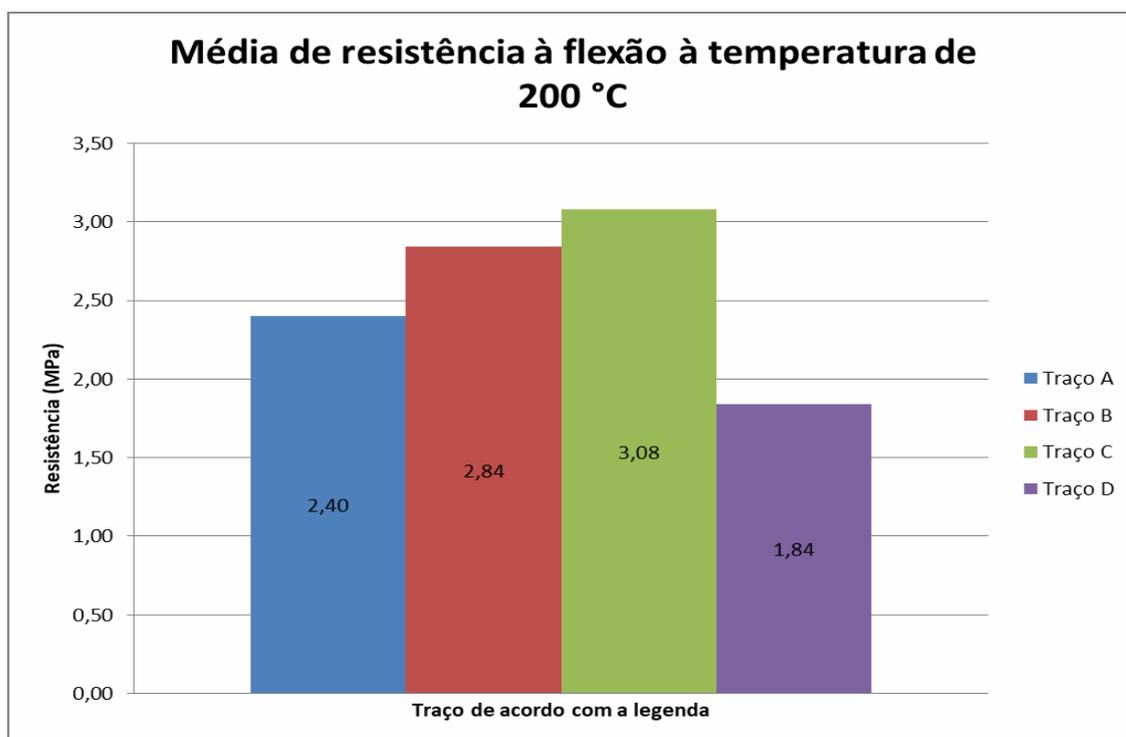
Nos traços em que a adição de fibras foi em quantidades médias e altas (traços C e D), nota-se uma melhora significativa na resistência à compressão em comparação com os traços A e B, no que tange ao comportamento da resistência à compressão do concreto aquecido a 200 °C. Deste modo, a adição de fibras em médias e altas quantidades favorece uma melhor resistência ao concreto quando submetidos a temperaturas de 200 °C, devido as mesmas quando aquecidas preencherem os espaços vazios do concreto. No que tange à resistência à flexão, o concreto, que possui grandes adições de fibras, não comporta-se da mesma maneira. Houve uma perda significativa de resistência quando comparado aos demais traços. Ainda, observa-se que os concretos de média e baixa adição de fibras desempenharam melhores resultados de resistência à flexão, conforme o esperado pelo estudo. Nos gráficos 08 e 09, abaixo, observa-se a teoria descrita acima, de maneira visual.

Gráfico 08 – Média de resistência à compressão à temperatura de 200°C



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 09 – Média de resistência à flexão à temperatura de 200°C



Fonte: Da autora (2017).

4.6 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos (28 dias aquecido a 400°C)

Na tabela 18 abaixo temos os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão e resistência à flexão. Resultado este, provenientes dos Cp's cilíndricos e prismáticos que foram submetidos na câmara mufla por um período de 5 horas à temperatura de 400°C e esfriados a temperatura ambiente por um período de 24 horas para a realização do ensaio de rompimento.

Tabela 18 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
400°C	10,68	16,46	18,20	18,07	0,86	1,31	1,14	0,51
	18,05	19,11	20,62	18,59	-	-	-	-
	19,03	19,71	22,17	19,65	-	-	-	-
	20,55	20,60	22,52	19,99	-	-	-	-
	20,99	24,25	25,84	20,84	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão foram filtrados, de maneira a retirar o valor maior e menor, com o fim de reduzir as grandes distorções dos resultados encontrados. Com os resultados filtrados foram calculados o desvio-padrão e a média dos resultados de resistência à compressão. Para os resultados de resistência à flexão não foi adotado o mesmo procedimento devido a limitações físicas do Laboratório de Tecnologia da Construção (LATEC), conforme explanado no Capítulo 1, em que são expressadas as delimitações do presente trabalho. Na tabela 19 são apresentados os valores oficiais para a análise dos resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão e resistência à flexão, após o período de exposição de 5 horas à temperatura de 400 °C.

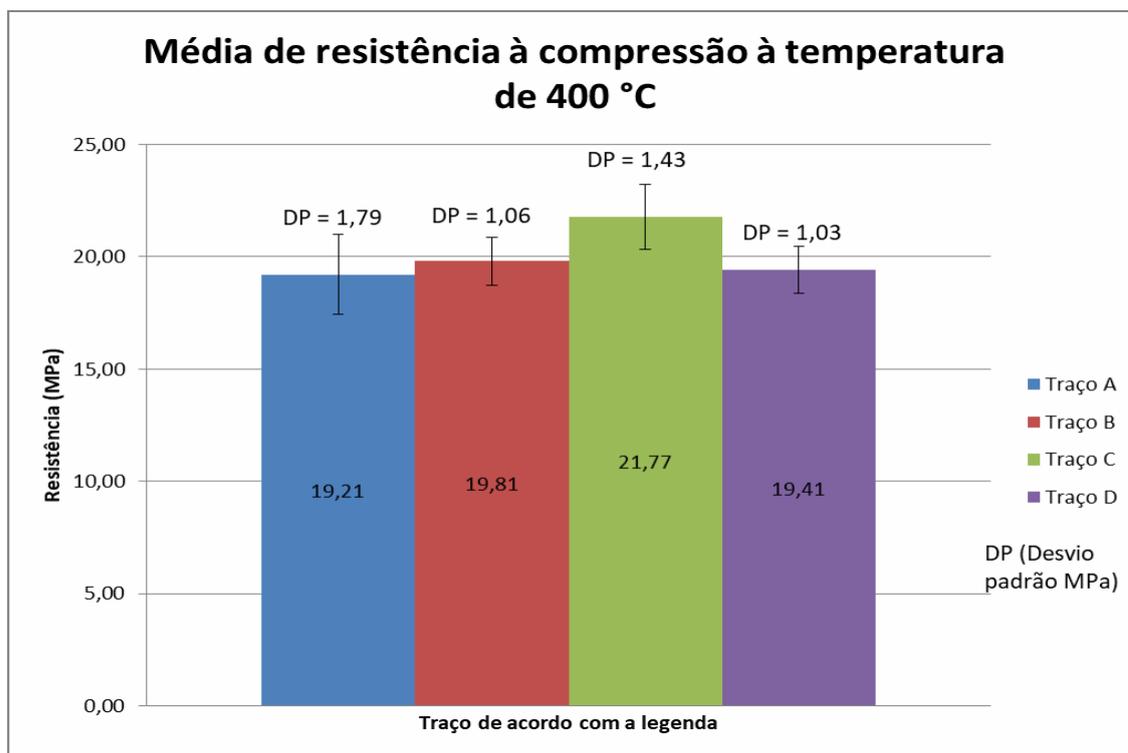
Tabela 19 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
400°C	18,05	19,11	20,62	18,59	0,86	1,31	1,14	0,51
	19,03	19,71	22,17	19,65	-	-	-	-
	20,55	20,60	22,52	19,99	-	-	-	-
Média	19,21	19,81	21,77	19,41	-	-	-	-
desvio-padrão	1,79	1,06	1,43	1,03	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

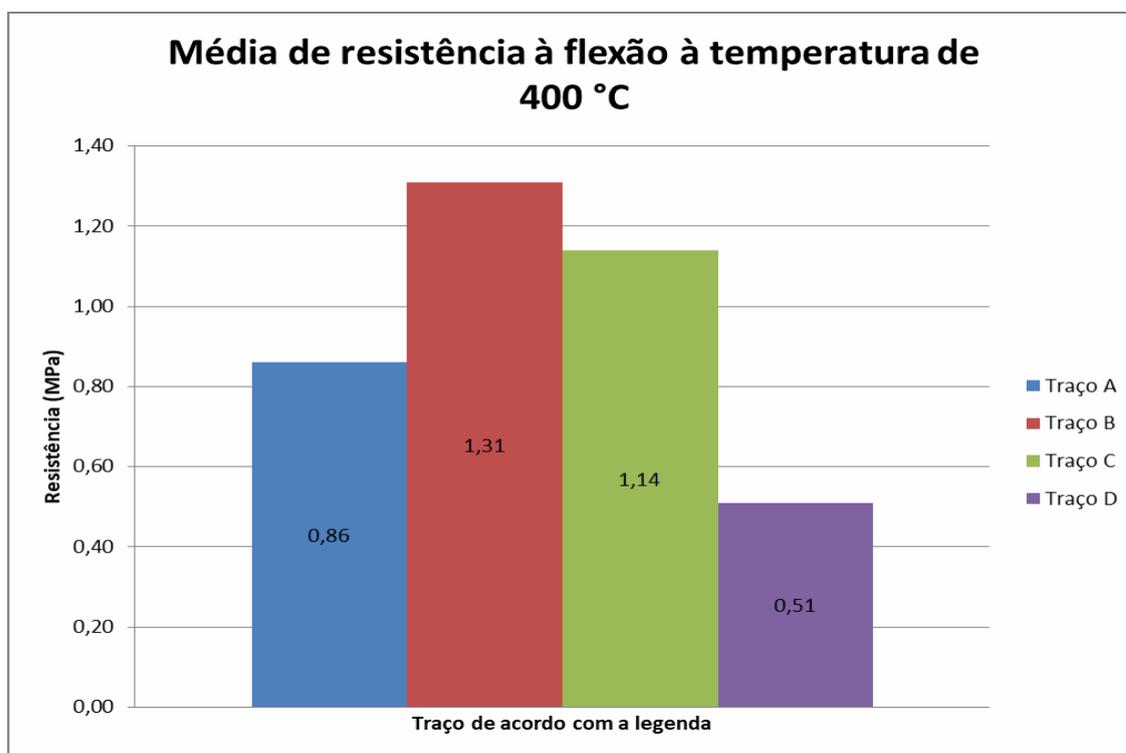
Observa-se que, nos traços B e C, os resultados de resistência à flexão nos concretos submetidos a uma temperatura de exposição de 400 °C foram mais elevados. Acredita-se que os teores de fibras adicionados em médias e baixas quantidades promovam este melhor desempenho do concreto nos traços confeccionados. No que tange à resistência à compressão, observa-se que se obteve uma relativa homogeneidade, onde os resultados foram parecidos. Os resultados de resistência à compressão foram próximos, assim como os resultados de seus desvios-padrão. Portanto, é notável certa igualdade dentre os resultados obtidos nos ensaios de compressão dos corpos-de-prova expostos a temperaturas de 400 °C. Os resultados obtidos comparando os traços expostos a 400 °C propiciam concluir que a adição de fibras não promove grandes diferenças na resistência à compressão. Contudo, a adição em teores baixos e médios pode aprimorar o comportamento da resistência à flexão dos concretos expostos a esta temperatura. Nos gráficos 10 e 11 observa-se a teoria descrita acima de maneira visual.

Gráfico 10 – Média de resistência à compressão à temperatura de 400°C



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 11 – Média de resistência à flexão à temperatura de 400°C



Fonte: Da autora (2017).

4.7 Resultados dos ensaios de compressão e flexão a quatro pontos (28 dias aquecido a 600 °C)

Na tabela 20 abaixo tem-se os resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão e resistência à flexão. Resultado este proveniente dos Cp's cilíndricos e prismáticos que foram submetidos na câmara mufla por um período de 5 horas à temperatura de 600 °C e esfriados à temperatura ambiente por um período de 24 horas para a realização do ensaio de rompimento.

Tabela 20 - Resultados dos ensaios de resistência a compressão e flexão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
600°C	7,35	8,20	8,59	4,39	0,29	0,68	0,36	0,27
	10,71	10,50	10,62	7,72	-	-	-	-
	11,00	10,70	11,57	8,17	-	-	-	-
	11,28	10,79	12,59	8,48	-	-	-	-
	11,59	10,93	12,88	8,65	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão foram filtrados, de maneira a retirar o valor maior e menor, com o fim de reduzir as grandes distorções dos resultados encontrados. Com os resultados filtrados fora calculado o desvio-padrão e a média dos resultados de resistência à compressão. Para os resultados de resistência a flexão não foi adotado o mesmo procedimento devido a limitações físicas do Laboratório de Tecnologia da Construção (LATEC), conforme explanado no Capítulo 1, onde expressa as delimitações do presente trabalho. Na tabela 21 é apresentado os valores oficiais para a análise dos resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão e resistência à flexão, após o período de exposição de 5 horas à temperatura de 600°C.

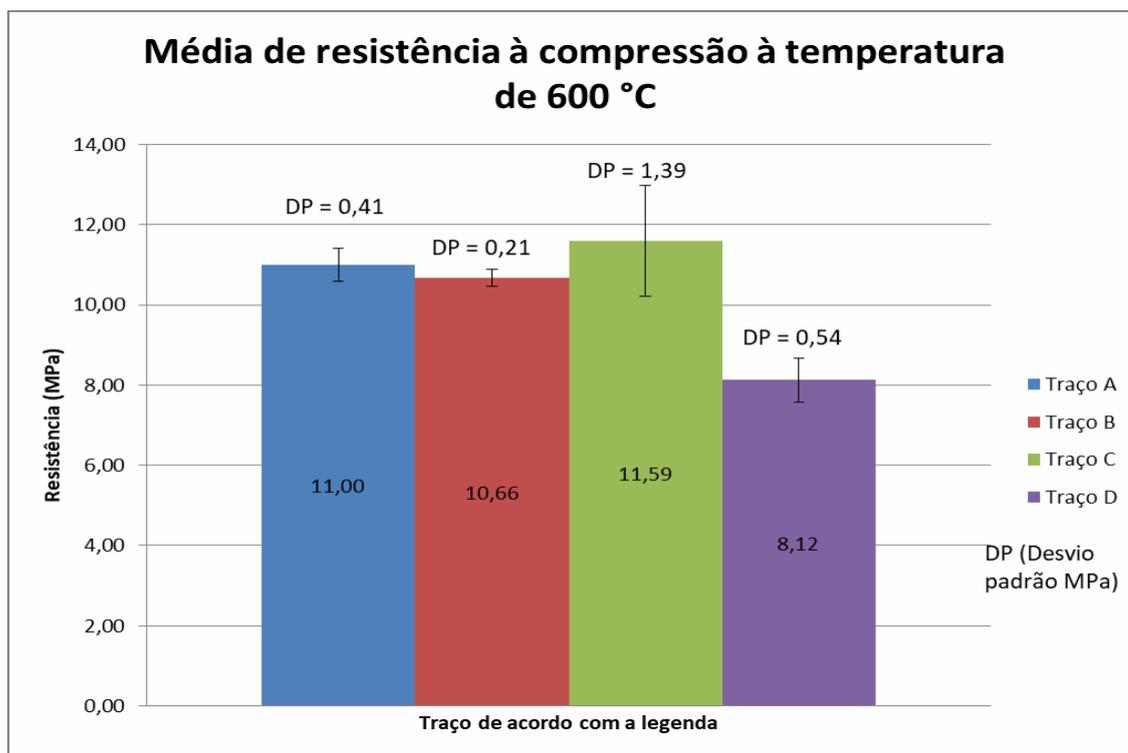
Tabela 21 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão e flexão com a média e desvio-padrão

	Compressão				Tração			
	traço A	traço B	traço C	traço D	traço A	traço B	traço C	traço D
adição de fibras em kg/m ³	0	0,6	4,3	8	0	0,6	4,3	8
600°C	10,71	10,50	10,62	7,72	0,29	0,68	0,36	0,27
	11,00	10,70	11,57	8,17	-	-	-	-
	11,28	10,79	12,59	8,48	-	-	-	-
Média	11,00	10,66	11,59	8,12	-	-	-	-
desvio-padrão	0,41	0,21	1,39	0,54	-	-	-	-

Fonte: Da autora (2017).

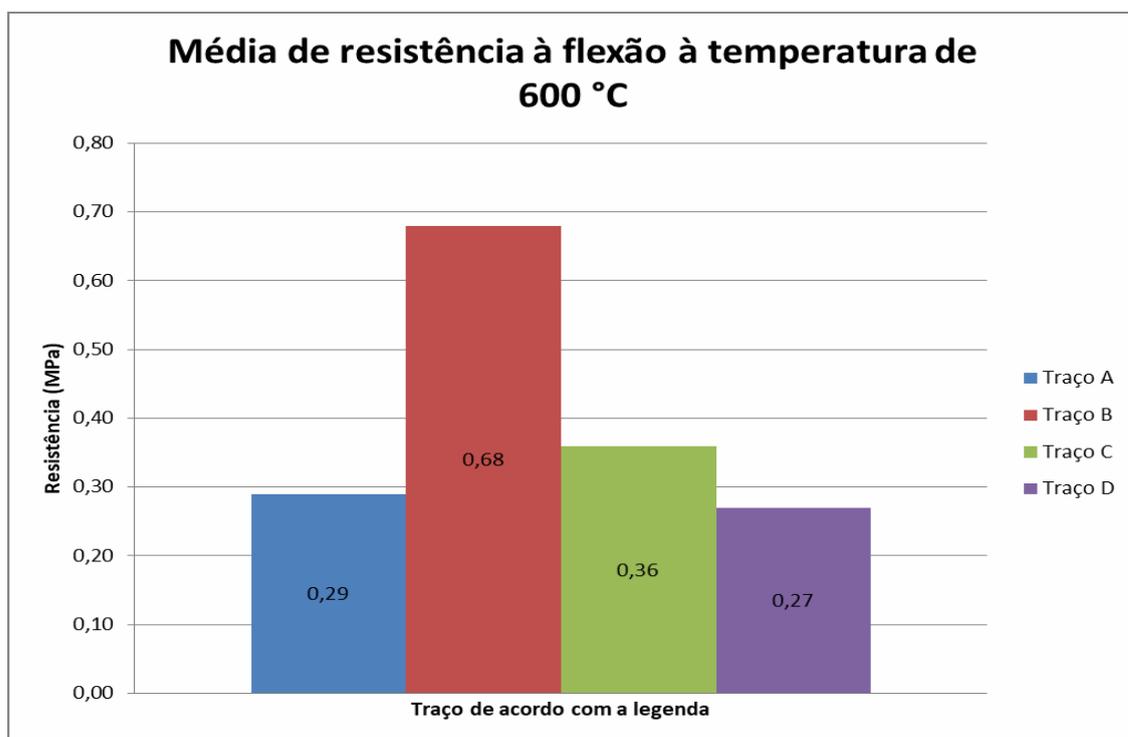
Observa-se no traço B um resultado de resistência à flexão elevado, nos concretos submetidos a uma temperatura de exposição de 600 °C, quando comparado aos demais traços. No que tange à resistência à compressão, observa-se que se obteve uma relativa homogeneidade, onde os resultados foram parecidos. Os resultados de resistência à compressão foram próximos, exceto para os concretos com altas adições de fibras (traço D), assim como os resultados de seus desvios padrão. Portanto, é notável certa igualdade dentre os resultados obtidos para os traços A, B e C nos ensaios de compressão dos corpos-de-prova expostos a temperaturas de 600 °C. Nos gráficos 12 e 13 observa-se a teoria descrita acima de maneira visual.

Gráfico 12 – Média de resistência à compressão à temperatura de 600 °C



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 13 – Média de resistência à flexão à temperatura de 600 °C

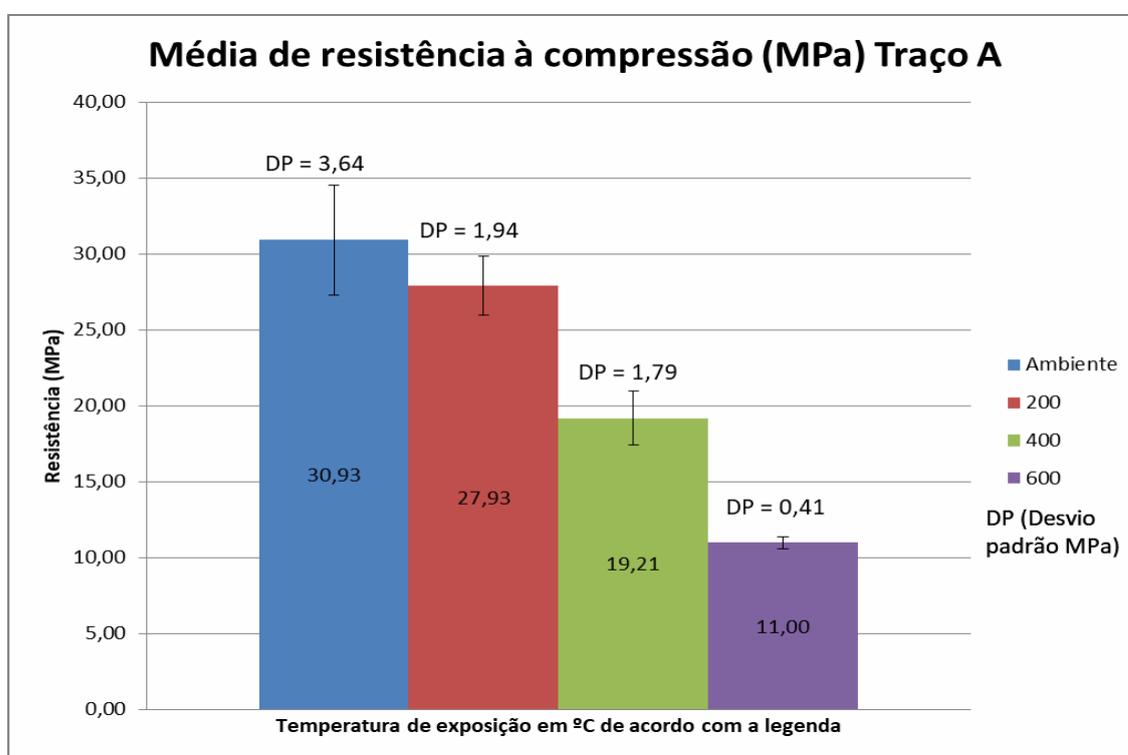


Fonte: Da autora (2017).

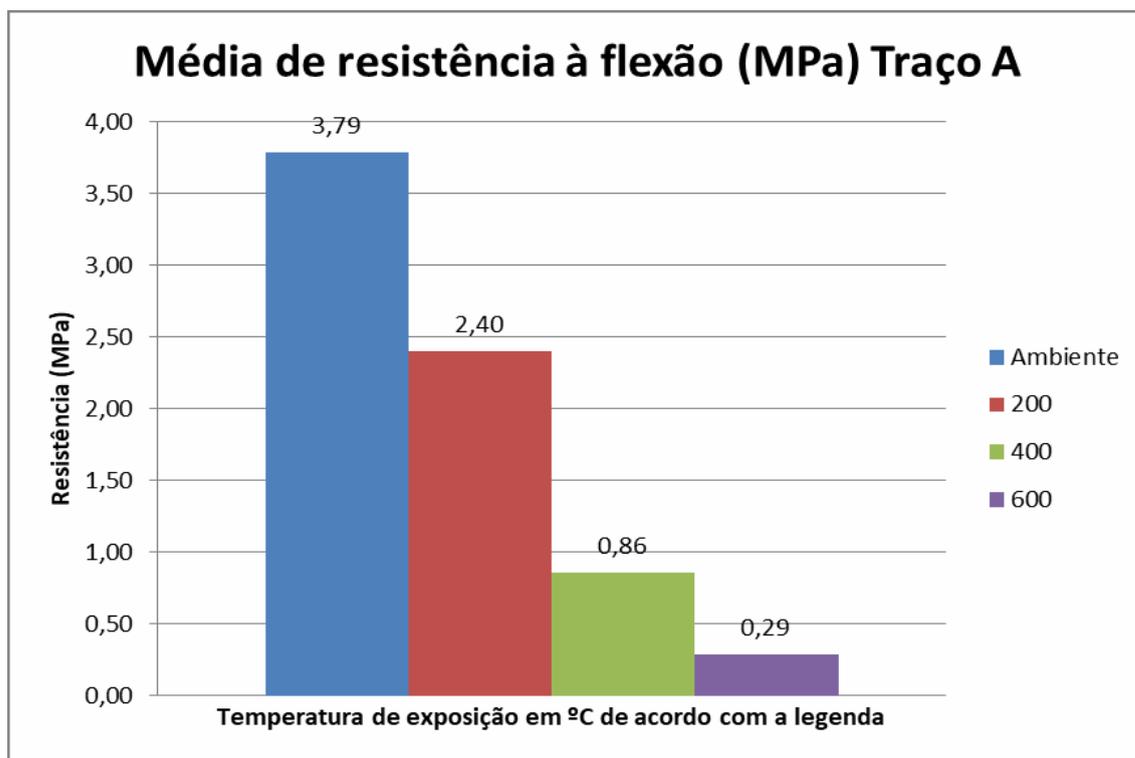
4.8 Gráfico das médias em relação as temperaturas expostas no forno mufla

Nos gráficos 14 e 15 é possível evidenciar a perda da resistência do traço, que não possui em sua composição a adição de fibras (traço A). Esta queda torna-se mais acentuada no intervalo de exposição dado entre 200 °C e 600 °C, para os resultados de resistência à compressão, e é mais acentuada no intervalo compreendido entre temperatura ambiente e 400 °C para os resultados de resistência à flexão.

Gráfico 14 - Média de resistência à compressão (MPa) Traço A



Fonte: Da autora (2017).

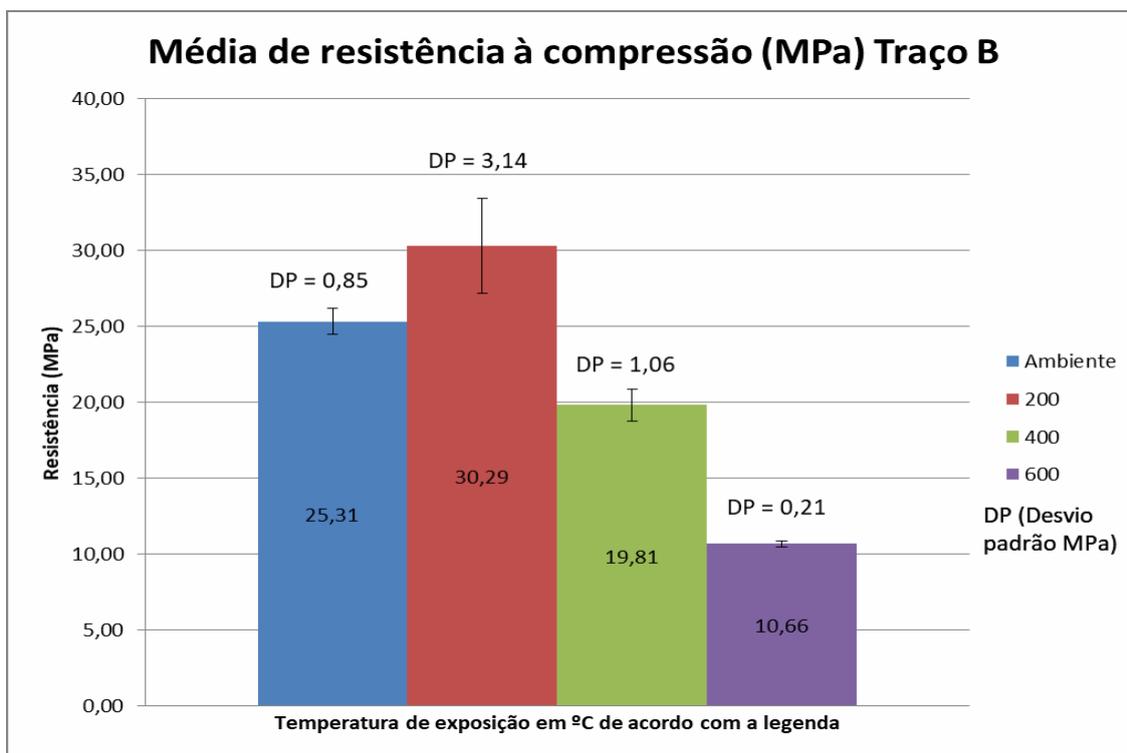
Gráfico 15 - Média de resistência à flexão (Mpa) Traço A

Fonte: Da autora (2017).

No gráfico 16, é possível evidenciar certo ganho na resistência à compressão do traço que possui em sua composição a adição de pouca quantidade de fibras (traço B) a 200 °C. Este ganho pode ser originado da fusão da fibra de polipropileno monofilamentada que, ao atingir a sua temperatura de fusão, pode preencher os espaçamentos vazios presentes no concreto e, ao solidificar-se, torna o concreto menos poroso e com isso mais resistente às microfissuras geradas pela concentração das tensões nos poros do material. Vale ressaltar que o concreto avaliado é de baixa porosidade, tendo deste modo certo valor reduzido de poros a ser preenchido, quando comparado a um concreto convencional (Onuki e Gasparetto, 2013).

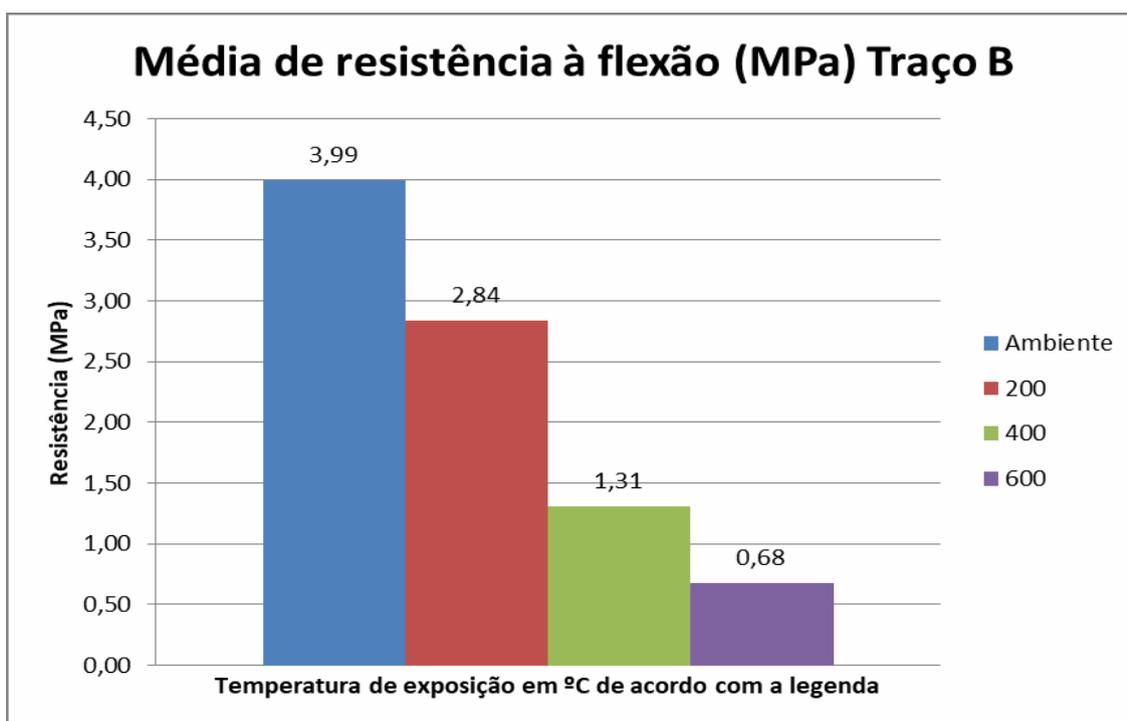
Há, ainda, no presente traço, uma queda da resistência à flexão, visível no gráfico 17, a qual é parcialmente linear na faixa de exposição compreendida entre a temperatura ambiente e 400 °C, tendo uma perda mais suave no intervalo de exposição de 400 °C a 600 °C.

Gráfico 16 - Média de resistência à compressão (Mpa) Traço B



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 17 - Média de resistência à flexão (Mpa) Traço B

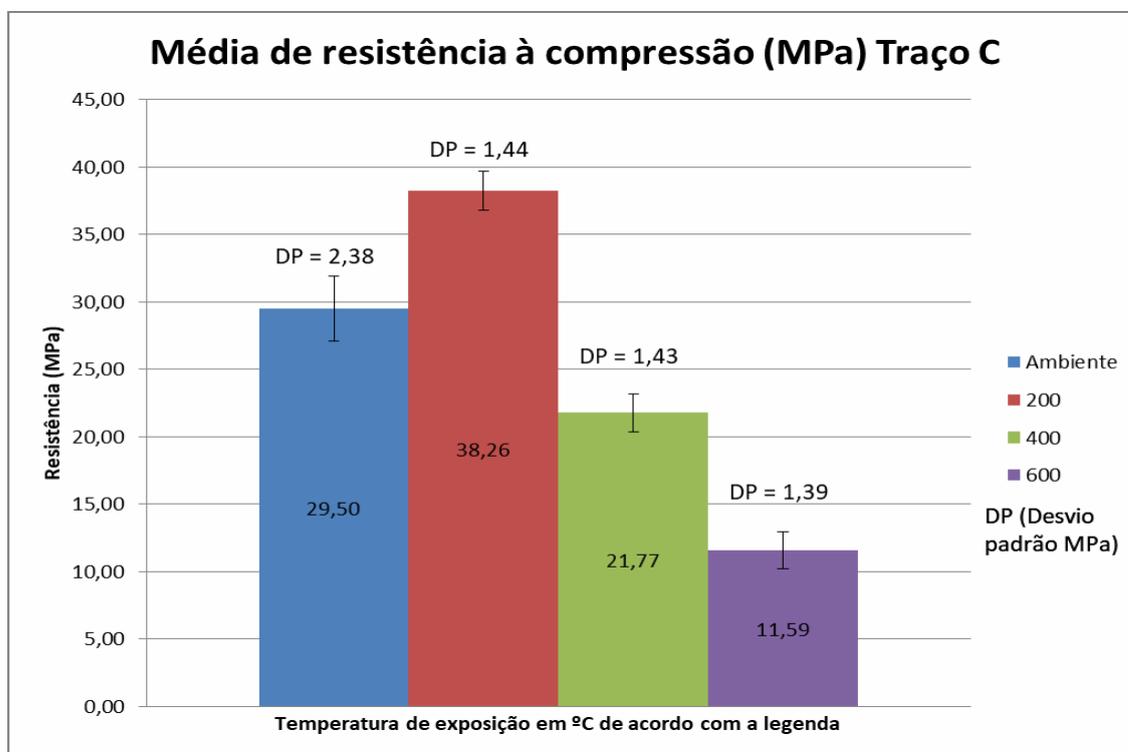


Fonte: Da autora (2017).

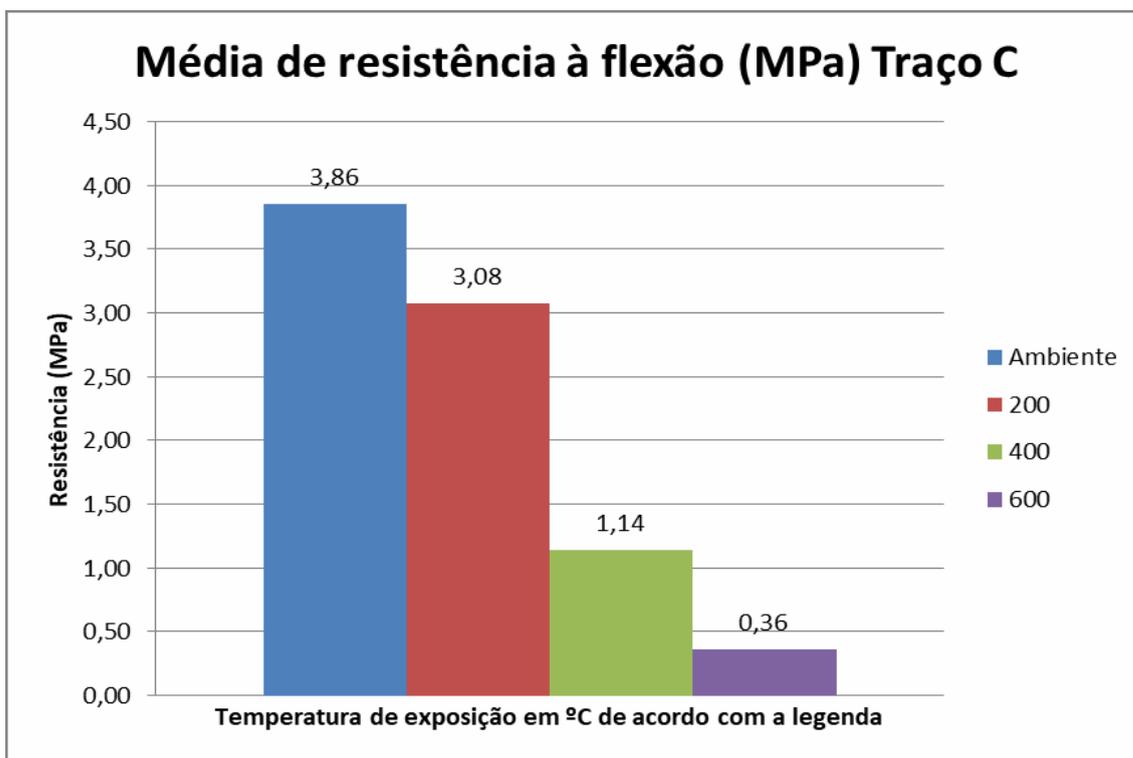
No gráfico 18, é possível visualizar um ganho significativo de resistência à compressão do traço que possui em sua composição a adição de média quantidade de fibras (traço C) a 200 °C. Este ganho pode ser originado da fusão da fibra de polipropileno monofilamentada que, ao atingir a sua temperatura de fusão, pode preencher os espaçamentos vazios presentes no concreto e, ao solidificar-se, torna o concreto menos poroso e com isso mais resistente às microfissuras geradas pela concentração das tensões nos poros do material. Vale ressaltar que o concreto avaliado é de baixa porosidade, tendo deste modo certo valor reduzido de poros a ser preenchido, quando comparado a um concreto convencional.

Há, ainda, no presente traço, uma queda da resistência à flexão, evidenciada no gráfico 19, a qual é mais abrupta na faixa de exposição compreendida entre as temperaturas de 200 °C e 400 °C, tendo uma perda mais suave no intervalo de exposição entre temperatura ambiente e 200 °C, e também no intervalo entre 400 °C e 600 °C.

Gráfico 18 - Média de resistência à compressão (Mpa) Traço C



Fonte: Da autora (2017).

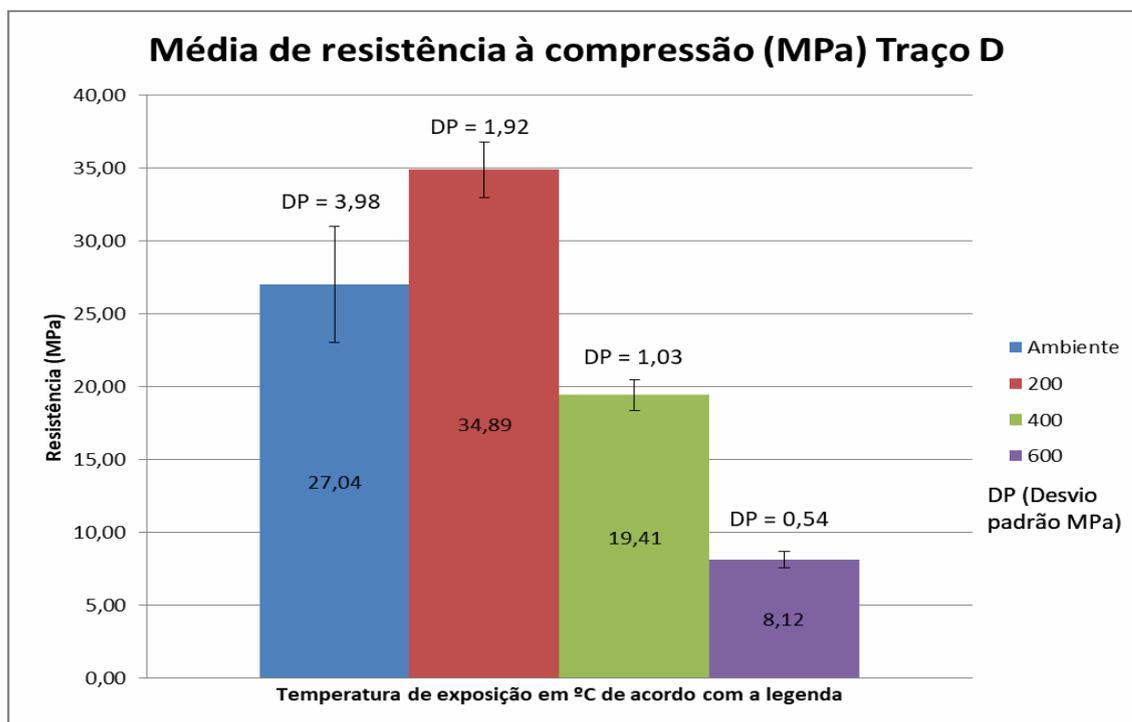
Gráfico 19 - Média de resistência à flexão (Mpa) Traço C

Fonte: Da autora (2017).

No gráfico 20 é possível evidenciar certo ganho na resistência à compressão do traço que possui em sua composição a adição de muita quantidade de fibras (traço D) a 200 °C. Este ganho pode ser originado devido à temperatura de 200 °C atingir a temperatura de fusão da fibra de polipropileno monofilamentada. Com a mudança de estado, a fibra pode preencher os espaçamentos vazios presentes no concreto e, ao solidificar-se, torna o concreto menos poroso e, com isso, mais resistente às microfissuras geradas pela concentração das tensões nos poros do material, provenientes do esforço de compressão a ele imposto. Vale ressaltar que o concreto avaliado é de baixa porosidade, tendo deste modo um valor reduzido de poros a ser preenchido, quando comparado a um concreto convencional.

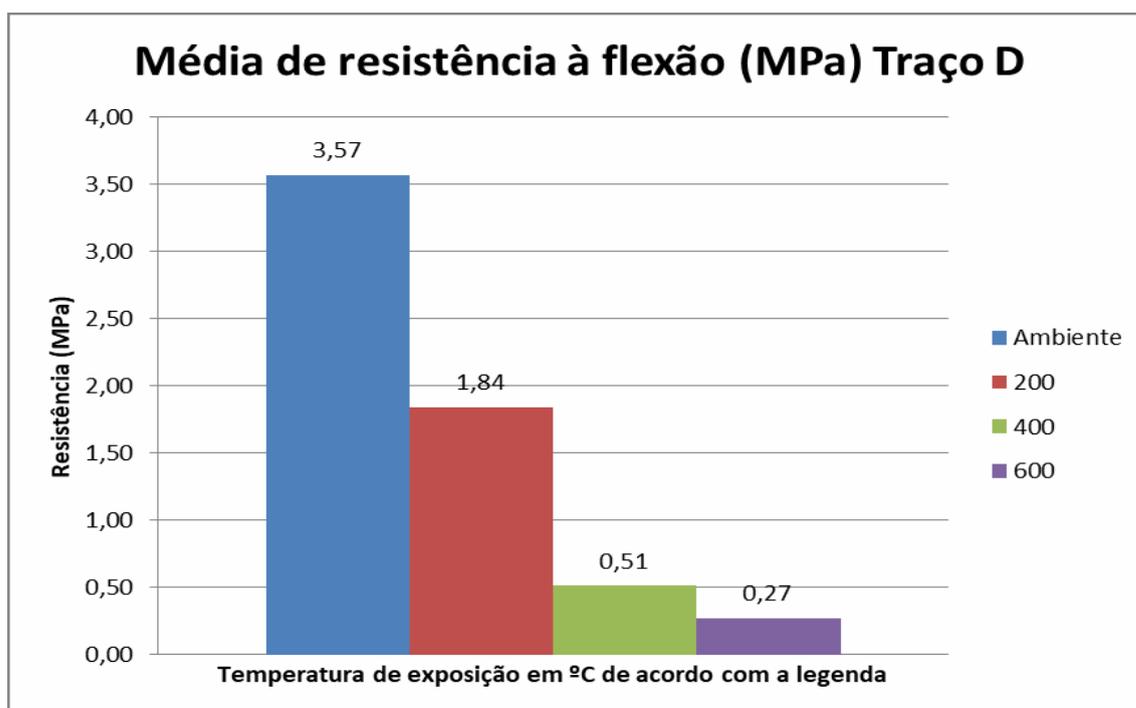
Há ainda, no presente traço, uma queda da resistência à flexão, visível no gráfico 21, a qual é linear na faixa de exposição compreendida entre a temperatura ambiente e 400 °C, tendo uma perda mais suave no intervalo de exposição de 400 °C a 600 °C.

Gráfico 20 - Média de resistência à compressão (Mpa) Traço D



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 21 - Média de resistência à flexão (Mpa) Traço D

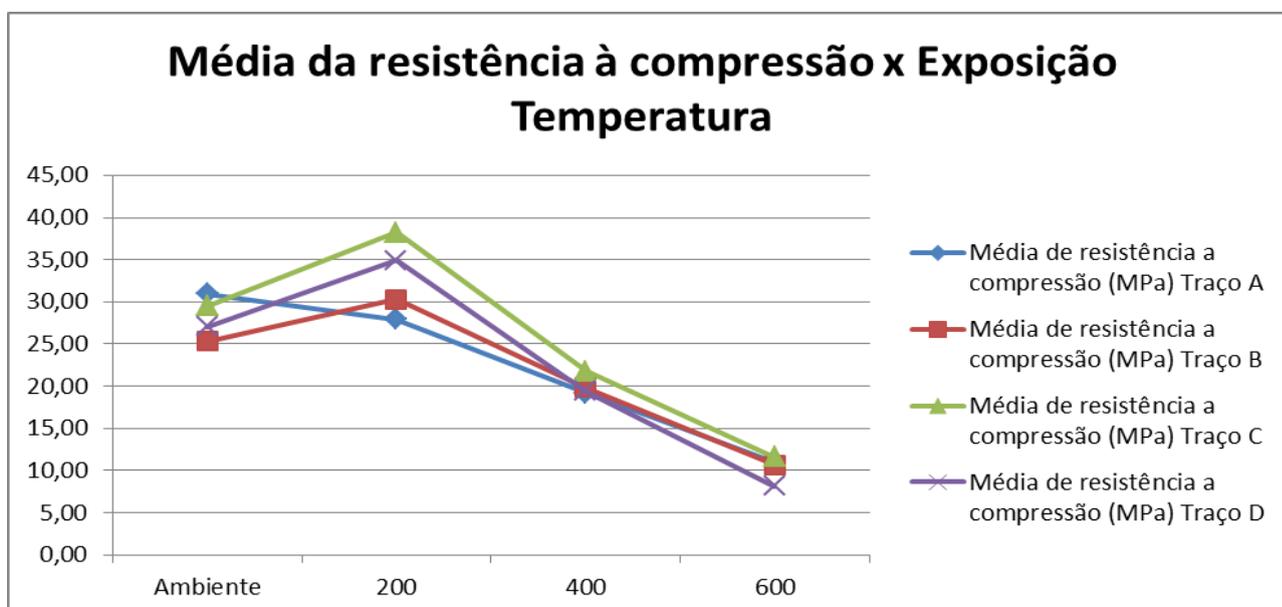


Fonte: Da autora (2017).

Os traços desenvolvidos no presente trabalho estão graficamente representados com seus respectivos valores de resistência média à compressão no gráfico 22. Os resultados expostos permitem comparar o desenvolvimento das resistências dos corpos-de-prova para cada traço, evidenciando a perda ou ganho de resistência à compressão. Para os traços que possuem em sua composição fibras de polipropileno monofilamentadas, houve um acréscimo na resistência à compressão quando expostos a 200 °C. Este acréscimo pode ter origem na fusão das fibras e solidificação das mesmas nos poros presentes no concreto.

O concreto confeccionado possui pouca porosidade, o que lhe confere, mesmo com pequenas adições de fibras, o preenchimento de grande parte dos vazios presentes no material, promovendo assim um certo ganho de resistência à compressão do material avaliado. Nota-se, assim, que as fibras não possuem significativas influências na resistência à compressão do concreto exposto a temperaturas acima de 400 °C. Deste modo, o concreto sem adição de fibras possui um comportamento similar aos que possuem em sua composição as fibras, após a exposição de temperaturas superiores a 400 °C.

Gráfico 22 - Média da resistência à compressão X Exposição Temperatura

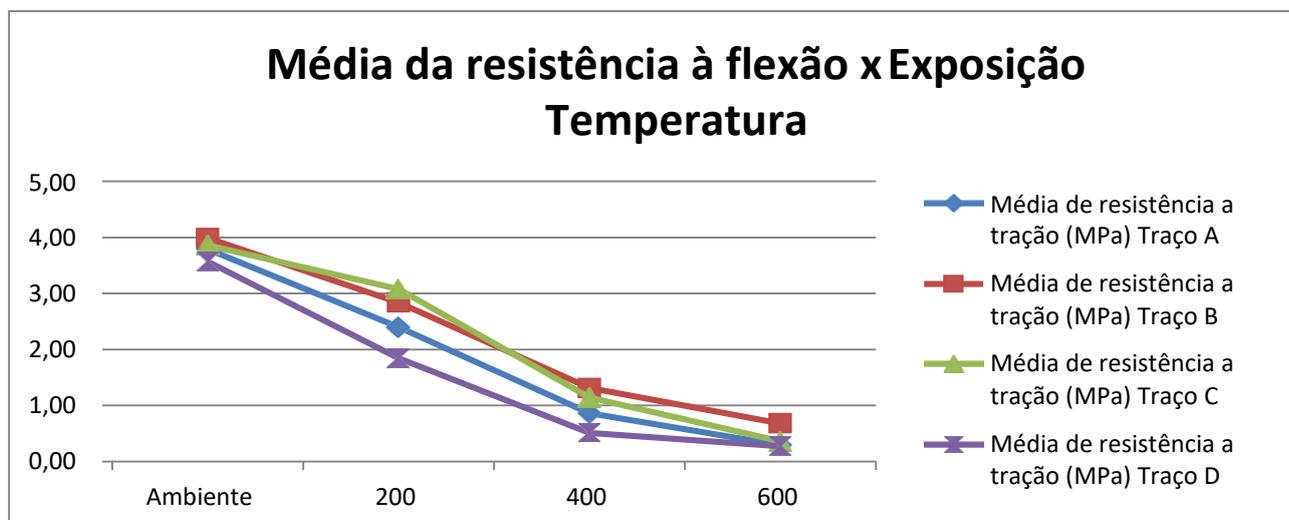


Fonte: Da autora (2017).

Os traços desenvolvidos no presente trabalho estão graficamente representados com seus respectivos valores de resistência média à flexão no gráfico 23. Os resultados expostos permitem comparar o desenvolvimento das resistências dos corpos-de-prova para cada traço, evidenciando a perda de resistência à flexão. Observa-se que os traços, conforme eram expostos a maiores temperaturas, reduziam suas resistências à flexão. Para os traços A, B e D a perda de resistência à flexão deu-se de maneira linear entre as faixas de temperatura de exposição compreendidas entre temperatura ambiente e 400 °C, sendo de maneira mais suave a perda entre as temperaturas de 400 °C e 600 °C. Para o traço C (teor de fibras em quantidades médias) houve uma perda mais suave nas faixas de exposição de temperatura ambiente a 200 °C e entre 400 °C e 600 °C, enquanto que na faixa de exposição compreendida entre 400 °C e 600 °C a perda deu-se de maneira mais radical, para o referido traço.

De maneira geral, os traços com adições baixas e médias de fibras (traço B e C) comportaram-se visualmente de uma maneira significativamente melhor quando comparados ao traço sem adição de fibras. Contudo, o traço com grandes adições de fibras comportou-se de maneira inferior no que tange à resistência à flexão. De um modo geral, a adição de fibras, nas quantidades ideais, proporcionou uma melhora da resistência à flexão do concreto, mas não alterou o comportamento comum esperado para o mesmo ao ser exposto a altas temperaturas, diferentemente do que ocorreu com a resistência à compressão, onde o concreto comum (sem adição) teve um comportamento distinto dos demais traços.

Gráfico 23 - Média da resistência à flexão X Exposição Temperatura



Fonte: Da autora (2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os resultados da análise do concreto com a adição de fibras de polipropileno monofilamentadas obtidos no programa experimental da pesquisa, avaliou-se a resistência e o comportamento das fibras de PP em diferentes quantidades por metro cúbico de concreto. Neste capítulo serão apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros que envolvam o material nos concretos. As conclusões apresentadas neste capítulo têm base nos resultados obtidos através do programa experimental deste trabalho de pesquisa.

Foi possível avaliar que os traços que possuíam a adição de fibras monofilamentadas, no caso traço B, C e D, responderam de uma maneira significativamente melhor quando expostos a temperaturas elevadas. Esta análise está embasada nos resultados obtidos dos ensaios de resistência dos diferentes tipos de traços, e na análise comparativa de perda ou de ganho de resistência dos corpos de prova aquecidos.

Com os resultados do presente trabalho, observou-se que com adição de fibras, no traço estudado, houve a melhora das características de resistência à flexão e à compressão do concreto. À temperatura de 200°C os traços com adição de fibras de polipropileno monofilamentadas obtiveram um acréscimo na resistência à compressão. Contudo na faixa de temperatura de 400°C o concreto que possui fibras de PP se comporta de maneira similar ao concreto que não possui a adição destas fibras, havendo a dissipação deste ganho proveniente do aquecimento até 200°C. Portanto, no que tange ao comportamento dos traços de concreto com incorporação de fibras é indicado o uso para o acréscimo de resistência e como fator

de segurança para estruturas de edificações onde os ambientes são ventilados e não confinados, onde possa haver a dissipação do calor proveniente de um sinistro de incêndio, não atingindo elevadas temperaturas como 400°C, ou superiores.

No que tange aos resultados de resistência à flexão do concreto, o uso das fibras promove o aumento desta, mesmo quando não aquecido, exceto no traço D, e com o aquecimento a perda de resistência promoveu-se de maneira gradativa, tanto para o traço com adições de fibras de PP, como para o traço A.

Através dos resultados ainda é possível afirmar que o maior desempenho quanto à resistência da fibras de polipropileno monofilamentadas adicionada ao concreto é em quantidades moderadas, ou seja, em torno de 4,3 kg por m³ de concreto. Quanto às temperaturas de exposição de 200 °C, 400 °C e 600 °C, esta quantidade também apresentou a melhor resistência.

Para trabalhos futuros sugerem-se mais análises referentes às temperaturas de exposição, para avaliar também o comportamento das fibras de PP. As temperaturas de exposição indicadas são de 300 °C e 500 °C, faixas intermediárias de temperatura das avaliados no presente trabalho de pesquisa.

Diferentes tempos de exposição ao calor também podem ser critério para a avaliação da resistência das fibras. Lembrando que sempre se faz necessário o uso de normativas e ensaios em laboratórios para a comprovação dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Alexandre Serpa. Agregados. In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Propriedade dos Polímeros. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2007.

ANHUI Elite Industrial Co Ltda (a). Fabrillated pp polypropylene Fiber mesh. Disponível em: <<http://www.ahelite.com/fabrillated-pp-polypropylene-Fiber-mesh-pd909524.html>>. Acessado em: 30 mai. 2017.

ANHUI Elite Industrial Co Ltda (b). Fabrillated pp polypropylene Fiber mesh. Disponível em: <<http://www.ahelite.com/Polypropylene-PP-Fiber-wave-curved-pd479524.html>>. Acessado em: 30 mai. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.654**: Controle Tecnológico de Materiais componente do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.655**: Controle de cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento- Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO-2395**: Peneiras de Ensaio e Ensaio de Peneiramento. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BAUER, L. A. F; NORONHA, M. A. A. Estudo de dosagem. In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BAUER, L. A. F.; NORONHA, M. A. A; BAUER, R. J. F. Uso de aditivos no concreto. In: BAUER, L.A.F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BENTUR, A; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composite**. 2. ed. London: Elsevier, 2007.

BOL Fotos. Disponível em: <<https://noticias.bol.uol.com.br/fotos/imagens-do-dia/2017/02/24/relembre-o-incendio-do-edificio-andraus-em-sao-paulo.htm#fotoNav=13>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

BORGES, Augusto Cesar. Incêndio no Joelma mata 188 pessoas em SP. **F5, Folha de São Paulo**, 19 fev. 2014. Disponível em: <http://f5.folha.uol.com.br/saiunonp/2014/02/1414050-incencio-no-joelma-mata-mais-de-100-pessoas-em-sp.shtml>, acessado em: 30 de maio de 2017.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado, eu te amo**. 2. Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

CANEVAROLO JR., Sebastião V. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

CHEMIN, Beatris Francisca. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos**: planejamento, elaboração e apresentação. 3. ed. Lajeado/RS: Centro Universitário UNIVATES, 2015. E-book. Disponível em: <<https://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 13 mai. 2017.

COELHO, A. L. **Incêndios em edifícios**. 1. Ed. São Paulo: Editora Orion, 2010.

CORPO de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Instrução Técnica Nº 08/2011**: Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2011.

CORPO de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Fundamentos de combate a incêndio. **CBMGO**. Goiânia, 2016.

FARIAS, Márcio Muniz de E PALMEIRA, Ennio Marques. **Agregados para a construção civil. Cap. 16. In: ISAIA, G. C. (Ed.1) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto- IBRACON. 2007.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras, Cap. 39. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações.** IBRACON. São Paulo, 2005.

GENCEL, O. et al. Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres. **Materials Research Innovations**, v. 15, p. 216 – 225, 2011. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

GONÇALVES, Cecilia Korber. **Pirólise e combustão de resíduos plásticos.** 2007. 59 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia metalúrgica e de materiais. São Paulo. 2007.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland.** Dissertação (mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2002.

HELENE, Paulo E ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portlan. Cap. 27. In: ISAIA, G. C. (Ed.1) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto- IBRACON. 2007.

KIRCHHOF, Larissa Degliuomini. **Estudo teórico-experimental da influencia do teor de umidade no fenômeno de spalling explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas** 2010. 237 f. Tese (Doutorado em Cosntrução) – Programa Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

LIMA, Rogerio Cattelan Antochaves De. **Insvestigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas.** 2005. 257 f. Tese (Doutorado em Cosntrução) – Programa Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LUCENA, Julio Cesar Tavares De. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para a aplicação em painel alveolar de parede fina.**

2017. 83 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2017.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. 2. ed. São Paulo: Blüncher, 2000.

_____; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Blüncher, 2004.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

NEOMATEX. **Fibras polipropileno monofilamento**. Disponível em: <<http://www.neomatex.com.br/fibras-polipropileno-monofilamento>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

NEVILLE, Adam Mathew. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

NINCE, A. A.; FIGUEIREDO, A. D.; BITTENCOURT, T. N. Absorção e índice de vazios em concreto reforçado com fibra de polipropileno exposto a 400 °C e 600 °C In: **V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto**. Anais. São Paulo, 2003b.

OLIVEIRA, Hélio Martins de. Propriedades do concreto endurecido In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ONUKI, Michelle Akemi Fatiga; GASPARETTO, Patrycia Alberton. **Comparativo das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de polipropileno**. 2013, 87 f. Tese (Bacharel) Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Curitiba. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT_TCC_2013_1_03.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2017.

PETRUCCI, Eladio G.R. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Globo, 1998.

PRUDÊNCIO, J. L. R. Concreto Projetado. In: ISAIA, G.C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portlan**. 1. ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2015.

RISCO, Zona de. **Lembrança**: Incêndio nas Lojas Renner, 13 jan. 2015. Disponível em: <<https://zonaderisco.blogspot.com.br/2015/01/lembranca-incendio-nas-lojas-renner.html?m=1>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

ROÇA, Gregorio Berto. **ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL - ESTUDO DE CASO**. 2014. 63 p. Monografia (especialista) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2014.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernádes; LUCIO, María del Pilar Baptista. **Metodologia de Pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SILVA, V. P. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**: conforme ABNT NBR 15200:2012. Ed. Blucher, 2012.

SOBRAL, Ernani Sávio. Propriedades do concreto fresco. In: BAUER, L. A. F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios**: causas, prevenção e recuperação. 12. Ed. São Paulo, Pini: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. Prática recomendada IBRACON para estruturas de edifícios de nível 1. Estruturas de pequeno porte. In: **Comitê técnico CT-301 concreto estrutural**. São Paulo: IBRACON, 1997.

YAZIGI, Walid. **A técnica de Edificar** 9. ed. São Paulo: Pini: SINDUSCON, 2008.