

**FUNDAÇÃO CARMELITANA MÁRIO PALMÉRIO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAROLINA NAVES MOTA**

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE  
AÇO DE DIFERENTES TEORES**

**MONTE CARMELO – MG  
DEZEMBRO/ 2018**

**CAROLINA NAVES MOTA**

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE  
AÇO DE DIFERENTES TEORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério – FUCAMP, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Juliete Ribeiro da Silva

**MONTE CARMELO – MG  
DEZEMBRO/ 2018**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele não teria forças para essa longa jornada, mais uma etapa a ser vencida, pela saúde e pelas graças em minha vida.

À professora Juliete Ribeiro pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Ao professor e coordenador do curso, Emiliano Silva, pelo apoio, compreensão e pela orientação.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica, principalmente ao professor Hélio Cardoso que gentilmente iniciou a minha orientação deste trabalho, agradeço pelo apoio e amizade.

À minha família, pelo suporte, amor, carinho e união constantes. Minha mãe Marluce, seu amor, cuidado e dedicação me ajudou a seguir em frente em mais um curso. Meu pai Natal, sua presença, seu exemplo significa para mim segurança e confiança de que não estou sozinha nessa caminhada. Ao meu irmão Cássio que mesmo longe consegue me mandar energias positivas e amor, você é meu melhor amigo.

À Carolina, pessoa com quem amo partilhar a vida. Com você tenho me sentido mais viva de verdade. Obrigado pelo carinho, amor, cuidado e paciência.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente me desejaram força, felicidade e sucesso. Essa é só mais uma batalha a ser vencida, que com o amor e apoio o caminho que faço, as escolhas feitas se tornam e tornaram mais fáceis de serem alcançadas. Obrigada de coração.

*“Julgue seu sucesso pelas coisas que você teve que renunciar para conseguir. ”*

*Dalai Lama*

## RESUMO

A matriz de concreto formada pelos agregados, água, cimento e alguns aditivos por si só oferece uma certa resistência à compressão pela atuação intrínseca destes materiais na massa de concreto. A adição de armaduras nas peças estruturais, dito concreto armado, estabelece a melhoria da carência do concreto quanto aos esforços de tração, o que amplia a quantificação desta propriedade mecânica. Porém, a adição de um compósito como a fibra de aço à massa de concreto altera indiretamente esta atribuição devido à redução de formação de fissuras, aumentando a resistência à compressão pela diminuição da deformação e formação de pontes de tensões distribuídas microscopicamente ao concreto, obtendo uma interação matriz – compósito com maior eficiência. Os ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade são métodos eficazes para a verificação deste aumento de resistência à ruptura. Com a adição de diferentes teores de fibra de aço a dois traços pré-estabelecidos com resistência à compressão característica distintas, obteve-se a quantificação do acréscimo dos valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade comparada à uma matriz de concreto sem adição de fibras, obtendo a análise da ação da adição de fibras de aço ao concreto simples.

**PALAVRAS-CHAVE:** Matriz, compósito, fibras de aço, métodos de ensaios.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fotomicrografia por microscópio eletrônico de varredura de matriz de concreto...	13
Figura 2 - Macroestrutura do concreto .....	14
Figura 3 – Fibras de aço com ancoragem na extremidade .....	16
Figura 4 - Concreto reforçado com fibra de aço.....	17
Figura 5 - Ensaio de módulo de elasticidade de um corpo de prova.....	18
Figura 6 - Ensaio de compressão.....	19
Figura 7 - Slump test .....	22
Figura 8 - Moldes de corpos de prova vazios e preenchidos.....	23
Figura 9 - Esquema do ensaio de módulo de elasticidade.....	23
Figura 10 - Resistência à compressão estimada dos corpos de prova do traço concreto de 20 MPa.....	31
Figura 11 - Resistência característica à compressão estimada dos corpos de prova do traço concreto de 40 MPa .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Fibras de aço.....	15
Tabela 2 - Traço utilizado como matriz para os corpos de prova.....	20
Tabela 3 - Rejeição de resultados segundo Critério de Chauvenet .....	27
Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência do concreto com 20 MPa com e sem adições de fibra, concreto com idade de 28 dias .....	28
Tabela 5 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de resistência à compressão para o traço C20 .....	29
Tabela 6 - Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.....	30
Tabela 7 - Percentual de acréscimo de resistência característica à compressão das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C20 .....	31
Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto com 40 MPa com e sem adições de fibra, concreto com idade de 28 dias.....	32
Tabela 9 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de resistência à compressão para o traço C40 .....	32
Tabela 10 - Percentual de acréscimo de resistência característica à compressão das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C40 .....	34
Tabela 11 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade com 20 MPa sem e com adições de fibra, concreto com idade de 28 dias .....	35
Tabela 12 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de módulo de elasticidade para o traço C20 .....	35
Tabela 13 - Percentual de acréscimo da média de módulo da elasticidade das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C20.....	36
Tabela 14 - Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto com 40 MPa com e sem adições de fibra, concreto com idade de 28 dias.....	37
Tabela 15 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de módulo de elasticidade para o traço de concreto C40.....	37
Tabela 16 - Percentual de acréscimo de resistência característica à compressão das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C40 .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### ABREVIATURAS

CRF	Concreto Reforçado com Fibras
CRFA	Concreto Reforçado com Fibras de Aço
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
Kg	Quilograma
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetro
L	Litro
CP	Corpo de prova
CV	Coefficiente de variação

### SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
FUCAMP	Fundação Carmelitana Mário Palmério
FECIV	Faculdade de Engenharia Civil
UFU	Universidade Federal de Uberlândia



## LISTA DE SÍMBOLOS

$E_{ci}$	Módulo de elasticidade inicial.
$\sigma_b$	Tensão maior, ( $\sigma_b = 0,3 f_c$ ).
$\sigma_a$	Tensão básica, ( $\sigma_b = 0,5 f_c$ ).
$\varepsilon_b$	Deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão maior.
$\varepsilon_a$	Deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão básica.
$f_c$	Resistência à compressão.
$f_{ck}$	Resistência característica à compressão do concreto
$F$	Carga aplicada ou força.
$d$	Diâmetro do corpo de prova.
$\bar{x}$	Média aritmética.
$x_i$	Valor de resistência calculado nos ensaios de corpo de prova pelo software.
$n$	Número de leituras.
$\sigma$	Desvio padrão convencional.
$\Delta R$	Razão entre máximo desvio aceitável e o desvio padrão do ensaio.
$x_{it}$	Valor de resistência calculado nos ensaios de corpo de prova de acordo com ensaio feito por Chauvenet.
$\bar{x}_t$	Média aritmética (MPa) de acordo com a tabela critério de Chauvenet.
$\sigma_t$	Desvio padrão convencional do ensaio de acordo com a tabela critério de Chauvenet.
$\Delta R_t$	Razão entre máximo desvio aceitável e o desvio padrão de acordo com a tabela critério de Chauvenet.
$f_{ckest}$	Resistência à compressão característica estimada da amostra testada.
$f_l$	Menor resultado entre os valores de resistência à compressão das amostras.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	11
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1</b>	<b>Matriz de concreto</b> .....	12
<b>2.1.1</b>	<b>Microestrutura do concreto</b> .....	12
<b>2.1.2</b>	<b>Macroestrutura do concreto</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>Fibra de aço</b> .....	14
<b>2.3</b>	<b>Interação fibra-matriz</b> .....	17
<b>2.4</b>	<b>Ensaio do concreto reforçado com fibra de aço</b> .....	17
<b>2.4.1</b>	<b>Ensaio do módulo de elasticidade do CRFA</b> .....	18
<b>2.4.2</b>	<b>Ensaio de compressão do CRFA</b> .....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	20
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	20
<b>3.2</b>	<b>Homogeneização e moldagem dos corpos de prova</b> .....	21
<b>3.3</b>	<b>Ensaio dos corpos de prova</b> .....	23
<b>3.3.1</b>	<b>Ensaio de módulo de elasticidade:</b> .....	23
<b>3.3.2</b>	<b>Ensaio de compressão:</b> .....	24
<b>3.3.3</b>	<b>Tratamento das amostras:</b> .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
<b>4.1</b>	<b>Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova</b> .....	28
<b>4.2</b>	<b>Ensaio de módulo de elasticidade dos corpos de prova</b> .....	35
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria da construção civil a utilização de materiais compósitos é feita em larga escala por ser de fundamental importância esse tipo de material em todas as etapas da obra. Segundo Mazur (2010), material compósito é “uma combinação de dois ou mais componentes distintos produzindo um novo material com propriedades resultantes mais atrativas em relação às das constituintes individuais”. Essa união de materiais tem como principal função a melhoria das propriedades mecânicas e físicas da matriz, o que garante maior viabilidade e possibilidade de utilização.

O concreto é um excelente material compósito, desenvolvido por traços de agregados graúdos e miúdos, juntamente com o agente cimentício e a água, os quais formam este tipo de insumo com maior consumo na construção civil. Além dos elementos pertencentes à composição desse material, há possibilidade de incluir aditivos intrinsecamente ao material ou como forma de complementação, resultando na melhoria da trabalhabilidade, tempo de cura e comportamento mecânico.

A diversidade dos tipos de concreto existentes hoje em dia permite que qualquer classe de obra seja atendida. O concreto armado como principal sistema construtivo é difundido largamente na construção em nível mundial. Portanto, a utilização de aço em conjunto com o concreto intensifica a resistência da estrutura, uma vez que o concreto apresenta maior resistência à compressão e insuficiência às forças de tração. O conjunto aço e concreto permite que essa limitação seja reduzida, visto que a armação restringe esse tipo de solicitação. Porém a aderência entre esses insumos é fundamental para que as estruturas forneçam a capacidade de suporte de cargas sem a configuração de danos à peça ou risco de rupturas.

De acordo com Bastos (2014), as características peculiares ao concreto, como resistência à compressão, estabilidade e menor custo, associados ao maior grau de suporte de deformações e resistência à tração do aço possibilita que esse sistema construtivo tenha influência no cronograma de gestão da obra por apresentar maior agilidade, além de permitir a produção de diversos tipos de estruturas.

A adição de componentes ao concreto armado ou até mesmo ao concreto simples, para a influência benéfica do seu comportamento mecânico, se mostra de modo semelhante aos aditivos à pasta cimentícia. A capacidade de materiais incorporados à estrutura como forma de reforço ao maciço são um dos principais estudos na área da engenharia atualmente como pesquisas de estabilidade do sistema construtivo em relação às cargas atuantes. Alguns elementos são mais utilizados como insumos como forma de contribuição às peças estruturais

devido ao tamanho, características peculiares ao material e especificidade do projeto.

As fibras são elementos de reforço que interferem efetivamente nas propriedades mecânicas do concreto (FIGUEIREDO, 2011). Segundo Jameran et al. (2015), o “concreto reforçado com fibra (CRF) apresenta melhor resistência à flexão, tenacidade, ductilidade e resistência às fissuras”. Essas fibras podem ser de origem sintética ou natural e os materiais mais comuns desse produto geralmente é o polipropileno e o aço, usados em teores especificados como forma de minorar as deficiências do concreto.

De acordo com Figueiredo (2000), as fibras de aço são materiais de pequenas dimensões e delgadas, que são obtidas geralmente pelo método de trefilação. Por ser originada de um insumo que apresenta características favoráveis à resistência e ductilidade, esse tipo de elemento tem ganhado grande importância em testes comparativos entre o concreto simples ou até mesmo o concreto com armaduras. Essa formação origina um material compósito com maior capacidade à resistência mecânica e diminuição de aparecimento de fissuração ou possibilidade de rupturas, impedindo assim que as patologias do concreto sejam propagadas, as quais oferecem risco à obra ou à vida útil da edificação.

Portanto, o presente trabalho visa avaliar o comportamento mecânico do concreto simples e reforçado com três teores diferentes de fibra de aço, a partir de ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade.

## **1.1 Objetivo geral**

O objetivo principal é avaliar o comportamento mecânico do concreto reforçado com fibra de aço de diferentes teores (30, 40 e 50 kg por m<sup>3</sup> de concreto), de acordo com ensaios das propriedades mecânicas deste compósito.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

- Verificação da influência de diferentes teores de fibra no reforço do concreto quanto ao módulo de elasticidade e a resistência à compressão;
- Realizar a comparação de resultados dos ensaios feitos ao concreto reforçado com fibra de aço (CRFA) com três teores diferentes de fibras de aço.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Desde a Revolução Industrial, que se deu início na metade do século XVIII, a fabricação em larga escala foi ganhando destaque mundial. A fabricação em série se tornou facilitada com os equipamentos elaborados, além dos tipos diversos de polos de manufaturas criados. Hoje em dia a indústria da construção civil integra uma das organizações mais rentáveis utilizando insumos industrializados e máquinas modernas. As matérias-primas e a integração delas originam compostos imprescindíveis, edificando e restaurando de forma total as obras.

### 2.1 Matriz de concreto

O concreto como resultado de um conjunto de materiais, em proporções efetivas, é um material compósito utilizado na maioria das edificações. A avaliação da sua micro e macroestrutura é relevante ao estudo de suas propriedades mecânicas e patologias específicas do insumo como um todo.

#### 2.1.1 Microestrutura do concreto

Os agentes agregantes de acordo com Souza (1998), possui grande influência na estrutura física do concreto, mesmo sendo classificados como materiais inertes, aumentam a resistência mecânica do composto. A sua granulometria tem ação direta sobre a trabalhabilidade, suporte de cargas e dureza do concreto. A vibração e o adensamento são processos que devem ser executados eficientemente para a diminuição de vazios, por estes permitirem a permeabilidade de substâncias nocivas, que muitas vezes provocam a segregação dos agregados da pasta de cimento. A existência de microfissuras pode ser determinada pela presença de poros na estrutura, que de acordo com aumento de tensões sofre descontinuação da massa de concreto enrijecida, ou fendas que podem diminuir a sua resistência.

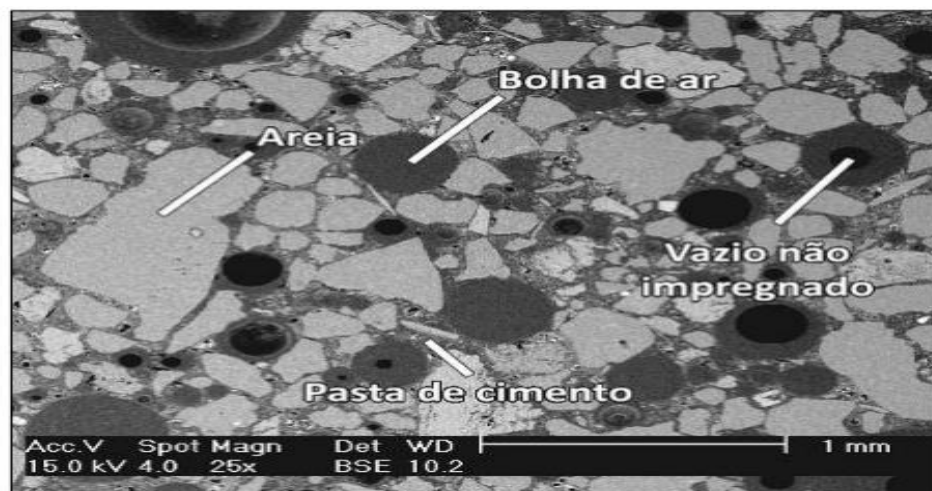
O cimento é um material obtido por calcinação em temperaturas elevadas, juntamente com o processo de moagem. Existem vários tipos de cimento utilizados hoje em dia devido às peculiaridades ou exigências que este insumo pode alcançar. Conforme Garcia (2015), o cimento Portland é um material com propriedade coalescente ao ser combinado com a água, formando uma pasta com características moldáveis que sofre endurecimento. A pega é definida por uma reação química da mistura entre as duas substâncias adquirindo resistência mecânica após sua cura.

Esse composto cimético pode conter poros vazios ou impregnados de água, podendo formar capilares numerosos ou de extensão incoerente, originando trincas após a cura do concreto devido à retração deste material. O parâmetro água/ cimento é de suma importância para a eficácia da trabalhabilidade, dureza e resistência do concreto. (MEHTA E MONTEIRO, 2008). A água em excesso tende a se acumular na superfície do concreto, carreando a pasta cimentícia e agregados de pequenas dimensões provocando desgaste na estrutura.

De acordo com Garcia (2015) a “diminuição da relação água/cimento possibilita a redução da porosidade promovendo o aumento da resistência mecânica e da durabilidade.” Além desse fator, a quantidade de vazios e o seu volume interfere diretamente no concreto endurecido. Segundo Mehta e Monteiro (2008), “poros grandes influenciam mais a resistência à compressão e a permeabilidade, poros menores têm influência maior na retração por secagem e fluência do concreto”.

A zona de transição é uma região em que as forças intermoleculares entre agregados e a massa cimentícia hidratada sofrem ligação. A aderência em um concreto é primordial para não haver desestruturação da sua composição. Esta área onde há a aglutinação dos insumos é relacionada aos vazios detectados na matriz e o fator água/cimento, que são os principais aspectos determinantes para a homogeneidade da massa e a não segregação dos compostos do concreto. A Figura 1 mostra uma matriz de concreto com seus componentes em microscopia eletrônica com a indicação de características existentes em um corpo de prova de concreto, além de agregado miúdo e a pasta de cimento (LOPES, 2016).

Figura 1 - Fotomicrografia por microscópio eletrônico de varredura de matriz de concreto



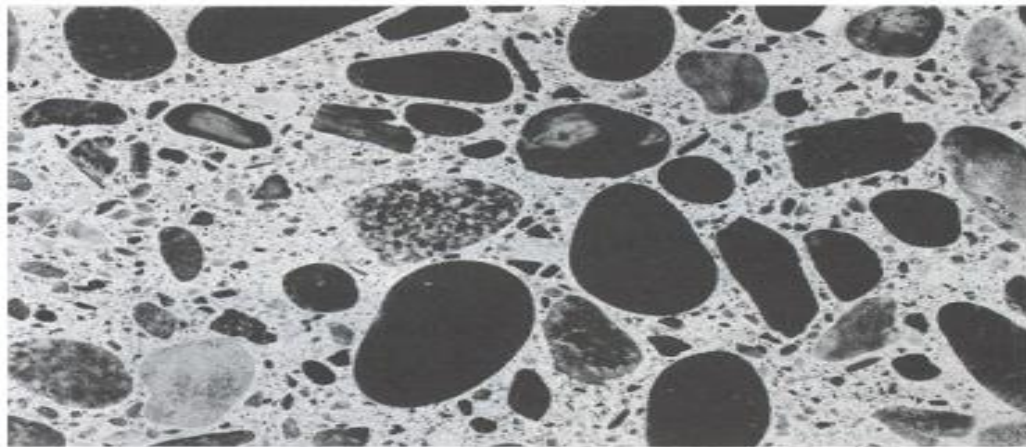
Fonte: Silva et al (2009).

### 2.1.2 Macroestrutura do concreto

Na macroscopia, método que não necessita de instrumental para a análise, pode-se ver geralmente duas fases heterogêneas: agregados e pasta de cimento. Os agregados graúdos por possuírem maior dimensão podem ser visualizados com a coloração diferente da pasta cimentícia que os intercalam. “A fase representada pelo agregado é a principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto” (SILVA, 2005).

A pasta de cimento se transforma na maior parcela vista, mesmo que os agregados possuam maior porcentagem na matriz de concreto, devido à coloração e sua dispersão entre os agentes agregantes. É possível observar a formação de poros e analisar possíveis patologias relacionadas à estrutura como trincas ou fendas, ocasionadas pelo aumento de número de vazios, por falha no lançamento do concreto na forma e por vibração deficiente. A Figura 2 exhibe as duas fases supracitadas.

Figura 2 - Macroestrutura do concreto



Fonte: Kaefer (2003).

## 2.2 **Fibra de aço**

No Brasil de acordo com Figueiredo (2011), o estudo sobre as fibras ainda não é muito difundido devido às legislações já estabelecidas e falta de complementação de normas para novos materiais. Obras de fundação com emprego do reforço de fibras no concreto são vistas raramente in loco, o que é muito difundida no exterior. Porém, a utilização desse material como forma de aumento da resistência mecânica em pavimentação e tubos de concreto para a engenharia sanitária é o principal enfoque deste autor.

O reforço do concreto com outros materiais é feito desde à antiguidade e passou a ser utilizado o material metálico no início do século XX, segundo Shimosaka (2016), “buscou-se desenvolver fibras de aço com diferentes características e formas, resultando assim em uma utilização como um reforço secundário, em setores da construção”. Essas fibras são elementos de pequenas dimensões que se comportam internamente ao concreto como distribuição das cargas por ele suportadas. Além disso, retarda o processo de fissuras e ruptura do concreto,

A Tabela 1 classifica os principais tipos de fibras de aço existentes no mercado brasileiro com suas peculiaridades de acordo com o que Figueiredo (2011) expõe como pesquisa.

Tabela 1 - Tipos de Fibras de aço

<b>Tipo</b>	<b>Especificação</b>	<b>Origem</b>	<b>Classe</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Limite de Resistência à tração (MPa)</b>
<b>A</b>	Com ancoragem nas extremidades	Chapas de aço cortadas	I* II**	- Fixação e aderência ao concreto	AI – 1000 AII – 500
<b>C</b>	Corrugada	Sobra da produção de lâ de aço	I II III***	- Aderência à matriz - Menor custo - Menor interferência na consistência do concreto	CI – 800 CII – 500 CIII – 800
<b>R</b>	Circular e reta	Fios trefilados e encruados	I II	- Maior resistência mecânica	RI – 1000 RII - 500

**Legenda:**

\* Classe I: Fibra de arame trefilado a frio

\*\* Classe II: Fibra de chapa laminada cortada a frio

\*\*\*Classe III: Fibra de arame trefilado e escarificado

**Fonte: Adaptação de Figueiredo (2011)**

A Figura 3 ilustra a fibra com ancoragem na extremidade, a geometria da fibra influencia diretamente na sua distribuição dentro da massa de concreto e a superfície de contato aumenta com a rugosidade da fibra. Além disso, apresenta maior resistência à fissura do concreto quando há o sistema de ancoragem neste elemento, já que sua inserção ao concreto a torna mais aderente devido à sua formatação. (SHIMOSAKA, 2016)



Figura 3 – Fibras de aço com ancoragem na extremidade



Fonte: Onuki e Gasparetto (2013).

A quantidade de fibra pode afetar a trabalhabilidade do concreto devido à formação de um arranjo enovelado, correspondente à sua geometria, que pode alterar as características reológicas do concreto fluido. Portanto, é necessário que a homogeneidade e a dissipação das fibras no concreto sejam bem-sucedidas, para que na etapa de lançamento de concreto junto às armaduras a pasta cimentícia não ocasione defeitos na fase de transição com o agregado, formando fendas ou parcelas de concreto endurecido sem o total enchimento. (BRAZ e NASCIMENTO, 2015).

Segundo Moscatelli (2011), fibras com maiores dimensões apresentam maior área superficial, exigindo uma maior quantidade de água para o aumento da aderência entre as fibras e a matriz no estado fresco, diminuindo a fluidez da composição, o que ocorre também com fibras com diâmetro pequeno.

Ainda de acordo com Moscatelli (2011) é necessário que a fibra não ocupe espaços externos à matriz devido ao risco de processo de corrosão, mesmo diminuindo a resistência somente da fibra que atua essa patologia, o concreto endurecido aparenta pontos de coloração diferentes do comum ao concreto, por isso, a distribuição deste elemento no concreto e a vibração feita de forma correta são soluções para esse tipo de avaria.

### 2.3 Interação fibra-matriz

A inserção das fibras na matriz visa o aumento do comportamento mecânico já que o aço como elemento destas fibras possui maior rigidez, diminuindo prováveis fendimentos na estrutura do concreto. Conforme Shimosaka (2016) “a fissura representa uma barreira para que a tensão se propague, fazendo com que haja uma concentração dessa tensão na extremidade da fissura, e caso o valor dessa tensão seja superior à resistência do concreto, a ruptura abrupta acontece.”

As fibras de aço criam uma aderência para a distribuição das tensões na região da fissura desde que haja conformidade da extensão da fibra com o tamanho do agregado e a sua proporção no concreto. (FIGUEIREDO, 2011). O teor de fibra incorporado à matriz pode aumentar a dificuldade de trabalhabilidade do concreto em caso de excesso.

Góis e Barboza (2015) especifica que a ação das fibras em conjunto com o concreto forma também um material compósito que “apresenta um comportamento pseudo-dúctil, ou seja, continua apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicados, mesmo após sua fissuração”. A Figura 4 representa a matriz de concreto com as fibras de aço expostas devido a ruptura total da peça, mostrando a ligação destas com o concreto.

Figura 4 - Concreto reforçado com fibra de aço



Fonte: Vasconcelos (2012)

### 2.4 Ensaios do concreto reforçado com fibra de aço

A utilização de testes para analisar o comportamento do concreto é prática comum na avaliação de suas propriedades mecânicas. A amostragem para esse tipo de experimento deve ser considerada como item obrigatório, visto que um corpo de prova único não serve de

padronização, além de excluir o efeito comparativo entre os testes. A verificação da resistência mecânica é a principal análise vista nesses ensaios, revelando índices que podem ser maximizados para a situação real de uma edificação ou obra.

O concreto com fibra de aço também pode ser ensaiado com corpos de prova do mesmo modo que a peça de concreto simples. Portanto, neste trabalho, os ensaios efetivos vistos como metodologia principal são o módulo de elasticidade e ensaio de compressão.

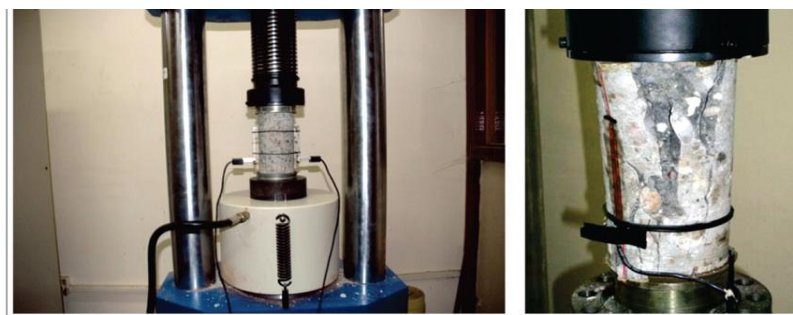
#### **2.4.1 Ensaio do módulo de elasticidade do CRFA**

A relação entre a tensão fornecida a um material com sua deformação é chamada de módulo de elasticidade. É um procedimento habitual para avaliação da ductilidade do concreto na engenharia civil, o ensaio é realizado para estabelecer as propriedades elásticas e plásticas deste insumo. De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, esse ensaio deve ser feito com corpo de prova de concreto de 28 dias de cura, o qual é previsto pela norma ABNT NBR 8522:2008.

A norma supracitada, apresenta o desenvolvimento prático e procedimentos do ensaio de módulo de elasticidade estático. A utilização de instrumentos, como mostra a Figura 5, para garantir o registro de dados de deformação devido à aplicação de uma solicitação com ciclo de cargas e descargas aplicada na peça de concreto é de suma importância, pois, a partir deles é gerado o diagrama tensão-deformação para visualização de regiões de proporcionalidades e regiões com plasticidade.

É possível analisar, mesmo que de forma imprecisa, tensões de escoamento e ruptura. A região onde é compreendida o comportamento elástico, mesmo com a aplicação de cargas, a deformação é vista de forma reduzida onde ao ser retirada a carga essa deformação é restaurada. Este é um fator observado nas fibras de aço aplicadas como reforço da estrutura, as quais tendem a elevar o módulo de elasticidade da matriz de concreto, classificada como material frágil.

Figura 5 - Ensaio de módulo de elasticidade de um corpo de prova



Fonte: Santos e Oliveira (2012).

#### 2.4.2 Ensaio de compressão do CRFA

Dado pela ABNT NBR 5739:2007, como forma de procedimento, a análise da resistência à compressão é vista como um tipo de controle de qualidade do concreto. Os corpos de prova são submetidos à uma carga axial de compressão constante até à sua ruptura, originando um ensaio do tipo destrutivo. (SHIMOSAKA, 2016)

O material avaliado são peças cilíndricas, com diâmetro e altura pré-definidos pelo tipo de ensaio, que através de uma máquina servo hidráulica com dispositivos analíticos de intensidade de pressão exercida, fornecem valores de cargas submetidas pelo instrumento.

Conforme Silva et al (2014), esse tipo de ensaio pode sofrer alterações na reprodutibilidade dos resultados, a superfície do corpo de prova deve ser regular para não originar excentricidade no carregamento, ocasionando resultados falso-positivos quanto ao valor da resistência mecânica da peça avaliada.

Segundo Figueiredo (2011), fibras de aço agem transferindo a carga nas extremidades das fissuras e com isso o concreto apresentará discreto aumento no ensaio de compressão axial, porém não é o intuito da incorporação da fibra à matriz de concreto, que realiza na matriz uma diminuição das fissuras. A Figura 6 mostra o corpo de prova em uma prensa para o ensaio de compressão.

Figura 6 - Ensaio de compressão



Fonte: Santos e Oliveira (2012).

Figueiredo (2011), relata que esta solicitação dimensionada nesse ensaio sofre alteração devido ao tamanho das fibras e do agregado graúdo presente na matriz.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Materiais

O cimento empregado nesse projeto foi o Portland pozolânico CP – IV – RS (resistente à sulfatos) com uma resistência de 20 MPa e 40 MPa, ou seja, C20 e C40.

O agregado graúdo utilizado foi a brita de origem granítica com dimensão máxima característica de 12,5 mm (brita 0) e 19 mm (brita 1). Quanto ao agregado miúdo foi utilizada a areia, classificada como fina, de acordo com a norma ABNT NM 248:2003 cujo módulo de finura é 1,24 e 1,63.

O aditivo empregado no concreto foi do tipo hiperplastificante de acordo com a ABNT NBR 11768:2011 usado como redutor da água, cujo teor reduz cerca de 20% da relação água/cimento, o aditivo foi colocado na água utilizada para o amassamento do concreto. A relação água/cimento é dada também pelo traço dosado.

A dosagem e o traço foi definido de acordo com Pereira (2017) sendo este com o seguinte valor em massa: 1 : 2,64 : 3,36 : 0,66 para um concreto de  $f_{ck}$  20 MPa e o traço em massa 1: 1,6 : 2,4 : 0,4; para um concreto de  $f_{ck}$  40 MPa; onde o quantitativo de cada componente foi estabelecida de acordo com a Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Traço utilizado como matriz para os corpos de prova

<b>Material</b>	<b>Resistência de 20 MPa</b>	<b>Resistência de 40 MPa</b>
<b>Cimento Portland CP IV 20 RS</b>	315,99 kg/m <sup>3</sup>	459,27 kg/m <sup>3</sup>
<b>Brita 0 – dimensão máxima 12,5 mm</b>	265,43 kg/m <sup>3</sup>	175,56 kg/m <sup>3</sup>
<b>Brita 1 – dimensão máxima 19 mm</b>	796,28 kg/m <sup>3</sup>	826,29 kg/m <sup>3</sup>
<b>Areia – módulo de finura 1,24</b>	290,71 kg/m <sup>3</sup>	257,19 kg/m <sup>3</sup>
<b>Areia – módulo de finura 1,63</b>	543,50 kg/m <sup>3</sup>	477,64 kg/m <sup>3</sup>
<b>Água</b>	208,55 L/m <sup>3</sup>	183,71 L/m <sup>3</sup>
<b>Aditivo hiperplastificante</b>	0,86 L/m <sup>3</sup>	2,34 L/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado de Pereira (2017).

A fibra de aço usada foi de classe I, denominada de fibra de arame trefilado a frio do tipo A com ancoragem nas extremidades, foram verificados possíveis defeitos por meio visual

e com a ajuda de um paquímetro foram mensurados os comprimentos de uma amostra de 100 fibras do lote.

### **3.2 Homogeneização e moldagem dos corpos de prova**

Após a dosagem do concreto com cada traço, a composição é colocada na betoneira previamente limpa. A limpeza da máquina é importante para que partículas ou sujidades não interfiram na qualidade dos corpos de prova. A sequência de adição dos materiais à betoneira foi dada da seguinte forma:

- Imprimação da betoneira para redução da perda de água nas paredes internas do maquinário;
- Adição do agregado graúdo, com adição de 50 % da água no traço obtido. Com uma homogeneização por cerca de um minuto;
- Adição do cimento e agitação por um minuto;
- Adição do restante de água, agregados miúdos e aditivo e homogeneização por cinco minutos.

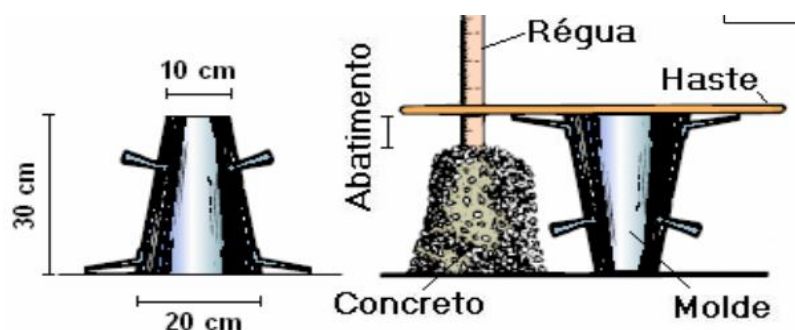
A quantidade de fibra de aço adicionada ao concreto é executada por parcelas. O primeiro teor a ser colocado é teor de 30 kg por m<sup>3</sup> adicionado ao concreto na betoneira e misturado por dois minutos. A amostra é recolhida para a moldagem de três corpos de prova e o ensaio de abatimento. Este processo se repete com os teores de 40 kg/m<sup>3</sup> e 50 kg/m<sup>3</sup>, sendo adicionado em cada etapa 10 kg de fibra por m<sup>3</sup> a cada homogeneização e retiradas as amostras de acordo com a ABNT NM 33:1998.

Os passos anteriores são executados de maneira semelhante para os dois tipos de traços, assim como o teste no concreto no estado fresco. O teste de abatimento pelo tronco de cone é um exemplo de teste com concreto à fresco que foi realizado de acordo a ABNT NM 67:1998, onde é possível a verificação da consistência da massa de acordo com os tipos de ensaio utilizados. Essa medida é realizada da seguinte forma:

- Umidificação prévia da placa base e do cone, colocando este último na posição correta sobre a placa;
- Preenchimento do cone com o concreto coletado da amostra realizando a compactação com golpes a cada camada colocada;
- O arrasamento do concreto na superfície do cone é executado para a eliminação de excesso do material;

- O cone deve ser retirado com cuidado em movimento vertical constante;
- Com régua ou trena, mede-se o abatimento do concreto, dado pela altura do concreto desmoldado do tronco de cone. A Figura 7 mostra os instrumentos principais usados neste teste.

Figura 7 - Slump test



Fonte: Junior (2013).

A ABNT NBR 5738:2003, traz em seu conteúdo o procedimento de execução da moldagem dos corpos de prova cilíndricos. Em suma, os moldes como mostra a Figura 8, necessitam de uma película de desmoldante, no caso óleo lubrificante, internamente em contato com o concreto.

O composto retirado da betoneira é usado para o preenchimento do interior do molde de corpo de prova cilíndricos, com dimensões de 100 mm x 200 mm, processo também visualizado na Figura 8, realizando o seu adensamento com auxílio de uma haste. Confeccionou-se oito corpos de prova de cada traço.

Além disso, determinou-se a montagem de dois corpos de prova com teores de fibra igual dentro de cada traço, ou seja, dois corpos de prova sem adição de fibras, dois corpos de prova com adição de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço, dois com 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra e dois corpos de prova contendo 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra. Estes possuem a identificação quanto ao tipo de traço e a quantidade de fibras existentes em cada um.

Os corpos de prova moldados são armazenados em câmara úmida por cerca de 24 horas para serem desmoldados. Após esse processo estas amostras sofrem submersão em solução saturada de hidróxido de cálcio para o processo de cura por vinte e oito dias.

Após esse período, os corpos de prova são retirados e transferidos para uma câmara úmida. As bases dessas peças são preparadas anteriormente aos ensaios com a remoção da camada fina irregular do topo dos corpos de prova, tornando-a retificada.

Figura 8 - Moldes de corpos de prova vazios e preenchidos



Fonte: Bortolini (2012).

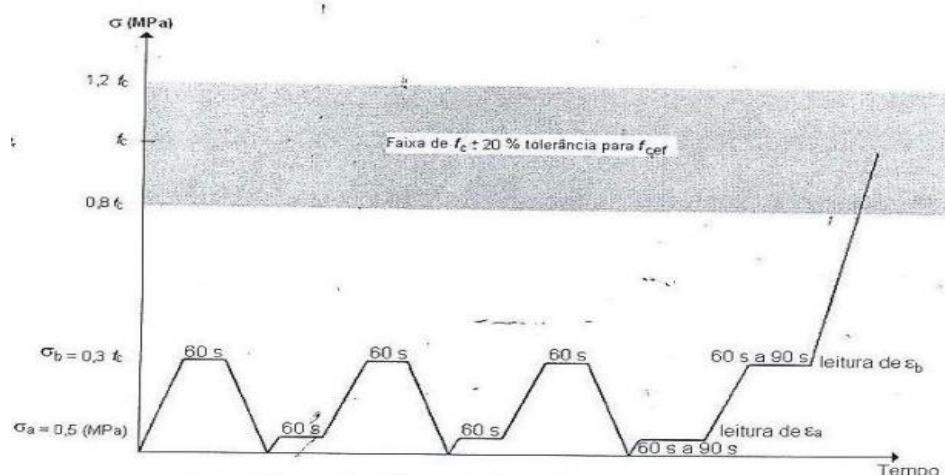
### 3.3 Ensaios dos corpos de prova

#### 3.3.1 Ensaios de módulo de elasticidade:

O procedimento do ensaio de módulo de elasticidade é prescrito de acordo com a ABNT NBR 8522:2008. Portanto o corpo de prova preparado e retificado em suas bases foi colocado em uma máquina servo hidráulica Instron disponibilizada pela faculdade de engenharia civil da Universidade Federal de Uberlândia (FECIV/UFU).

O corpo de prova é posicionado em seu eixo central, na posição longitudinal em relação à extensão da peça a ser ensaiada. São também colocados os medidores de deformação nos corpos de prova. As regras de descarregamento e carregamento são apresentadas pela norma, dada pela Figura 9 no momento da compressão, para a efetivação do teste.

Figura 9 - Esquema do ensaio de módulo de elasticidade



Fonte: NBR 8522 (2008).



Os dados obtidos quanto ao módulo de elasticidade inicial serão verificados de acordo com a norma anteriormente citada, no qual o cálculo será executado de acordo com a Equação 1 a seguir:

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b - \sigma_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

Onde:

$E_{ci}$  = módulo de elasticidade inicial (GPa)

$\sigma_b$  = Tensão maior, ( $\sigma_b = 0,3 f_c$ ) (MPa);

$\sigma_a$  = Tensão básica, ( $\sigma_b = 0,5 f_c$ ) (MPa);

$\varepsilon_b$  = Deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão maior;

$\varepsilon_a$  = Deformação específica média dos corpos de prova ensaiados sob a tensão básica.

### 3.3.2 Ensaio de compressão:

O instrumental utilizado nesse ensaio é também o dispositivo Instron, mesmo instrumental empregado anteriormente, em que o corpo de prova em posição longitudinal em relação à sua maior extensão será colocado no eixo central do prato da máquina como mostrado na Figura 6 anteriormente apresentada, juntamente aos medidores de deformação. O procedimento para esse ensaio é estabelecido de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007.

A compressão da peça em uma velocidade constante é determinada até a sua ruptura, com os dados de carga aplicada realizados pelo dispositivo servo hidráulico, juntamente com a área do corpo de prova é possível o cálculo da resistência à compressão da peça ensaiada dada pela Equação 2:

$$f_c = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (2)$$

Onde:

$f_c$  = Resistência à compressão (MPa);

$F$  = Carga aplicada ou força (N);

$d$  = Diâmetro do corpo de prova (mm).

### 3.3.3 Tratamento das amostras:

- Média, desvio padrão e coeficiente de variação:

O cálculo da média, apresentado pela Equação 3; desvio padrão experimental, Equação 4 e o coeficiente de variação, Equação 5; são mensurados para a amostra dos dois corpos de prova para cada ensaio.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Onde:

$\bar{x}$  = Média aritmética (MPa);

$x_i$  = Valor de resistência calculado nos ensaios de corpo de prova pelo software (MPa);

$n$  = Número de leituras

$$\sigma = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Onde:

$\sigma$  = Desvio padrão convencional (MPa);

$x_i$  = Valor de resistência calculado nos ensaios de corpo de prova pelo software (MPa);

$\bar{x}$  = Média aritmética (MPa);

$n$  = Número de leituras.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

$CV$  = Coeficiente de variação (%);

$\sigma$  = Desvio padrão convencional (MPa);

$\bar{x}$  = Média aritmética (MPa).

- Critério de Chauvenet:

O Critério de Chauvenet de acordo com Callegaro (2014), é um método que detecta resultados encontrados em um ensaio ou teste, que superam a propensão prevalecente da

amostra, ou seja, rejeita um comportamento atípico de extremos que diferenciam de modo excedente ao valor médio.

Amostras consideradas pequenas têm maior chance de resultados considerados fora do valor médio, o que necessita de um critério para a eliminação de amostras que fogem da média de valores testados. No caso deste trabalho são apenas dois corpos de prova utilizados em cada ensaio de compressão e módulo de elasticidade, o que necessita da verificação quanto ao critério de Chauvenet.

Portanto, para esse critério deverão ser mensuradas a média e o desvio padrão das amostras de corpo de prova quanto a resistência à compressão para a posterior comparação entre os resultados  $\Delta R$  e a tabela que apresenta o valor já pré-definido pelo critério de Chauvenet -  $\Delta R_t$ .

O valor  $x_i$  é considerado admissível se  $\Delta R \leq \Delta R_t$  cujo valores são passíveis de cálculo conforme as Equações 6 e 7.

$$\Delta R = \frac{|(x_i - \bar{x})|}{\sigma} \quad (6)$$

Onde:

$\Delta R$  = Razão entre máximo desvio aceitável e o desvio padrão (MPa) do ensaio;

$x_i$  = Valor de resistência calculado nos ensaios de corpo de prova pelo software (MPa);

$\bar{x}$  = Média aritmética (MPa) dos ensaios;

$\sigma$  = Desvio padrão convencional (MPa) do ensaio.

$$\Delta R_t = \frac{|(x_{it} - \bar{x}_t)|}{\sigma_t} \quad (7)$$

Onde:

$\Delta R_t$  = Razão entre máximo desvio aceitável e o desvio padrão (MPa) de acordo com a tabela critério de Chauvenet;

$x_{it}$  = Valor de resistência calculado nos ensaios de corpo de prova de acordo com ensaio feito por Chauvenet (MPa);

$\bar{x}_t$  = Média aritmética (MPa) de acordo com a tabela critério de Chauvenet;

$\sigma_t$  = Desvio padrão convencional (MPa) do ensaio de acordo com a tabela critério de Chauvenet.

O  $\Delta R_t$  é um valor tabelado de acordo com a rejeição de resultados segundo o critério de Chauvenet apresentada na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Rejeição de resultados segundo Critério de Chauvenet

<b>Número de corpos de prova ensaiados (N)</b>	<b>Razão</b> $\Delta R_t =  (x_{it} - \bar{x})  / \sigma$
2	1,15
3	1,38
4	1,54
5	1,65
6	1,73
7	1,80
8	1,85
9	1,91
10	1,96
15	2,13
20	2,24
30	2,39
50	2,57
100	2,81
300	3,14

Fonte: Adaptação de Arif (2014) e Schneider (2007).

- Resistência característica à compressão estimada:

A dosagem do concreto pode conferir às amostras diferentes valores de resistência à compressão, portanto é necessário a verificação da amostragem quanto aos resultados. Porém, de acordo com ABNT NBR 12655:2006, o controle de concreto por amostragem total deve ser verificado a resistência característica estimada de acordo com a Equação 8 a seguir, para números de exemplares testados menor ou igual a 20 amostras.

$$f_{ckest} = f_1 \quad (8)$$

Onde:

$f_{ckest}$  = resistência à compressão característica estimada da amostra testada;

$f_1$  = Menor resultado entre os valores de resistência à compressão das amostras.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados nesta etapa baseou-se nos dados fornecidos pelo software ligado ao dispositivo servo hidráulico Instron, do laboratório da Universidade Federal de Uberlândia, de acordo com o valor obtido durante os ensaios separadamente. Foram realizados testes de compressão em dois corpos de prova para cada avaliação.

### 4.1 Ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova

Os resultados de resistência à compressão são gerados pelo software de banco de dados obtidos no ensaio de compressão dos corpos de prova com traço de 20 MPa, com idade de 28 dias e com a quantidade de fibras adicionadas à matriz, conforme a Tabela 4 a seguir, que também apresenta os valores médios de resistência, desvio padrão para as amostras e o coeficiente de variação.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência do concreto com 20 MPa com e sem adições de fibra, concreto com idade de 28 dias

<b>Especificações</b>	<b>Resistência calculada pelo software (MPa)</b>	<b>Resistência média (MPa)</b>	<b>Desvio padrão – <math>\sigma</math> (MPa)</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
<b>Traço C20 sem adição de fibras de fibra de aço</b>	CP 1 – 18,17 CP 2 – 23,90	21,03	4,05	19,26
<b>Traço C20 com 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	CP 1 – 23,27 CP 2 – 26,68	24,97	2,42	9,67
<b>Traço C20 com 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	CP 1 – 30,42 CP 2 – 28,36	29,35	1,45	4,69
<b>Traço C20 com 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	CP 1 – 29,02 CP 2 – 32,05	30,54	2,14	7,01

Fonte: A autora (2018).

De acordo com o que foi exposto anteriormente, o Critério de Chauvenet foi calculado para todos os resultados encontrados no traço C20 de acordo com a adição de fibras, as respostas desses dados são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de resistência à compressão para o traço C20

Adição de fibras	Resistência de cálculo (MPa)	Resistência média (MPa)	$(x_i - \bar{x})$ (MPa)	Desvio padrão - $\sigma$ (MPa)	Critério de Chauvenet $\Delta R =  x_i - \bar{x}  / \sigma$
<b>0</b>	CP 1 – 18,17 CP 2 – 23,90	21,03	CP1 = -2,86 CP2 = 2,87	4,05	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
<b>30 kg/m<sup>3</sup> de fibra</b>	CP 1 – 23,27 CP 2 – 26,68	24,97	CP1 = -1,7 CP2 = 1,71	2,42	CP1 = 0,7 CP2 = 0,71
<b>40 kg/m<sup>3</sup> de fibra</b>	CP 1 – 30,42 CP 2 – 28,36	29,35	CP1 = 1,07 CP2 = -0,99	1,45	CP1 = 0,71 CP2 = 0,68
<b>50 kg/m<sup>3</sup> de fibra</b>	CP 1 – 29,02 CP 2 – 32,05	30,54	CP1 = -1,52 CP2 = 1,51	2,14	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
<b>Razão <math>\Delta R =  x_i - \bar{x}  / \sigma &lt; 1,15</math></b>					

Fonte: A autora (2018).

Com esses valores pode-se analisar que nenhum resultado foi descartado, portanto a amostra é válida integralmente, obtendo valores próximos à média calculada. Além disso, as resistências à compressão médias calculadas tanto no traço sem fibras de aço e quanto no traço com fibra de aço apresentaram coerência com o valor de resistência característico de compressão do concreto produzido, no caso valores maiores que 20 MPa.

O desvio padrão requerido pela norma ABNT NBR 12655:2006, quando este valor é desconhecido, deve-se adotar resultados de acordo com a avaliação da resistência à compressão conforme a condição de preparo do concreto.

A exigência do preparo do insumo para este experimento pode ser definida como um requisito aplicável às classes C10 até C25, quando cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume, considerado portanto, condição de preparo B. (ABNT NBR 12655:2006)

Com isso, é possível adotar valores de desvios padrão quando a amostra apresenta dados superiores ao indicado na Tabela 6, ou seja, de acordo com o tipo de preparo da dosagem do concreto.

Tabela 6 - Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

<b>Condição de preparo do concreto</b>	<b>Desvio padrão – <math>\sigma</math> (MPa)</b>
<b>A</b>	4,0
<b>B</b>	5,5
<b>C<sup>1</sup></b>	7,0

<sup>1</sup> Para a condição de preparo C, e enquanto não se conhece o desvio-padrão, exige-se para os concretos de classe C15 o consumo mínimo de 350 kg de cimento por metro cúbico de concreto.

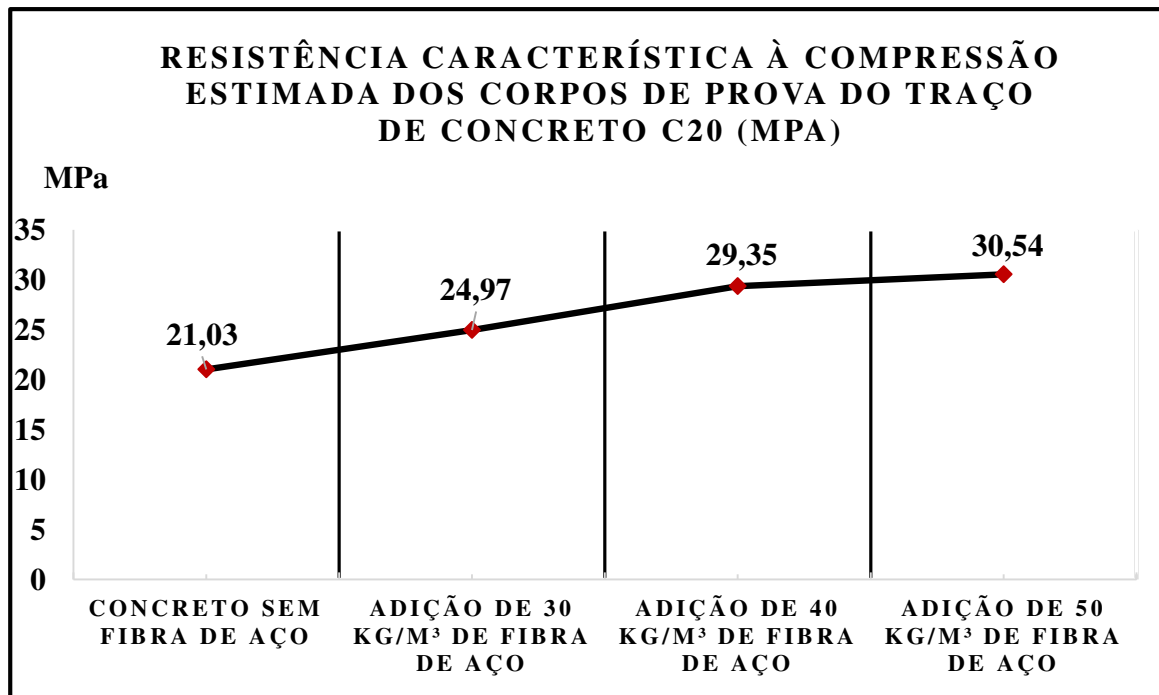
Fonte: ABNT NBR 12655:2006

Visto isso, os resultados do desvio padrão calculado nas amostras de corpo de prova para o traço C20 e de acordo com a condição de preparo do concreto desses ensaios, permite observar que os desvios padrões resultantes destes testes são menores que 5,5 MPa, o que confere aos dados a importância de estabelecimento dentro dos limites da normalidade.

Além disso, o cálculo da resistência à compressão característica estimada dos corpos de prova utilizados para os ensaios neste traço, mostrou um aumento discreto da resistência à tensão de compressão com o aumento das fibras, o que é possível verificar na Figura 10, confirmando que o desempenho do reforço da fibra em relação ao concreto sem adição de fibra utilizado como referência é um grande benefício à matriz.

Indiretamente há o aumento da resistência à compressão devido à limitação de abertura de fissuras advinda do reforço com fibras de aço. A porcentagem desse acréscimo da resistência à compressão em relação ao concreto sem adição de fibras como referência, é mostrada na Tabela 7.

Figura 10 - Resistência à compressão estimada dos corpos de prova do traço concreto de 20 MPa



Fonte: A autora (2018)

Tabela 7 - Percentual de acréscimo de resistência característica à compressão das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C20

Tipo de concreto	% de acréscimo de resistência à compressão
Referência – Sem acréscimo de fibra <sup>1</sup>	-
Com adição de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	28,07 %
Com adição de 40 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	56,08 %
Com adição de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	59,71 %

<sup>1</sup>  $f_{ckest}$  do concreto sem fibras= 18,17 MPa.

Fonte: A autora (2018).

Conforme a Tabela 8, a partir dos resultados coletados do banco de dados de acordo ensaio de compressão dos corpos de prova com o traço de resistência característica de 40 MPa, com 28 dias, com adição das fibras de aço como reforço, apresenta também a média da



resistência à compressão, o desvio padrão deste procedimento e o coeficiente de variação destes valores.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto com 40 MPa com e sem adições de fibra, concreto com idade de 28 dias

Especificações	Resistência calculada pelo software (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão – $\sigma$ (MPa)	Coeficiente de variação (%)
Traço C40 sem adição de fibras de fibra de aço	CP 1 – 40,60 CP 2 – 34,84	37,72	4,07	10,80
Traço C40 com 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 42,06 CP 2 – 45,88	43,97	2,7	6,4
Traço C40 com 40 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 45,55 CP 2 – 46,70	46,12	0,81	1,76
Traço C40 com 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 42,23 CP 2 – 41,33	41,78	0,63	1,52

Fonte: A autora (2018).

O critério de Chauvenet também foi empregado para todos os resultados encontrados no traço C40, de acordo com a adição de fibras, dados estes apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de resistência à compressão para o traço C40

Adição de fibras	Resistência de cálculo (MPa)	Resistência média (MPa)	$(x_i - \bar{x})$ (MPa)	Desvio padrão – $\sigma$ (MPa)	Critério de Chauvenet $\Delta R =  x_i - \bar{x}  / \sigma$
0	CP 1 – 40,60 CP 2 – 34,84	37,72	CP1 = 2,88 CP2 = -2,88	4,07	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	CP 1 – 42,06 CP 2 – 45,88	43,97	CP1 = -1,91 CP2 = 1,91	2,7	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
40 kg/m <sup>3</sup> de fibra	CP 1 – 45,55 CP 2 – 46,70	46,12	CP1 = -0,57 CP2 = 0,58	0,81	CP1 = 0,70 CP2 = 0,71
50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	CP 1 – 42,23 CP 2 – 41,33	41,78	CP1 = 0,45 CP2 = -0,45	0,63	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
<b>Razão <math>\Delta R =  x_i - \bar{x}  / \sigma &lt; 1,15</math></b>					

Fonte: A autora (2018).

É também possível analisar que nenhum resultado foi descartado pelo critério de Chauvenet, contendo todos os resultados abaixo do limite de 1,15 dado na Tabela 3 anteriormente citada, portanto as amostras se tornam válidas de modo total, atingindo valores próximos à média em cada ensaio. A resistência média calculada no traço sem fibras de aço apresentou um valor abaixo do valor de resistência característica de compressão do concreto (C40), resultando em um valor de 37,72 MPa, ou seja, um resultado 5,7% menor que a resistência característica do concreto de 40 MPa.

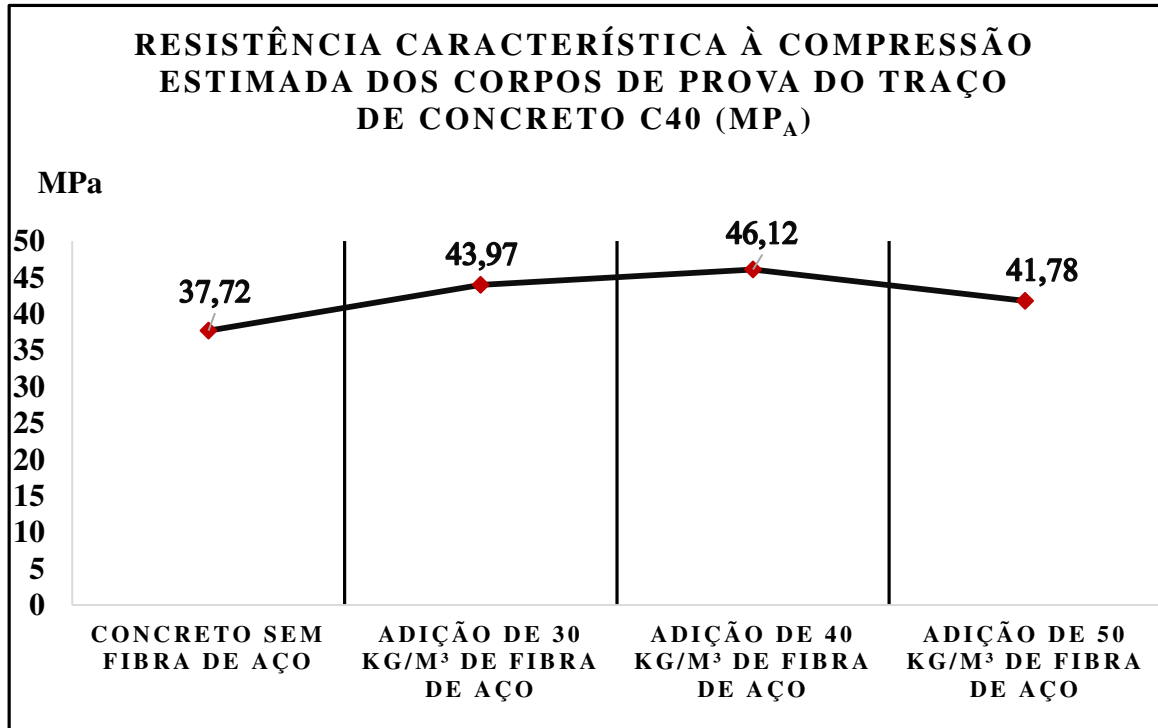
De acordo com Filho e Helene (2011), uma série de intercorrências podem ocasionar a diminuição da resistência à compressão em corpos de prova e o que pode ter causado esse tipo de interferência são por exemplo a instabilidade nos aspectos físicos e proporcionais dos agregados constituintes da matriz de concreto, diferenças quanto ao ambiente no processo de cura do concreto e alteração no adensamento feito na moldagem de corpo de provas. Porém, quanto ao traço de concreto C40 com reforço de fibra de aço apresentaram coerência com a resistência à compressão característica para o traço deste concreto.

Os resultados do desvio padrão calculado nas amostras de corpo de prova para o traço C40 e de acordo com a condição de preparo do concreto desses ensaios, resultam em valores menores que 5,5 MPa, o que confere valores dentro do limite normal para esse concreto, de acordo com a Tabela 4 anteriormente citada.

O cálculo da resistência à compressão característica estimada dos corpos de prova utilizados no traço C40, apresentou também um aumento discreto da resistência à compressão com o acréscimo de 30 kg/m<sup>3</sup> e 40 kg/m<sup>3</sup> em relação à resistência à compressão característica estimada do concreto considerado referência o qual não contém fibras de aço, o que é possível verificar na Figura 11. Ou seja, indiretamente há o acréscimo da resistência à compressão devido à redução de fissuras no compósito, correspondente ao reforço com fibras de aço nestes teores.

Porém há uma alteração da resistência à compressão do corpo de prova com reforço de fibra de aço de teor de 50 kg/m<sup>3</sup>, em relação concreto de referência sem a fibra de aço, há uma ligeira diminuição da resistência à compressão comparados aos outros teores de fibra vistos neste projeto, porém houve acréscimo dessa característica em concreto do traço C40 sem o reforço de fibras de aço, usados como referências, conforme a Tabela 10.

Figura 11 - Resistência característica à compressão estimada dos corpos de prova do traço concreto de 40 MPa



Fonte: A autora (2018)

Tabela 10 - Percentual de acréscimo de resistência característica à compressão das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C40

Tipo de concreto	% de acréscimo de resistência à compressão
Referência – Sem acréscimo de fibra <sup>1</sup>	-
Com adição de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	20,72 %
Com adição de 40 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	30,74 %
Com adição de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	18,63 %

<sup>1</sup>  $f_{ckest}$  do concreto sem fibras= 34,84 MPa.

Fonte: A autora (2018).

#### 4.2 Ensaio de módulo de elasticidade dos corpos de prova

Os resultados de módulo de elasticidade são gerados pelo software de banco de dados obtidos no ensaio de tensão *versus* deformação dos corpos de prova com traço de 20 MPa, com idade de 28 dias e com a quantidade de fibras adicionadas à matriz, conforme a Tabela 11 a seguir, que também apresenta os valores médios de módulo de elasticidade, desvio padrão para as amostras e o coeficiente de variação.

Tabela 11 - Resultados do ensaio de módulo de elasticidade com 20 MPa sem e com adições de fibra, concreto com idade de 28 dias

Especificações	Módulo de elasticidade (MPa)	Média do módulo de elasticidade (MPa)	Desvio padrão – $\sigma$ (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Traço C20 sem adição de fibras de fibra de aço	CP 1 – 4715,80 CP 2 – 5431,37	5073,58	505,99	9,97
Traço C20 com 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 5550,32 CP 2 – 6610,63	6080,47	749,76	12,33
Traço C20 com 40 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 7057,95 CP 2 – 6391,37	6724,66	471,34	7,01
Traço C20 com 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 6754,66 CP 2 – 7092,77	6923,71	239,08	3,45

Fonte: A autora (2018).

De acordo com o que foi exposto anteriormente, o Critério de Chauvenet foi calculado para todos os resultados encontrados no traço C20 de acordo com a adição de fibras, as respostas desses dados são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de módulo de elasticidade para o traço C20

Adição de fibras	Módulo de elasticidade (MPa)	Média do Módulo de elasticidade (MPa)	$(x_i - \bar{x})$ (MPa)	Desvio padrão – $\sigma$ (MPa)	Critério de Chauvenet $\Delta R =  (x_i - \bar{x})  / \sigma$
0	CP 1 – 4715,80 CP 2 – 5431,37	5073,58	CP1 = -357,78 CP2 = 357,79	505,99	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	CP 1 – 5550,32 CP 2 – 6610,63	6080,47	CP1 = -530,15 CP2 = 530,16	749,76	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71

<b>40 kg/m<sup>3</sup> de fibra</b>	CP 1 – 7057,95 CP 2 – 6391,37	6724,66	CP1 = 333,29 CP2 = -333,29	471,34	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
<b>50 kg/m<sup>3</sup> de fibra</b>	CP 1 – 6754,66 CP 2 – 7092,77	6923,71	CP1 = -169,05 CP2 = 169,06	239,08	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
<b>Razão <math>\Delta R =  (x_i - \bar{x})  / \sigma &lt; 1,15</math></b>					

Fonte: A autora (2018).

Com esses valores pode-se analisar que nenhum resultado foi descartado, portanto a amostra é válida integralmente, obtendo valores próximos à média calculada.

A média do módulo de elasticidade dos corpos de prova utilizados para os ensaios neste traço, mostrou um aumento discreto desse parâmetro com o aumento da adição das fibras, o que é possível verificar na Tabela 13. Portanto o reforço da fibra de aço no concreto auxilia no aumento da fluência do concreto.

Tabela 13 - Percentual de acréscimo da média de módulo da elasticidade das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C20

<b>Tipo de concreto</b>	<b>% de acréscimo do módulo de elasticidade</b>
<b>Referência – Sem acréscimo de fibra <sup>1</sup></b>	-
<b>Com adição de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	19,84 %
<b>Com adição de 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	32,54 %
<b>Com adição de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	36,47 %
<sup>1</sup> Módulo de elasticidade do concreto sem fibras= 5073,58 MPa.	

Fonte: A autora (2018).

Conforme a Tabela 14, a partir dos resultados coletados do banco de dados de acordo ensaio módulo de elasticidade dos corpos de prova com o traço de resistência característica à compressão de 40 MPa, com 28 dias, com adição das fibras de aço como reforço, apresenta também a média do módulo de elasticidade, o desvio padrão deste procedimento e o coeficiente de variação destes valores.

Tabela 14 - Resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto com 40 MPa com e sem adições de fibra, concreto com idade de 28 dias

Especificações	Módulo de elasticidade (MPa)	Média do módulo de elasticidade (MPa)	Desvio padrão – $\sigma$ (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Traço C40 sem adição de fibras de fibra de aço	CP 1 – 7869,43 CP 2 – 7835,33	7852,88	24,11	0,31
Traço C40 com 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 7396,45 CP 2 – 8199,88	7798,16	568,11	7,28
Traço C40 com 40 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 7395,54 CP 2 – 8141,26	7768,40	527,30	6,78
Traço C40 com 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra de aço	CP 1 – 7471,70 CP 2 – 7567,39	7519,55	67,67	0,9

Fonte: A autora (2018).

O critério de Chauvenet foi empregado para todos os resultados encontrados no traço C40, de acordo com a adição de fibras, dados estes apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Critério de Chauvenet aplicado aos resultados de módulo de elasticidade para o traço de concreto C40

Adição de fibras	Módulo de elasticidade (MPa)	Média do módulo de elasticidade (MPa)	$(x_i - \bar{x})$ (MPa)	Desvio padrão – $\sigma$ (MPa)	Critério de Chauvenet $\Delta R =  x_i - \bar{x}  / \sigma$
0	CP 1 – 7869,43 CP 2 – 7835,33	7852,88	CP1 = 16,55 CP2 = -17,55	24,11	CP1 = 0,69 CP2 = 0,73
30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	CP 1 – 7396,45 CP 2 – 8199,88	7798,16	CP1 = -401,71 CP2 = 401,72	568,11	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
40 kg/m <sup>3</sup> de fibra	CP 1 – 7395,54 CP 2 – 8141,26	7768,40	CP1 = -372,86 CP2 = 372,86	527,30	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	CP 1 – 7471,70 CP 2 – 7567,39	7519,55	CP1 = -47,85 CP2 = 47,84	67,67	CP1 = 0,71 CP2 = 0,71
<b>Razão <math>\Delta R =  x_i - \bar{x}  / \sigma &lt; 1,15</math></b>					

Fonte: A autora (2018).

É também possível analisar que nenhum resultado foi descartado pelo critério de Chauvenet, contendo todos os resultados abaixo do limite de 1,15 dado na Tabela 3

anteriormente citada, portanto as se tornam totalmente válidas, atingindo valores próximos à média em cada ensaio. A média do módulo de elasticidade dos corpos de prova utilizados para os ensaios neste traço, mostrou um declínio discreto desse parâmetro com a adição das fibras, o que é possível verificar na Tabela 16.

Portanto o reforço da fibra de aço no concreto auxilia na fluência do concreto determinada pelo módulo de elasticidade, porém o que pode ter causado a diminuição dessa fluência em relação direta com a adição de fibras de aço, é a diminuição de trabalhabilidade do concreto com um traço C40. Com a aglomeração das fibras o concreto perdeu aos poucos a fluência comparado ao concreto matriz de referência, ou seja, sem fibras.

Tabela 16 - Percentual de acréscimo de resistência característica à compressão das adições de fibra de aço na matriz de concreto do traço C40

<b>Tipo de concreto</b>	<b>% de decréscimo de resistência à compressão</b>
<b>Referência – Sem acréscimo de fibra <sup>1</sup></b>	-
<b>Com adição de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	0,70 %
<b>Com adição de 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	1,08 %
<b>Com adição de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço</b>	4,25 %

<sup>1</sup> Módulo de elasticidade do concreto sem fibras: 7852,88 MPa.

Fonte: A autora (2018).

## 5 CONCLUSÃO

O reforço da matriz de concreto com a adição de fibra de aço no traço anteriormente descrito promoveu um ligeiro acréscimo de resistência à compressão conforme o aumento dos teores das fibras adicionados. Em comparação com o concreto sem a adição de fibras houve um aumento percentual maior em relação ao concreto com traço de resistência à compressão característica de 20 MPa de 59,71% com a adição de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço na matriz, para o traço com concreto de resistência à compressão característica 40 MPa houve um acréscimo de 30,74% para a adição de 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra de aço no ensaio supracitado.

Além disso, é possível verificar neste ensaio que o desvio padrão quanto à resistência à compressão reduz de acordo com o acréscimo de fibras ao concreto, representando valores próximos à média. Ou seja, em resultados com menores dispersões e maior confiabilidade da amostragem. Esse atributo pode auxiliar em estudos futuros para a verificação da influência das fibras de aço na reprodutibilidade de resultados de resistência à compressão em torno de uma média obtida, como forma de uma padronização.

A melhoria da resistência é vista como benefício indireto da adição de fibras de aço, visto que, a maior propriedade deste material na matriz é estabelecer uma redução do desenvolvimento de fissuras, pois, tendem a formar vinculações que retardam a abertura do concreto na atuação de uma força, oferecendo assim um ganho de resistência à compressão.

Quanto ao ensaio de módulo de elasticidade o aumento percentual nos dois traços de concreto com resistência à compressão característica de 20 MPa e 40 MPa, a adição de fibras de aço com um teor de 50 kg/m<sup>3</sup> permitiu um acréscimo de 36,47% e 4,25% respectivamente aos traços para esse ensaio em relação ao concreto sem adição de fibra.

A adição de fibra de aço viabiliza a formação microscópica de vinculações que distribuem as tensões, o que diminui, portanto, a fissuração do concreto. Por isso, há o aumento da ductilidade. A deformação do corpo de prova sofre retardado devido à ação desta distribuição, reduzindo a fluência do concreto, como mostrou o acréscimo nos valores de módulo de elasticidade do concreto.

Contudo o objetivo essencial deste trabalho, a análise do comportamento mecânico da adição de fibras de aço à matriz de concreto frente aos ensaios de compressão e módulo de elasticidade para os diferentes teores de fibras de aço em dois traços estabelecidos foi atingida, mostrando que a utilização de compósitos específicos no concreto pode trazer benefícios diretos e indiretos às peças estruturais, trazendo mais segurança e durabilidade às estruturas.



Como sugestão para trabalhos futuros relacionados à fibra de aço existem as propostas de expandir os testes com os corpos de prova, como o ensaio à tração por compressão diametral, análise de outros traços e adição de teores diferentes de fibras de aço, para a análise das variações e complementação dos estudos, além da verificação da reprodutibilidade e dispersão de resultados de resistência à compressão das amostras com o reforço das fibras de aço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <[https://mvalin.com.br/\\_files/200000138-8b9f88c95f/NBR%205738%20-%202003%20-%20Moldagem%20e%20cura%20de%20corpos-de-prova%20cilindr.pdf](https://mvalin.com.br/_files/200000138-8b9f88c95f/NBR%205738%20-%202003%20-%20Moldagem%20e%20cura%20de%20corpos-de-prova%20cilindr.pdf)>. Acesso em: 15 set 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 1 ed. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAerRIAC/nbr-5739-2007-concreto-ensaio-compressao-corpos-prova-cilindricos#>>. Acesso em: 30 jul 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://rotaacessivel.com.br/\\_files/200000331-8d02e8df9a/Projeto%20de%20estruturas%20de%20concreto.pdf](https://rotaacessivel.com.br/_files/200000331-8d02e8df9a/Projeto%20de%20estruturas%20de%20concreto.pdf)>. Acesso em: 14 jul 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[https://mvalin.com.br/\\_files/200000143-5339b5434a/NBR%208522%20-%20Concreto%20-%20Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20m%C3%B3dulo%20est%C3%A1tico%20de%20elasticidade%20%C3%A0%20compress%C3%A3o.pdf](https://mvalin.com.br/_files/200000143-5339b5434a/NBR%208522%20-%20Concreto%20-%20Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20m%C3%B3dulo%20est%C3%A1tico%20de%20elasticidade%20%C3%A0%20compress%C3%A3o.pdf)>. Acesso em: 19 set 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<https://www.etecitapeva.com.br/arquivos/docentes/Professor%20Carlos%20Santine/NBR-12655-2006-Concreto-de-cimento-Portland-Preparo-controle-e-recebimento-Procedimento.pdf>>. Acesso em: 15 set 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<https://edoc.site/nbr-11768-2011-aditivos-para-concreto-de-cimento-portland-requisitos-em-vigorpdf-2-pdf-free.html>>. Acesso em: 16 set 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2033%20-%202098\\_aula.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2033%20-%202098_aula.pdf)>. Acesso em: 06 ago 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <[https://mvalin.com.br/\\_files/200000140-668e26789b/NBR%20NM%2067%20-%20Concreto%20-%20Determinacao%20da%20consistencia%20pelo%20aba.pdf](https://mvalin.com.br/_files/200000140-668e26789b/NBR%20NM%2067%20-%20Concreto%20-%20Determinacao%20da%20consistencia%20pelo%20aba.pdf)>. Acesso em: 06 ago 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/Nbr\\_nm248\\_2003.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/Nbr_nm248_2003.pdf)>. Acesso em: 06 ago 2018.

ARIF, Mohammed Adel. **Avaliação da medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14208/1/AvaliacaoMedidaTenacidade.pdf>>. Acesso em: 20 set 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Estruturas de Concreto Armado**. 2014. Notas de Aula - Disciplina de Estruturas de Concreto I, curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2014. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Introducao.pdf>>. Acesso em: 14 jul 2018.

BORTOLINI, Rafaela. **Concreto**: Corpos de prova. 2012. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=992>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

BRAZ, Mariane Caroline de Araújo; NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante do. **Concreto reforçado com fibras de aço**. Ciências Exatas e Tecnológicas, Maceió, v. 3, n. 1, p.45-56, nov. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/download/2638/1528&rct=j&frm=&q=&esrc=s&sa=U&ved=0ahUKEwi3zIH4moPcAhWFTJAKHQBaD7MQFggwMAI&usg=AOvVaw2ajdidax4gLdDwGVeNf4BK>>. Acesso em: 27 jun 2018.

CALLEGARO, Rafael Frizzo. **Uma arquitetura para fusão de dados de sensores de baixo custo em redes de sensores sem fio**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/129459/327790.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 set 2018.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: EPUSP, 2000. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/260). Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt\\_00260.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt_00260.pdf)>. Acesso em 28 jun 2018.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012112833/publico//TeseLivreDocenciaAntonioFigueiredo2011.pdf>>. Acesso em: 28 jul 2018.

FILHO, Luiz Carlos Pinto da Silva; HELENE, Paulo. **Análise de estruturas de concreto com problemas de resistência e fissuração**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 32. p. 1-46. Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc54.pdf>>. Acesso em: 20 Não é um mês valido! 2018.

GARCIA, Dayana Cristina Silva. **Análise da microestrutura de pasta de cimento Portland com tratamento térmico por meio de segmentação de imagens e ensaio de ultra-microdureza**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2015. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A2SJDQ/vers\\_o\\_final.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A2SJDQ/vers_o_final.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 26 jul 2018.

GÓIS, Fernanda Alves Pinto; BARBOZA, Aline da Silva Ramos. **Avaliação da influência da adição de fibras de aço no concreto fluido solicitado por tensões de tração**. Scientia Plena, Sergipe, v. 11, n. 11, p.1-8, 04 nov. 2015. Disponível em:<<https://scientiaplena.org.br/sparticleview26521339>>. Acesso em 27 jun 2018.

JAMERAN, Aminuddin et al. **Mechanical properties of steel-polypropylene fibre reinforced concrete under elevated temperature**. Procedia Engineering, Surabaya, East Java - Indonesia, v. 1, n. 125, p.818-824, set. 2015. The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5). Disponível em: <[https://ac.els-cdn.com/S1877705815034633/1-s2.0-S1877705815034633-main.pdf?\\_tid=6d558ff8-0816-48b9-8a1e-19aa38ad6ead&acdnat=1532034042\\_9624988ab970c0ec35794989e86e5ffb](https://ac.els-cdn.com/S1877705815034633/1-s2.0-S1877705815034633-main.pdf?_tid=6d558ff8-0816-48b9-8a1e-19aa38ad6ead&acdnat=1532034042_9624988ab970c0ec35794989e86e5ffb)>. Acesso em: 17 jul 2018.

FREITAS JUNIOR, José de Almendra. **Propriedades do concreto fresco**. 2013. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/7c/TC031\\_Propriedades\\_fresco\\_.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/7c/TC031_Propriedades_fresco_.pdf)>. Acesso em: 20 set 2018.

KAEFER, Luis Fernando. **Considerações sobre a Microestrutura do Concreto**. 2003 Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br/artigos1.htm>>. Acesso em: 28 jul 2018.

LOPES, Taís Biazão. **Comparação da microestrutura do concreto auto adensável com o concreto convencional.** 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Limeira, SP, 2016. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/320825/1/Lopes\\_TaisBiazao\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/320825/1/Lopes_TaisBiazao_M.pdf)>. Acesso em: 20 jul 2018.

MAZUR, Rogério Lago. **Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/PEKK com aplicações aeronáuticas.** 2010. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2010. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103754/mazur\\_rl\\_dr\\_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103754/mazur_rl_dr_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 06 ago 2018.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais Propriedades e Materiais, IBRACON 2008, 2ª Ed. IBRACON, 2008.**

MENDES, Roberta Rodrigues. **Estudo experimental de corpos de prova de concreto com fibras de aço sujeitos à tração por compressão diametral e à tração direta.** 2016. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: <[http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down\\_pdf.php?pdf=../pdf/2016\\_Roberta\\_Rodrigues\\_Mendes.pdf](http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down_pdf.php?pdf=../pdf/2016_Roberta_Rodrigues_Mendes.pdf)>. Acesso em: 01 ago 2018.

MOSCATELLI, Ivo. **Fibras de aço em concreto de cimento Portland aplicados a pavimento.** 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258685/1/Moscatelli\\_Ivo\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258685/1/Moscatelli_Ivo_M.pdf)>. Acesso em: 05 jul 2018.

ONUKE, Micheke 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. TCC (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT\\_TCC\\_2013\\_1\\_03.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2073/1/CT_TCC_2013_1_03.pdf)>. Acesso em: 20 jul 2018.

PEREIRA, Marina da Mota. **Avaliação da eficiência do ensaio Barcelona Simplificado para a determinação da tenacidade do concreto reforçado com fibras.** 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19957/3/AvaliacaoEficienciaEnsaio.pdf>>. Acesso em: 13 ago 2018.

SANTOS, Régis Rivo Ferreira dos, OLIVEIRA, Dênio Ramam Carvalho de. **Fatigue lifetime of a RC bridge along the Carajás railroad.** Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo, v.5, n. 5, 2012. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1983-41952012000500004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-41952012000500004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 06 ago. 2018.

SCHNEIDER, Paulo. **Incertezas de Medição e Ajuste de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 24 p. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/medterm/areas/area-i/Incertezaedicao.pdf>>. Acesso em: 13 set 2018.

SHIMOSAKA, Tobias Jun. **Influência no teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos auto adensáveis**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2016. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2303/1/PB\\_PPGEC\\_M\\_Schimosaka,TobiasJun\\_2017.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2303/1/PB_PPGEC_M_Schimosaka,TobiasJun_2017.pdf)>. Acesso em: 28 jun 2018.

SILVA, Isabela Leão Amaral da. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2014. Disponível em: <[http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Tese-de-Doutorado\\_Isabela-Leao.pdf](http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Tese-de-Doutorado_Isabela-Leao.pdf)>. Acesso em: 13 jul 2018.

SILVA et al.. Congresso Brasileiro do Concreto, 51º., 2009, Curitiba. **Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e areia**. Florianópolis: IBRACON, 2009. 14 p. Disponível em: <[http://paginapessoal.utfpr.edu.br/ngsilva/links-2/noticias/51CBC0255\\_ibracon2009\\_ArIncorporado.pdf](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/ngsilva/links-2/noticias/51CBC0255_ibracon2009_ArIncorporado.pdf)>. Acesso em: 26 jul 2018.

SILVA et al..Congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, 21º., 2014, Cuiabá. **Resultados do ensaio de resistência à compressão em concretos**. Belo Horizonte: CBECIMAT, 2014. 8 p. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/104-037.pdf>>. Acesso em: 31 jul 2018.

SOUZA, Vicente Custódio de. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo : Pini, 1998.

VASCONCELOS, Raimundo Expedito. **Fratura do concreto reforçado com fibras de aço e de polipropileno em meios normal e agressivo**. 2012. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265241/1/Vasconcelos\\_RaimundoExpedito\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265241/1/Vasconcelos_RaimundoExpedito_D.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2018.