



**FAPAC - FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS  
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO LTDA  
ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNA DE SOUSA FRANCA**

**ANÁLISE DO PARÂMETRO DE RESISTÊNCIA RESIDUAL À TRAÇÃO NA  
FLEXÃO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)**

**PORTO NACIONAL-TO  
2019**

**BRUNA DE SOUSA FRANCA**

**ANÁLISE DO PARÂMETRO DE RESISTÊNCIA RESIDUAL À TRAÇÃO NA  
FLEXÃO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)**

Projeto de conclusão do curso de Engenharia Civil da FAPAC/ITPAC PORTO NACIONAL como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área: Estruturas e Materiais

Orientador: Douglas Freitas Augusto dos Santos.

**PORTO NACIONAL-TO  
2019**

**BRUNA DE SOUSA FRANCA**

**ANÁLISE DO PARÂMETRO DE RESISTÊNCIA RESIDUAL À TRAÇÃO NA  
FLEXÃO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)**

Projeto de pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Monografia apresentada e defendida em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ pela Banca examinadora constituída pelos professores:

---

Professor: Me. Douglas Freitas Augusto dos Santos (Orientador)

---

Professor: Me. Flávio Vieira da Silva Júnior

---

Professor: Alesi Teixeira Mendes

**PORTO NACIONAL - TO  
2019**

## RESUMO

O concreto reforçado com fibra de aço (CRFA) é um importante elemento da engenharia civil a ser estudado, apesar de o mesmo estar presente na construção civil desde a década de 1960, ainda é pouco utilizado no Brasil. Com a crescente aplicabilidade do CRFA, os códigos de projeto têm se empenhado em melhorar a caracterização dos materiais utilizados para que haja melhor confiança nos comportamentos das peças, minimizando as disparidades entre os resultados obtidos em laboratório com a realidade na obra. Este trabalho tem como objetivo explicar o desenvolvimento da caracterização do CRFA no estado endurecido, referente ao ensaio de três pontos e quatro pontos de vigas entalhadas. A partir de análises estatísticas sobre um banco de dados que reúne resultados experimentais de caracterização do comportamento pós-fissuração do CRFA, equações são estabelecidas para avaliar parâmetros da resistência residual à tração na flexão ( $f_{Ri}$ ) a partir de informações fundamentais que caracterizam a fibra de aço. O desempenho do modelo também é evidenciado comparando-se os seus resultados a outros modelos.

**Palavra-chave:** Concreto Armado; Flexão; Concreto Reforçado com Fibra de Aço.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF EVALUATING THE RESIDUAL FLEXURAL TENSILE STRENGTH PARAMETERS OF STEEL FIBRE REINFORCED CONCRETE (SFRC)

The steel fibre reinforced concrete (SFRC) is an important element of civil engineering to be studied, although it has been present in civil construction since the 1960s, it is still little used in Brazil. With the increasing applicability of the SFRC, the project codes have been focused on improving the characterization of the materials used so that there is better confidence in the behavior of the parts, minimizing the disparities between the results obtained in the laboratory and the reality in the work. This article aims to explain the development of the characterization of SFRC in the hardened state, referring to the test of three points and four points of notched beams. By performing statistical analysis with a database that collects experimental results on the characterization of the post-cracking behavior of SFRC, equations are determined for evaluating the residual flexural tensile strength parameters ( $f_{Ri}$ ) from fundamental data that characterize steel fibers. The performance of this model is also evidenced by comparing its predictions to those from other models.

**Keyword:** Reinforced Concrete; Flexural; Steel fibre reinforced concrete.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – CN Tower -Toronto-Canada (553.33 metros de altura). .....	10
Figura 2 – Formação de ouriço no CRFA.....	12
Figura 3 – Fibra de aço em pente.....	13
Figura 4 – Classificação das fibras de aço.....	14
Figura 5 – Distribuição das tensões (linhas vermelhas) no concreto simples .....	16
Figura 6 – Distribuição das tensões (linhas vermelhas) no CRFA.....	16
Figura 7 – Testes para medir a trabalhabilidade do CRFA – Recomendação do ACI 544.1R-96 .....	18
Figura 8 – Ensaio de resistência tração na flexão em 4 pontos .....	19
Figura 9 – Relação tensão-deformação.....	20
Figura 10 – Método preenchimento de forma.....	21
Figura 11 – Detalhamento do entalhe .....	21
Figura 12 – Ensaio Tração na Flexão em 4 pontos .....	22
Figura 13 – Especificações de equipamento .....	23
Figura 14 – Clipe gauge .....	23
Figura 15 – Exemplo de curva carga-CTOD.....	26
Figura 16 – Método de produção para fundição da amostra.....	26
Figura 17 – Ensaio de flexão em três pontos em viga entalhada (dimensões em mm) .....	28
Figura 18 – Teste de flexão sugerido pelo <i>RILEM</i> TC 162-TDF (2002).....	30

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Resumo do BD para a análise de $f_{Ri}$ , para ensaio de 3 pontos.....	31
Tabela 2 – Resumo do BD para a análise de $f_{Ri}$ , para ensaio em 4 pontos .....	32
Tabela 3 – Metodologia de cálculo da resistência residual, ensaio a tração na flexão em 3 pontos.....	32
Tabela 4 – Metodologia de cálculo da resistência residual, ensaio a tração na flexão em 4 pontos.....	33
Tabela 5 – Escala de Demérito, segundo Collins (2001) .....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	12
3.2 FIBRA DE AÇO .....	13
3.3 INTERAÇÃO FIBRA-MATRIZ .....	15
3.4 TEOR DE FIBRAS .....	16
3.5 PREPARO DO CONCRETO .....	17
3.6 PROPRIEDADES DO CRFA FRESCO .....	18
3.7 ENSAIO À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	19
<b>3.7.1 Ensaios de tração na flexão 4 pontos</b> .....	<b>20</b>
3.7.1.1 Corpo de prova e concretagem .....	20
3.7.1.2 Entalhe do Corpo de Prova .....	21
3.7.1.3 Equipamentos .....	21
3.7.1.4 Procedimentos de ensaio .....	24
3.7.1.5 Cálculos.....	24
<b>3.7.2 Ensaios de tração na flexão 3 pontos</b> .....	<b>26</b>
3.7.2.1 Ensaio da Amostra .....	26
3.7.2.2 Equipamentos .....	27
3.7.2.3 Procedimentos de ensaio .....	28
3.7.2.4 Cálculos.....	28
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
4.1 BANCO DE DADOS .....	31
4.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO .....	32
4.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	33
4.4 METODOLOGIA PROPOSTA POR COLLINS (2001) .....	34
<b>5 RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>36</b>
<b>CRONOGRAMA</b> .....	<b>40</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos elementos da construção civil mais utilizados na atualidade, composto por cimento, agregados e água ele também pode conter aditivos ou não. Existem várias vantagens pelo qual o concreto é tão popular, uma delas é a capacidade que o construtor tem de executar diversos formatos e ter uma liberdade de trabalho maior. Porém apesar de ter uma boa resistência a compressão, sua resistência a tração é limitada.

Por isso foram inventados os concretos especiais, como Concreto Reforçado com Fibra de Aço (CRFA), visando melhorar as características do concreto convencional, além de atender particularidades de cada obra.

A ideia de utilizar material fibroso para fornecer resistência a tração vem dos primórdios, no antigo Egito era comum, as pessoas adicionarem a palha (fibra natural) às argilas, afim de fornecer maior resistência a flexão, proporcionando melhores propriedades de manipulação após os tijolos terem sido secos ao sol (MCCAFERRI, 2019).

Com o passar dos anos a construção civil foi se modernizando e hoje é possível ter acesso a diversos tipos de fibras, sendo elas de origem natural, de aço ou poliméricas.

As fibras têm características a fim de melhorar a resistência a fadiga e ao impacto, aumentando a resistência a flexão e servir como uma espécie de contenção a fissuras que surgem de forma inevitável no concreto, causado principalmente pela retração ocorrida na matriz (FIGUEIREDO, 2011).

Quanto à aplicação do concreto reforçado com fibras de aço, Barros (1995) e Rodrigues Júnior (2009) exemplificam a utilização destes concretos nos pisos industriais, nos pavimentos de estradas e aeroportos, nos revestimento de túneis, nos blocos de ancoragem de cabos de protensão ou em outras regiões com concentração de tensões, nos tubos de águas pluviais e esgotos, nas cascas, nos elementos de contenção, nos elementos sujeitos à sismos e/ou à impactos, nos dormentes, nos pré-fabricados em geral, nos reforços de elementos estruturais, etc.

De acordo com Santos (2009), em 1970 foi construído o primeiro prédio com concreto reforçado com fibras de aço, o CN Tower em Toronto-Canada (Figura 1).

Figura 1 – CN Tower -Toronto-Canada (553.33 metros de altura).



Fonte: Cambridge Suites Toronto (2019)

A eficiência das fibras em melhorar as propriedades mecânicas da matriz de concreto pode ser atribuída principalmente aos mecanismos responsáveis pela transferência de tensões entre a fibra e o concreto e pelo ao efeito de “costura” das fissuras pelas fibras. Os aspectos mencionados anteriormente (a transferência de tensões e o efeito de “costura”), assim como outras propriedades do concreto com fibras serão discutidos nas seções seguintes.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo explicar a análise do parâmetro de tração na flexão do Concreto Reforçado com Fibras de Aço no estado endurecido, referente ao ensaio de três pontos e quatro pontos de vigas entalhadas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os diversos parâmetros que influenciam na resistência à tração do concreto reforçado com fibras de aço;
- Verificar a influência do fator de forma na resistência à tração;
- Analisar as normas internacionais com relação as tensões residuais do banco de dados;
- Realizar análise estatística de um banco de dados composto por ensaio de tração na flexão, com vigas entalhadas de 3 e 4 pontos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo Júnior (2009), o concreto com fibras é composto por cimento hidráulico, água, agregados miúdos, agregados graúdos e fibra discretas descontínuas, podendo também ter aditivos químicos e adições minerais para potencializar a resistência e/ou aperfeiçoar a trabalhabilidade. Nele deve haver uma distribuição correta dos materiais e uma relação de tamanho agregado para que o mesmo não interfira de forma negativa no concreto. Para isso o agregado não deve possuir dimensão maior que 20mm e de preferência menores que 10 mm, para que a distribuição das fibras seja uniforme e facilite o trabalho do operador (Oliveira, 2005).

O CRFA requer uma atenção especial ao seu preparo para que seja evitada a aglomeração das fibras (formação de ouriços, como é apresentado na Figura 2 b e c). Vários fatores podem contribuir para que ocorra esse tipo de problema, como: teor de fibras (item 3.4), fator de forma, tamanho dos agregados, a composição granulométrica da mistura, a relação água/cimento e ao método de preparo da mistura. O fator de forma, ou esbelteza, da fibra representa a razão entre o comprimento e o diâmetro da mesma,  $l_f/d_f$ . (FIGUEIREDO, 2000).

Figura 2 – Formação de ouriço no CRFA



Fonte: Mendonça Filho e Silva Júnior (2011)

Para aumentar a porcentagem de fibras é preciso atentar-se ao fato de que ele conseqüentemente comprometerá sua trabalhabilidade, para contornar esse problema, é necessário que algumas medidas sejam tomadas, como o uso de uma

granulometria de agregados menor e a adição de aditivos plastificantes redutores de água, que permitem utilizar uma menor porcentagem de água, fazendo com que assim não perca a capacidade de trabalhabilidade do concreto e aumente sua resistência (BARROS, 1995)

Segundo Figueiredo (2000), outra alternativa para melhorar o impacto da trabalhabilidade no concreto, é a utilização de fibras coladas em pentes, quando em contato com o concreto sua cola é dissolvida, resultando assim uma maior organização, conseqüentemente melhor homogeneização, como exposto na Figura 3.

Figura 3 – Fibra de aço em pente










Fonte: ArcelorMittal (2019)

### 3.2 FIBRA DE AÇO

Nos dias atuais, é possível encontrar diversas variedades de fibras de aço para utilização como reforço em concretos. As mesmas possuem diferentes geometrias, podendo ser lisas ou ainda corrugadas, possuindo ou não ancoragem. Essas características diferentes, podem influenciar na aderência ocorrida entre a fibra e o concreto, podendo assim resultar em diferentes propriedades mecânicas. Os diâmetros podem estar na faixa entre 0,10 mm e 1,00 mm, o comprimento variando de 5 mm a 65 mm, com módulo de elasticidade de 200 GPa a 210 GPa e as tensões de ruptura podendo chegar em 2100 MPa (VELASCO, 2008).

De acordo com a NBR 15530 (2007), classifica-se as fibras de aço quanto a geometria em (Tipo A, C e R) sendo A - fibra de aço com ancoragem nas extremidades; C - fibra de aço corrugada e R - fibra de aço reta. E quanto ao aço de origem (Classe I, II e III), sendo: I - fibra oriunda de arame trefilado a frio; II: fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio e III - fibra oriunda de arame trefilado e escarificado, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Classificação das fibras de aço

Tipo	Classe	Geometria	Fator de forma mínimo	Limite de resistência à tração (MPa)
A	I		40	1000
	II		30	500
C	I		40	800
	II		30	500
	III		30	800
R	I		40	1000
	II		30	500

Fonte: Adaptada da NBR 15530 (2007)

Outro fator relevante para o desempenho da fibra, é a resistência do aço utilizado, que é particularmente mais significativa para concretos de maior resistência mecânica. A norma exige diferentes níveis de resistência de acordo com o tipo de fibra utilizado, sendo a menor resistência exigida de 500 MPa, ou seja, maior que a exigência nos Estados Unidos, regulamentado pela *ASMT A820* em que o valor mínimo é de 345 MPa (FIGUEIREDO, 2011).

### 3.3 INTERAÇÃO FIBRA-MATRIZ

Segundo Figueiredo (2000), quando se adiciona fibras com um módulo de elasticidade e num teor adequado, o concreto começa a ter um comportamento mais resistente. Porém, para que haja uma boa interação fibra-matriz é necessário que alguns fatores sejam analisados, como: atrito fibra-matriz, ancoragem mecânica da fibra na matriz e adesão físico-química entre os materiais. As fibras interferem diretamente e suas características (volume; módulo de elasticidade; resistência; geometria e orientação), alteram o CRFA, assim como as características da matriz (composição, condição de fissuração e propriedades físicas e mecânicas) (JÚNIOR, 2009).

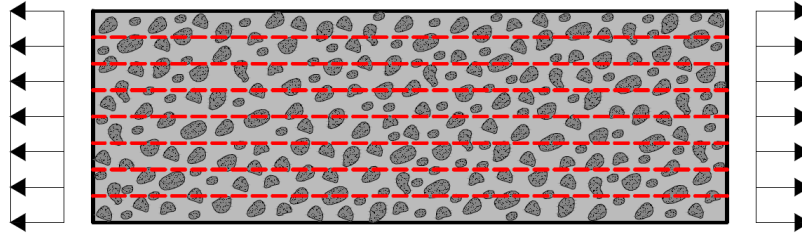
Segundo Figueiredo (2011), o concreto convencional, uma fissura irá proporcionar uma barreira a propagação de tensões de tração, representadas pelas linhas de tensões na Figura 5a. Quando ocorre uma fissura essa tensão tende a se acumular nas extremidades da fissura, como é apresentado na Figura 5b. E se as tensões expostas superarem a tensão crítica, ocorrerá uma ruptura abrupta do material, no caso que esse concreto esteja exposto a tensões cíclicas, pode interpretar da mesma maneira. Assim, como em cada ciclo há uma propagação de microfissuras, acontece a propagação e a ruptura do material por fadiga, quando o concreto convencional é rompido ele perde sua capacidade resistente tração, tendo um comportamento tipicamente frágil.

Quando as fibras de aço são inseridas no concreto, elas atuam como ponte de transmissão das tensões, interceptando as fissuras e atuando como obstáculo de propagação as microfissuras (Figura 5b), o concreto conseqüentemente passa a ter um comportamento pseudo-ductil ou não frágil, possuindo capacidade de resistência pós-fissuração (VELASCO, 2009).

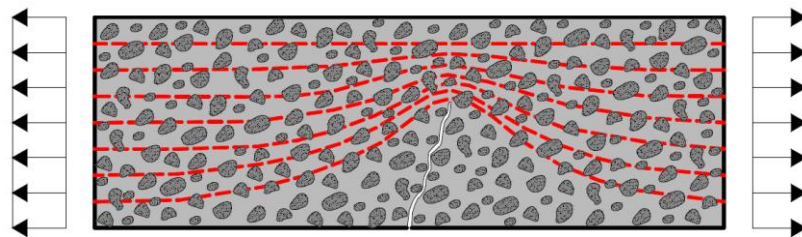
Segundo Figueiredo (2011), uma característica interessante do CRFA é que diferente de um concreto armado convencional, o aço fica distribuído aleatoriamente atuado como reforço em diversas direções, não somente em uma determinada posição. E isso pode ser vantajoso em caso de estruturas contínuas como pavimentos, onde as tensões de tração variam de posição na peça ao longo do dia, como a variação de temperatura, por exemplo.

Figura 5 – Distribuição das tensões (linhas vermelhas) no concreto simples

a) Distribuição das tensões no concreto simples antes da fissuração



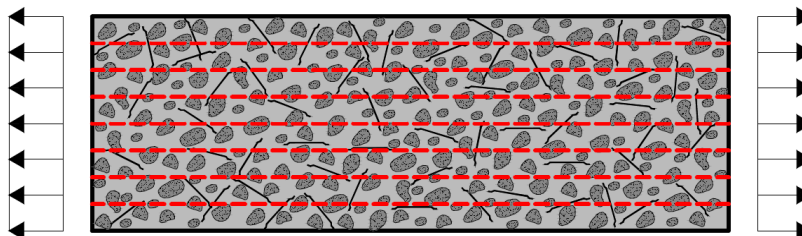
b) Distribuição das tensões no concreto simples fissurado



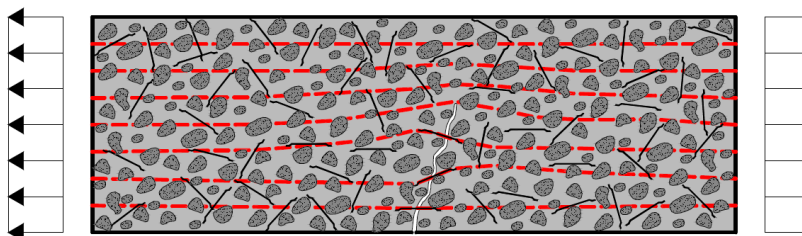
Fonte: Figueiredo (2000)

Figura 6 – Distribuição das tensões (linhas vermelhas) no CRFA

a) Distribuição das tensões no CRFA antes da fissuração



b) Distribuição das tensões no CRFA fissurado



Fonte: Figueiredo (2000)

### 3.4 TEOR DE FIBRAS

Segundo Metha e Monteiro (2008), o teor de fibras utilizados vai de acordo com a função que ele será usado, sendo o concreto de baixa fração volumétrica



(menor que 1%) usado para a redução de fissuras, não mudando significativamente outros aspectos e é utilizado em lajes e pavimentos, com superfícies grandes e expostas. O de fração volumétrica moderada (entre 1% e 2%) tem a finalidade de aumento do módulo de ruptura, tenacidade à fratura e resistência ao impacto, sendo indicado ao uso em concretos projetados, e em estruturas que exigem capacidade de absorção de energia e fadiga e ainda em alta fração volumétrica (maior que 2%), para compósitos de alto desempenho.

O teor de fibras utilizada é de extrema importância, pois ele influencia diretamente não somente nos benefícios citados anteriormente, mas também em uma perda da trabalhabilidade do concreto, porém a esbeltez das fibras, o tipo de misturador usado na fabricação da mistura, o tipo e a quantidade de superplastificante, também influenciam na trabalhabilidade (JÚNIOR, 2009).

### 3.5 PREPARO DO CONCRETO

Segundo ACI 544.4R-88 (1999) o preparo do CRFA pode ser realizado sem o uso de equipamentos específicos, desde que o teor de fibras esteja entre 0.5 a 1.5% do volume de concreto. Para quantidades maiores sugere que o método de adicionar fibras a matriz do concreto, sejam aprimorados, assim como o preparo do mesmo.

O ACI 544.4R-88 (1999) adverte que as fibras devem ser adicionadas a mistura fluida, proporcionando assim uma melhor dispersão das fibras, evitando conseqüentemente a formação de ouriços. A norma ainda recomenda procedimentos para utilizar as fibras (não coladas em pentes) em betoneira e em centrais de concreto.

O preparo do CRFA em betoneira ou caminhão betoneira, pode ser feito da seguinte forma: (1) o concreto é preparado primeiramente sem fibras; (2) o *slump* do concreto antes da adição das fibras deve ser de 51 a 76 mm maior que o *slump* desejado; (3) o uso de aditivos redutores de água pode ser vantajoso, mas não é essencial; (4) a adição das fibras ao concreto deve ser realizada evitando-se a aglomeração de fibras, caso contrário, as mesmas permaneceram aglomeradas durante a mistura. A aglomeração pode ser minimizada utilizando-se uma peneira de 100 mm na *boca* do misturador. Nas centrais o processo é mais simples, pois as fibras podem ser consideradas um agregado. Nestas condições, as fibras são lançadas e misturadas com os agregados e não separadamente. Semelhantemente ao processo anterior, também se recomenda atenção quanto à aglomeração das fibras e aos fatores que promovem a formação dos ouriços. (SANTOS, 2014)

### 3.6 PROPRIEDADES DO CRFA FRESCO

Segundo o *ACI 544.4R-88* (1999) o CRFA possui forma de trabalhar diferente do convencional. Para volumes de fibras de 0.25% e 1.5%, a medida do *slump test* pode ser reduzida de 25 a 102 mm, em comparação com o concreto convencional.

A mesma norma ainda comenta que o *slump test*, não é apropriado para avaliar a trabalhabilidade do CRFA e recomenda o *Vebe consistometer* (recomendação da *BS 1881:Part 104,1983*), apresentado na Figura 7a, e o *inverted slump-cone time* (recomendação do *ASTM C995, 2008*), apresentado na Figura 7b. Salienta que as, propriedades das fibras, assim como a quantidade de cimento, areia e agregado podem interferir nos resultados dos testes de trabalhabilidade e que estes testes não são apropriados aos concretos que fluem livremente através do cone (concreto auto adensável).

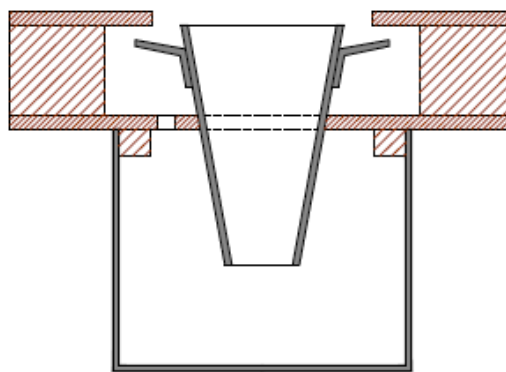
Figura 7 – Testes para medir a trabalhabilidade do CRFA – Recomendação do *ACI 544.1R-96*

a) *Vebe consistometer*



Fonte: a) Jet Materials (2019)

b) *inverted slump-cone time*



b) Santos (2014)

### 3.7 ENSAIO À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Segundo Velasco (2009), o comportamento do CRFA de tração na flexão é o mais importante do estudo, a aplicação real do concreto, levando em conta que, na maioria das aplicações a fibra está sujeita a esse esforço. Além disso, esse é o aspecto do qual a fibra apresenta maiores ganhos em relação a outros tipos de concreto. Após o surgimento da primeira fissura, a carga de pico pode ser equivalente ao dobro ou triplo da carga de primeira fissura. Esse comportamento depende do volume de fibra e do tipo utilizado.

O ensaio de tração na flexão irá seguir uma determinada norma de acordo com a escolha do autor, nesse caso foram usadas as normas *RILEM* TC 162-TDF (2002) e *UNI* 11039 (2003). Nas seguintes normas foram usados vigas entalhadas prismáticas. E submetidas a um carregamento simétrico de um e dois pontos respectivamente até a sua ruptura (ver Figura 8).

Figura 8 – Ensaio de resistência tração na flexão em 4 pontos

a) Realizando o ensaio

b) Corpo de prova já ensaiados

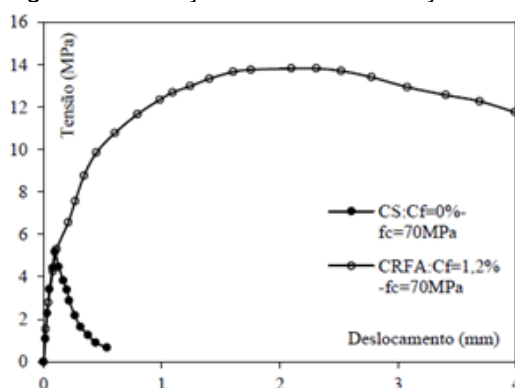


Fonte: Júnior (2009)

O que acontece de forma geral é que as fibras, quando dosadas apropriadamente, garantem ao concreto maior ductilidade e tenacidade, a qual é consequência da capacidade de absorção de energia gerada pela transferência de tensões entre o concreto e as fibras durante o início e a estabilização do processo de fissuração (MOUSSA, 2010).

Para exemplificar essa discussão, apresenta-se a Figura 9, a qual exibe o registro da relação tensão-deslocamento a partir do ensaio de flexão em três pontos em prismas entalhados, e revela, de forma incontestável, a maior ductilidade e tenacidade do CRFA, comparativamente ao concreto simples (CS) (MOUSSA, 2010).

Figura 9 – Relação tensão-deformação



Fonte: Moussa (2010), adaptado de Barros et al. (2015)

### 3.7.1 Ensaios de tração na flexão 4 pontos

Neste item será apresentado a metodologia de um ensaio de tração na flexão seguindo a norma *UNI 11039-2* (2003). Que descreve um método de ensaio que visa determinar a resistência da primeira fissura,  $f_{1f}$  e do índice de ductilidade,  $D_0$  e  $D_1$  provindos do concreto reforçado com fibras de aço.

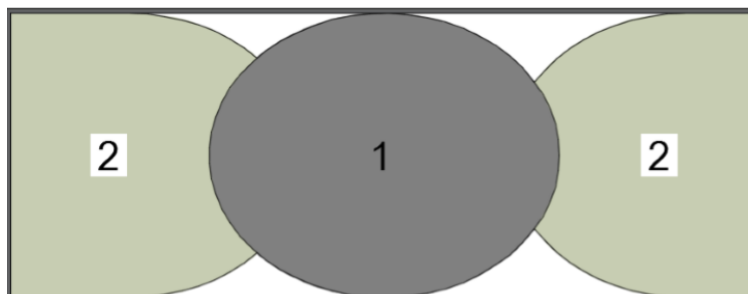
#### 3.7.1.1 Corpo de prova e concretagem

Trata-se de um modelo prismático com dimensões (150 x 150 x 600)mm para a largura, altura e comprimento, respectivamente. Segundo a norma, estas dimensões podem ser alteradas, desde que sejam obedecidas as seguintes condições: O comprimento deve ser, no mínimo,  $L \geq 3,5 h$  e não inferior a 350 mm; A dimensão do lado menor da seção transversal deve ser pelo menos 3,5 vezes a dimensão do agregado.

Inicialmente deve ser preenchida a região 1 e em seguida as regiões 2, de forma a garantir que o volume da porção 1 fique duas vezes o volume da porção 2, ou seja,  $V_1 = 2V_2$  (Figura 10). Já a compactação deverá ser executada em uma mesa

vibratória, ficando vedado o uso vibrador de imersão. Em relação ao tempo de vibração da mesa, o mesmo deverá ficar entre 15 e 60 segundos.

Figura 10 – Método preenchimento de forma

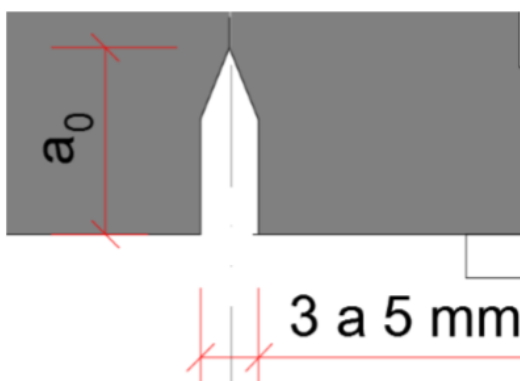


Fonte: UNI 11039-2 (2003)

### 3.7.1.2 Entalhe do Corpo de Prova

A viga deve ser entalhada no meio do vão, utilizando uma serra diamantada e úmida. O entalhe deve ter uma profundidade  $a_0$ , tal que  $\frac{a_0}{h} = (0,3 \pm 0,01)$ , e a largura deve ficar entre 3 mm e 5 mm com o formato de “V”, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Detalhamento do entalhe



Fonte: UNI 11039-2 (2003)

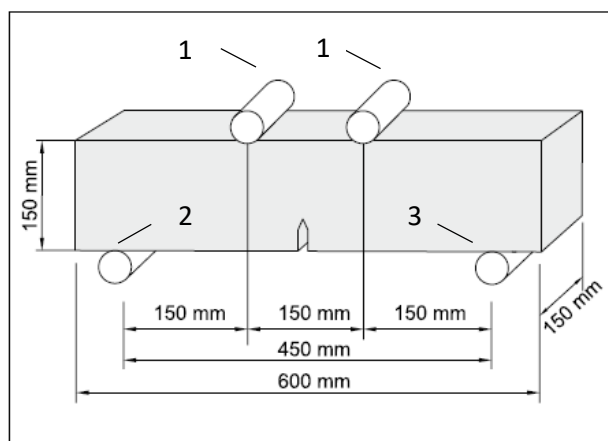
### 3.7.1.3 Equipamentos

A máquina de ensaio deve estar em conformidade com UNI EN 12390-4, que por sua vez deve apresentar o incremento de carga constante com o indicador calibrado de forma que a mesma seja capaz de controlar o deslocamento. O dispositivo de aplicação de carga é composto de dois cilindros de aço com seção

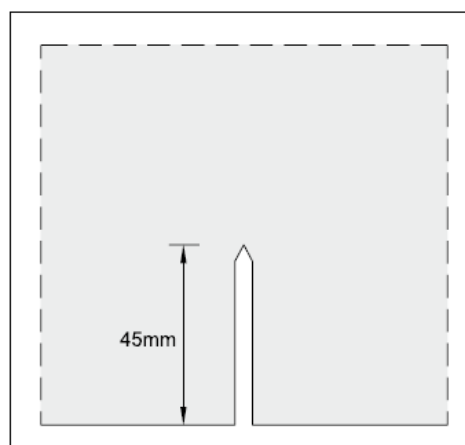
circular entre 20 e 40 mm e devem possuir um comprimento pelo menos 10 mm maior que a largura do corpo de prova. Estes são posicionados na face superior do corpo de prova onde fará a transferência do carregamento. Cada cilindro deve ficar livre para girar  $\pm 3^\circ$  no plano normal ao eixo longitudinal do corpo de prova. A distância entre os cilindros inferiores (I) deve ser igual a  $3h$  e, em qualquer caso, não poderá ser inferior a 300 mm, já a distância entre os dois cilindros superiores deve ser igual a  $h$ , sendo espaçados igualmente aos cilindros inferiores. O posicionamento de cada um dos cilindros pode variar de  $\pm 1$  mm em relação ao nominal. A Figura 12 mostra modelo de aplicação de carga aplicação de carga.

Figura 12 – Ensaio Tração na Flexão em 4 pontos

a) Perfil Longitudinal



b) Detalhamento do entalhamento



Fonte: *Fibers Technical Manual* (2000)

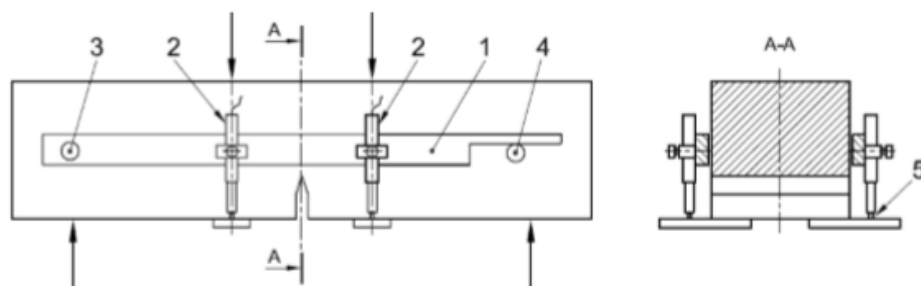
Onde,

1 – Cilindro de carga (livre para rotacionar  $\pm 3^\circ$ );

2 e 3 – Suporte cilíndrico

Para se observar os deslocamentos dos pontos de aplicação de carga, é necessária a utilização do dispositivo YOKE, que deve ser instalado de forma que minimize o efeito das rotações do corpo de prova onde os dispositivos para medir os deslocamentos devem ser de precisão. A Figura 13 apresenta o esquema de medição dos deslocamentos verticais.

Figura 13 – Especificações de equipamento



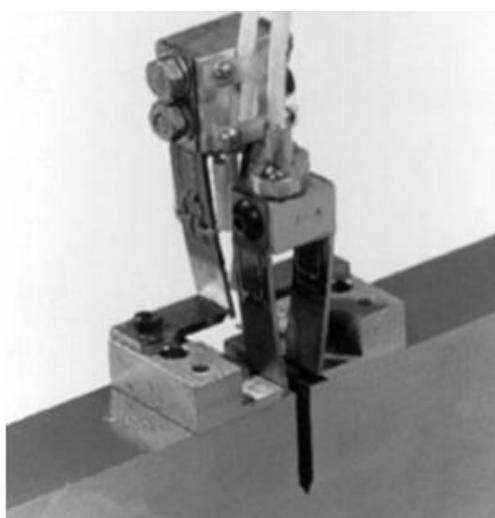
Fonte: UNI 11039-2 (2003)

Onde,

- 1 – Yoke;
- 2 – Dispositivo para medir os deslocamentos;
- 3 – Apoio de 2ª ordem (Yoke);
- 4 – Apoio 1ª ordem (Yoke);
- 5 – Chapa de referência para o deslocamento.

A medição da abertura do entalhe (*CMOD* ou *CTOD*) deve ser feita por um dispositivo (Figura 14 - clipegauge) com abertura  $\leq 5\text{mm}$  e precisão de no mínimo  $2,74\text{ mV/mm}$ , sendo que a medição do *CMOD* é feita na abertura (inferior) e o *CTOD* é feita no vértice do entalhe (superior).

Figura 14 – Clipe gauge



Fonte: TWI (2019)

### 3.7.1.4 Procedimentos de ensaio

O ensaio de flexão de quatro pontos deve ser efetuado com o controle de *CMOD*. O processo de carregamento deve ser executado com cautela para evitar choques, que por ventura venham a inutilizar o ensaio. O *CMOD* deve ser aumentado a uma velocidade constante de  $(0,05 \pm 0,01)$  mm / min. Para valores de *CMOD* maior do que 0,65 milímetros a velocidade de movimento pode ser progressivamente aumentada de  $(0,5 \pm 0,02)$  mm / min com uma aceleração não superiores a 1 mm / min<sup>2</sup>. A carga e os dois valores de *CTOD* devem ser registrados continuamente em mídia magnética. Quando um dos clipe gauge cai fora da zona de V-notch, deve-se relatar o fato no relatório de ensaio ao qual está ligado diagrama *CTODm-CMOD*. Após o ensaio, a profundidade do arredondado inferior a 0,5 mm deve ser detectada como um valor mínimo de três medições efetuadas no centro e nos dois extremos da secção transversal.

### 3.7.1.5 Cálculos

A resistência de primeira fissura é determinada de acordo com a Equação

1:

$$f_{IF} = \frac{P_{IF} \cdot l}{b \cdot (h - a_0)^2} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

l: é a distância entre suportes inferiores (450 mm)

b: é a largura da viga (150 mm)

h: é a altura do feixe (150 mm)

a<sub>0</sub>: é a profundidade do entalhe (45 mm)

A determinação do índice de ductilidade D<sub>0</sub> (Equação 2) e D<sub>1</sub> (Equação

3):

$$D_0 = \frac{f_{eq(0-0.6)}}{f_{if}} \quad \text{Equação 2}$$



$$D_0 = \frac{f_{eq(0.6-3)}}{f_{eq(0-0.6)}} \quad \text{Equação 3}$$

A norma prevê duas forças pós-fissuração:

$f_{eq(0-0.6)}$  – é a resistência equivalente (MPa) no centro do entalhe, entre 0 e 0,6 mm (Equação 4);

$f_{eq(0.6-3)}$  – é a resistência equivalente (MPa) no centro do entalhe, entre 0,6 e 3 mm (Equação 5);

$$f_{eq(0-0.6)} = \frac{lb}{(h-a_0)^2} \cdot \frac{U_1}{0,6} \quad \text{Equação 4}$$

$$f_{eq(0.6-3)} = \frac{l}{b(h-a_0)^2} \cdot \frac{U_2}{2,4} \quad \text{Equação 5}$$

$U_1$  (Equação 6),  $U_2$  (Equação 7) – são as áreas [ $10^{-3}$  joule] às curvas carga- $CTOD_m$ , nos intervalos  $CTOD_{net}$  respectivamente para (0-0,6) mm e de (0,6-3) mm. Os valores  $U_1$  e  $U_2$  seguem:

$$U_1 = \int_0^{0.6} P(CTOD) d(CTOD) \quad \text{Equação 6}$$

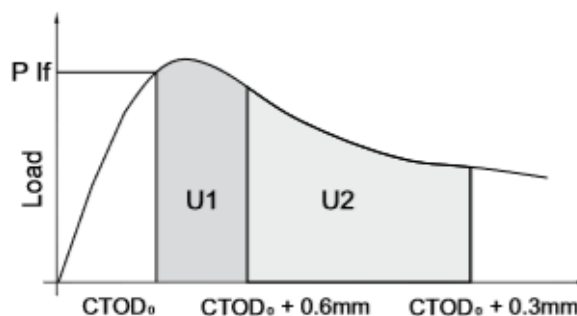
$$U_2 = \int_{0.6}^3 P(CTOD) d(CTOD) \quad \text{Equação 7}$$

$CTOD_{net}$  compreendida entre 0 e 3 mm é dada pela Equação 8:

$$f_{eq(0-3)} = 0,2 \cdot f_{eq(0-0,6)} + 0,8 \cdot f_{eq(0,6-3)} \quad \text{Equação 8}$$

A partir dos dados coletados e analisados os resultados são dispostos no gráfico seguindo o modelo a seguir. Especificado por norma, (ver Figura 15).

Figura 15 – Exemplo de curva carga-CTOD



Fonte: Mccafferri (2019)

### 3.7.2 Ensaios de tração na flexão 3 pontos

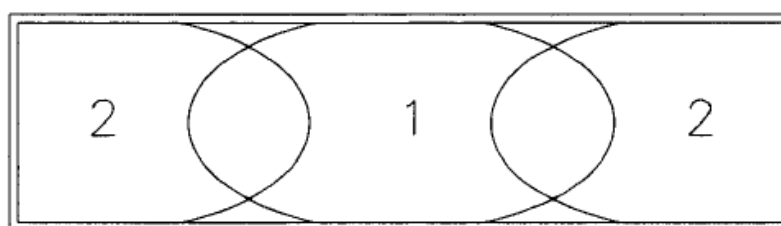
Neste item serão explicitadas as recomendações da norma *Rilem TC 162-TDF* (2002), para o ensaio de tração na flexão em 3 pontos. Este método de teste, avalia o comportamento de tração concreto reforçado com fibra de aço, seja em termos de áreas sob a curva carga x deslocamento ou pela curva carga x *Crack Mouth Opening Displacement (CMOD)*.

#### 3.7.2.1 Ensaio da Amostra

As amostras tratam-se de vigas de CRFA com dimensões de 150x150mm de secção transversal um comprimento mínimo de 550mm é usado como teste padrão das amostras.

As amostras para teste padrão não são destinados a concretos com fibras de aço maiores que 60 mm e agregado maior que 32mm. O procedimento para o preenchimento da amostra é exemplificado na Figura 16.

Figura 16 – Método de produção para fundição da amostra



Fonte: *Rilem TC 162-TDF* (2002)

É necessário que a porção 1 seja o dobro da porção 2. O molde deve ser preenchido em uma camada até aproximadamente 90% da altura do corpo de prova e deve ser reabastecido e nivelado ao ser compactado. A compactação deve ser realizada por vibração externa.

Os testes devem normalmente ser realizados aos 28 dias. A largura do entalhe não deve ser maior de 5mm e o feixe tem uma profundidade não marcada  $h_{sp}$  de  $125\text{mm} \pm 1\text{mm}$ . O dispositivo para medir as dimensões das amostras tem uma precisão de 0,1mm. As dimensões da amostra não devem variar em mais de 2mm em todos os lados. Além disso, a diferença nas dimensões gerais em lados opostos da amostra não deve ser maior que 3mm.

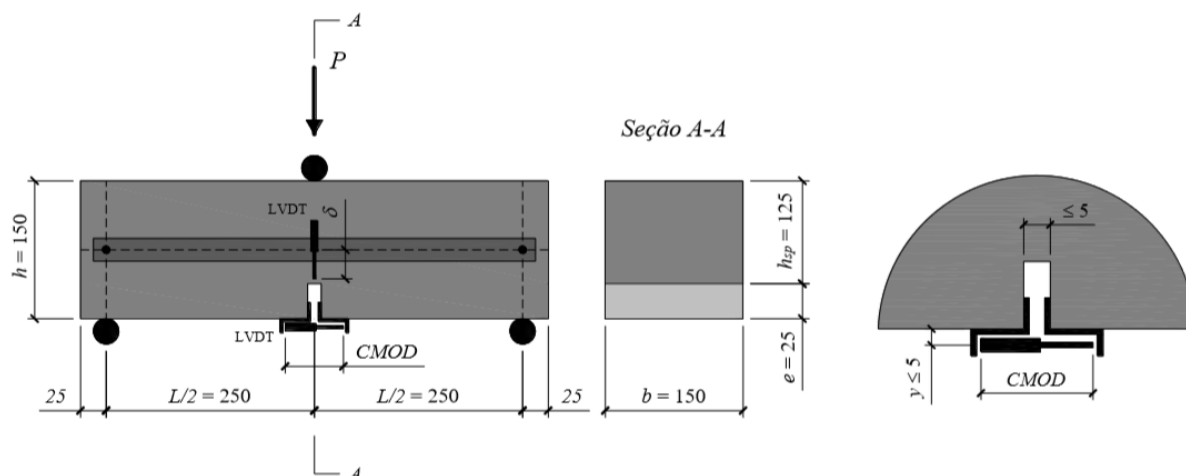
### 3.7.2.2 Equipamentos

Deve ser utilizada uma máquina de ensaio que seja capaz de produzir uma taxa constante de aumento de deformação ( $\delta$ ) ou CMOD do corpo de prova, preferencialmente uma máquina de circuito fechado.

A rigidez do equipamento de teste deve ser grande o suficiente para evitar zonas instáveis na curva  $F-\delta$  ( $F-CMOD$ ). Testes durante os quais instabilidades ocorrem devem ser rejeitados. Os dois suportes e o dispositivo para gerar o deslocamento são rolos com um diâmetro de  $30\text{mm} \pm 1\text{mm}$ . Todos os rolos devem ser fabricados em aço. Dois rolos, incluindo o superior, devem poder rodar livremente em torno do seu eixo e estar inclinados num plano perpendicular ao eixo longitudinal do corpo de prova.

Recomenda-se que o sistema de medição do deslocamento da abertura da boca do entalhe seja instalado ao longo do eixo longitudinal na largura média do corpo de prova, de modo que a distância  $y$  entre a parte inferior da amostra e o eixo do sistema de medição seja de 5mm ou menos. A precisão do dispositivo de medição de carga é necessária para ser igual a 0,1kN. A precisão da deformação e do sistema de medição do deslocamento da abertura da boca do entalhe requer 0,01mm. Como é apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Ensaio de flexão em três pontos em viga entalhada (dimensões em mm)



Fonte: Moussa (2010)

### 3.7.2.3 Procedimentos de ensaio

O comprimento do corpo de prova deve ser de 500mm. A máquina de teste deve ser operada de modo que a deformação medida da amostra na metade do caminho aumente a uma taxa constante de 0,2mm/min até que a deflexão final especificada seja atingida. Durante o teste, o valor da carga e deflexão no ponto médio ( $\delta$ ) são registrados continuamente.

Quando o ensaio é executado por meio do *CMODcontrol*, a máquina deve ser operada de tal forma que o *CMOD* aumente a uma taxa constante de 50 $\mu$ m/min para *CMOD* de 0 a 0,1 mm, até o final do ensaio, a uma constante taxa de 0,2mm/min.

Durante os primeiros dois minutos do teste, os dados devem ser registrados com uma frequência não inferior a 5Hz; depois disso, até o final do teste, a frequência não deve ser menor que 1Hz. Pelo menos 6 amostras devem ser testadas no mesmo condições.

### 3.7.2.4 Cálculos

O *RILEM TC 162-TDF* (2002) estabelece que o comportamento do CRFA à tração seja avaliado em função das áreas sob a curva carga x deslocamento (Figura 18a), ou em função da curva carga x *CMOD* (*Crack Mouth Opening Displacement*), *CMOD* (Figura 18b), as quais são obtidas do teste de flexão em três pontos em vigas entalhadas (Figura 17a). O procedimento do *RILEM* estabelece o limite de

proporcionalidade do material,  $f_{ct,L}$ , ver a equação Equação 9, as resistências equivalentes à tração na flexão,  $f_{eq,j}$  ( $j=2$  e  $3$ ), ver a equação Equação 10, e as resistências residuais à tração na flexão,  $f_{R,i}$  ( $i=1, 2, 3$  e  $4$ ), ver a equação Equação 11. Para obter o cálculo das resistências equivalentes à tração na flexão, é necessário realizar a medida apenas do deslocamento e para determinar os valores das resistências residuais à tração na flexão, é possível optar pela medida do deslocamento ou do *CMOD*.

$$f_{fct,L} = \frac{3 \cdot F_L \cdot L}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \quad \text{Equação 9}$$

$$f_{eq,2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{D_{BZ,2}^f}{0.50} \cdot \frac{L}{b \cdot h_{sp}^2} \quad \text{Equação 10}$$

$$f_{R,i} = \frac{3 \cdot F_{R,i} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \quad \text{Equação 11}$$

$$f_{eq,3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{D_{BZ,3}^f}{2.50} \cdot \frac{L}{b \cdot h_{sp}^2} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$f_{ct,L}$ : Resistência no limite de proporcionalidade do material (MPa);

$f_{eq,j}$ : resistências equivalentes à tração na flexão (MPa);

$f_{R,i}$ : resistências residuais à tração na flexão (MPa);

$b$ : largura do corpo de prova (mm);

$h_{sp}$ : distância entre a extremidade do entalhe e o topo da seção transversal (mm);

$L$ : vão de ensaio (mm);

$F_L$ : carga no limite de proporcionalidade (KN);

$D_{BZ}$ : área de energia absorvida até deslocamento (N.mm);

$\delta$ : deformação (mm).

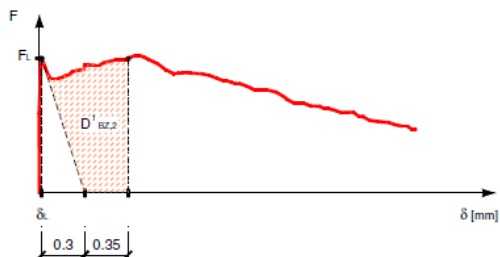
Na Equação 13,  $F_{Ri}$  diz respeito à carga registrada em  $\delta_i$  ou  $CMOD_i$ , onde  $\delta_1 = 0,46$  mm,  $\delta_2 = 1,31$  mm,  $\delta_3 = 2,15$  mm,  $\delta_4 = 3,0$  mm,  $CMOD_1 = 0,5$  mm,  $CMOD_2 = 1,5$  mm,  $CMOD_3 = 2,5$  mm e  $CMOD_4 = 3,5$ mm. A relação entre  $\delta$  e  $CMOD$ , no trecho pós-pico das relações  $F-\delta$  ou  $F-CMOD$ , é dada a partir da Figura 18.

$$CMOD = 1.18 \delta - 0.0416 \text{ mm} \quad \text{Equação 13}$$

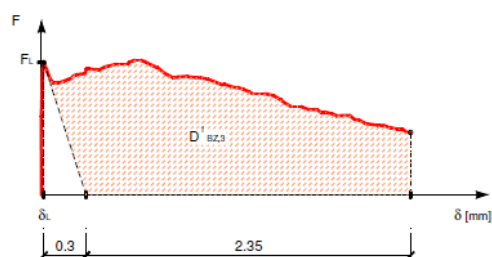
Figura 18 – Teste de flexão sugerido pelo *RILEM TC 162-TDF* (2002)

Curva carga x deslocamento típica

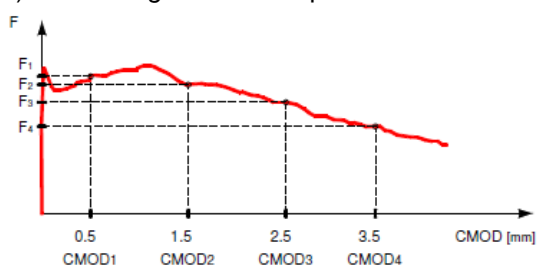
a1) Avaliação de  $f_{eq,2}$



a2) Avaliação de  $f_{eq,3}$



b) Curva carga x *CMOD* típica



Fonte: *RILEM TC 162-TDF* (2002)

No caso em que o *CMOD* é medido a uma certa distância  $y$  (ver Figura 17) abaixo do feixe, resultando em um  $CMOD_y$  de medição, a seguinte relação entre *CMOD* e  $CMOD_y$  pode ser adotada (Equação 14):

$$CMOD_y = CMOD \frac{H + y}{H} \quad \text{Equação 14}$$

$H$  = altura total do feixe

## 4 METODOLOGIA

Nessa seção será apresentado através de um banco de dados (BD), ensaios de tração na flexão em três e quatro pontos. Através do ponto de vista das normas *Rilem TC 162-DTF* (2002) e *UNI 11039* (2003).

### 4.1 BANCO DE DADOS

O BD desta análise é formado por 10 pesquisas, totalizando 92 ensaios de flexão em três pontos de prismas entalhados, como define *RILEMTC 162-DTF* (2002). E para os ensaios de flexão em 4 pontos, o BD é formado por 7 pesquisas, totalizando 75 ensaios, como define a *UNI 11039* (2003).

Os dados coletados apresentam a resistência à compressão do concreto,  $25 \text{ MPa} < f_c < 100 \text{ MPa}$ , o consumo de fibras,  $0,1 \% < C_f < 5,0 \%$  e o fator de forma das fibras,  $31,3 < l_f/d_f < 80$ . Adicionalmente, salienta-se que todos os prismas estudados são reforçados por fibras de aço do tipo *hooked-end* e *straight* e com comportamento *softening* quanto à relação carga-CMOD. O resumo do BD é apresentado na Tabela 1 para ensaio em 3 pontos, e Tabela 2 para ensaio em 4 pontos.

Tabela 1 – Resumo do BD para a análise de  $f_{Ri}$ , para ensaio de 3 pontos

Autor	Geometria	Nº de Prismas	$f_c$ (MPa)	Vf (%)	$l_f/d_f$
Lofgren et al. (2008)	<i>Hooked</i>	5,00	-	0,5-1,0	66,70
Minelli et al. (2014)	<i>Hooked</i>	8,00	32,1-33	0,64-1,0	62,50
Amin et al. (2013)	<i>Hooked/ Straight</i>	8,00	56,2-63	0,5-1,0	63,6-65
Tiberti et al. (2014)	<i>Hooked</i>	5,00	33,90	0,25	50,00
Lima (2012)	<i>Hooked</i>	6,00	62,8-63	0,25-0,6	80,00
Cunha et al. (2003)	<i>Hooked</i>	21,00	37-47,2	0,12-0,57	65,2-80
Montaignac et al. (2011)	<i>Hooked</i>	3,00	46,9-63,2	1,0-1,25	63,6-80
Pajak e Ponikiewski (2013)	<i>Hooked /Straight</i>	18,00	28,00	0,5-1,5	31,3-37,5
Meskenas, A.	<i>Straight</i>	10,00	45,00	0,5-1,0	50,00
Wafa, F. F.	<i>Hooked/ Straight</i>	8,00	40,00	0,5-2,0	74,6-75

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 2 – Resumo do BD para a análise de  $f_{R,i}$ , para ensaio em 4 pontos

Autor	Geometria	Nº de Prismas	fc (MPa)	Vf (%)	lf/df
M. Colombo et al (2009)	<i>hooked end</i>	3,00	15,00	0,38	45,00
R.S. Olivito, F.A. Zuccarello (2010)	<i>hooked end</i>	23,00	40,6-49,6	1,0-2,0	50,00
Caggiano, Antonio (2012)	<i>hooked end</i>	10,00	39,0-48,6	0,5-1,0	44-91
F. Bencardino (2013)	<i>hooked end</i>	6,00	64,6-70,3	1,0-2,0	50,00
M. Prisco e D. Dozio (2001)	<i>hooked end</i>	9,00	62,20	0,5-2,0	75,00
"M. Colombo, M. Prisco e R. Felicetti (2010)"	<i>hooked end</i>	12,00	75,00	1,0-3,0	45,00
L. Rizzuti e F. Bencardino (2014)	<i>hooked end</i>	12,00	61,7-69,6	1,0-5,0	40,00

Fonte: Elaborada pelo autor

## 4.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Os cálculos a serem desenvolvidos tem como objetivo, a determinação da resistência residual do CRFA, para que haja uma análise comparativa dos dados experimentais, coletados no BD com as suas respectivas normas, comprovando ou não a viabilidade e grau de confiabilidade das normas então analisadas.

De acordo com a *RILEM TC 162-DTF* (2002), as fórmulas utilizadas para a obtenção dos resultados das resistências residuais estão descritas na Tabela 3:

Tabela 3 – Metodologia de cálculo da resistência residual, ensaio a tração na flexão em 3 pontos

<i>RILEM TC 162-DTF</i>	
$f_{ct,L}$ : Resistência no limite de proporcionalidade do material (MPa)	$f_{fct,L} = \frac{3 \cdot F_L \cdot L}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2}$
$f_{eq,j}$ : Resistências equivalentes à tração na flexão (MPa)	$f_{eq,j} = \frac{3}{2} \cdot \frac{D_{BZ,2}^f}{0.50} \cdot \frac{L}{b \cdot h_{sp}^2}$
$f_{eq,3}$ : Resistências equivalentes à tração na flexão (MPa)	$f_{eq,3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{D_{BZ,3}^f}{2.50} \cdot \frac{L}{b \cdot h_{sp}^2}$
$f_{R,i}$ : Resistências residuais à tração na flexão (MPa)	$f_{R,i} = \frac{3 \cdot F_{R,i} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2}$

Fonte: Elaboração própria a partir da *RILEM TC 162-DTF* (2002)



Seguindo *UNI 11039* (2003), as fórmulas utilizadas para a obtenção dos resultados das resistências a primeira fissura e o índice de ductilidade estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Metodologia de cálculo da resistência residual, ensaio a tração na flexão em 4 pontos

<i>UNI 11039</i>	
$f_{IF}$ : Resistência de primeira fissura	$f_{IF} = \frac{P_{IF} \cdot l}{b \cdot (h - a_0)^2}$
U1: Área [ $10^{-3}$ joule] nos intervalos $CTOD_{net}$ para (0-0,6) mm	$U1 = \int_0^{0,6} P(CTOD) d(CTOD)$
U2: Área [ $10^{-3}$ joule] nos intervalos $CTOD_{net}$ para (0,6-3) mm	$U2 = \int_{0,6}^3 P(CTOD) d(CTOD)$
$f_{eq(0-0,6)}$ : resistência equivalente (MPa) no centro do entalhe, entre 0 e 0,6 mm	$f_{eq(0-0,6)} = \frac{l}{(h - a_0)^2} \cdot \frac{U1}{0,6}$
$f_{eq(0,6-3)}$ : resistência equivalente (MPa) no centro do entalhe, entre 0,6 e 3 mm;	$f_{eq(0,6-3)} = \frac{l}{b(h - a_0)^2} \cdot \frac{U2}{2,4}$
$D_0$ : índice de ductilidade	$D_0 = \frac{f_{eq(0-0,6)}}{f_{IF}}$
$D_1$ : índice de ductilidade	$D_1 = \frac{f_{eq(0,6-3)}}{f_{eq(0-0,6)}}$
CTODnet compreendida entre 0 e 3 mm	$f_{eq(0-3)} = 0,2 \cdot f_{eq(0-0,6)} + 0,8 \cdot f_{eq(0,6-3)}$

Fonte: Elaboração própria a partir da *UNI 11039* (2003)

#### 4.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

O método de análise de resultados tem como alvo conferir os critérios de dimensionamento exemplificado pelas normas com os resultados experimentais, medindo a confiabilidade das normas, para isso será realizado a razão entre as forças residuais experimentais (coletados no BD, Tabela 1 e Tabela 2) e teóricas (estimados pelas propostas)  $f_{Ri,exp}/f_{Ri,teo}$ , cujos valores serão apresentados nos resultados.

Para concretizar a análise comparativa das resistências residuais pelas normas: *RILEM TC 162-DTF* (2002) e *UNI 11039* (2003), serão empregados segundo indicadores estatísticos como: média (M), a mediana (Md), o desvio padrão (DP), e o coeficiente de variação (CV), e também os valores máximos e mínimos da amostra.

Dessa forma a média demonstra um viés conservativo da equação, o coeficiente de variação é utilizado como indicador de precisão dos resultados e os menores e maiores valores complementam proporcionando a amplitude.

Tendo como intuito estudar a adequação e comparação entre equações normativas de dimensionamento resistência a tração na flexão no CRFA, foi introduzido um abrangente estudo realizado por Collins (2001), pois neste é desenvolvido um procedimento que considera distintos critérios normativos de dimensionamento e os classificam, analisando a segurança, a exatidão e a economia.

Além disso, também será avaliado o impacto do índice de reforço,  $IR = V_f \cdot l_f / d_f$ , e da classe de resistência do concreto no valor de  $\lambda$  e a performance das propostas em reproduzir a relação tensão-*CMOD*, ou tensão-deslocamento do CRFA fissurado (fase pós-pico).

#### 4.4 METODOLOGIA PROPOSTA POR COLLINS (2001)

A proposta de Collins (2001), foi imposta devido a problemas enfrentados na análise de resultados, uma vez que estes, obtidos da relação  $f_{iR,exp}/f_{iR,calc}$  em cada norma gerava distribuições assimétricas, assim para solucionar estes problemas Collins propôs uma metodologia de transformação desta distribuição assimétrica em simétrica. De tal modo, é verificado o coeficiente de variação dos dados superiores e inferiores da mediana, permitindo a comparação entre os desiguais artifícios de cálculo e a classificação de cada procedimento, através de uma linha graduada de demérito. Deste modo é lícito uma comparação complementar entre os valores de extremidade reais e os considerados, abordando essas duas variáveis.

Segundo os métodos de Collins (2001) são classificados os tipos de procedimentos de dimensionamento em escala de demérito. São considerados dados sobre a segurança, precisão e economia, assim é gerado um escore cada faixa da relação  $f_{Ri,exp}/f_{Ri,calc}$ , conforme a Tabela 5.

Esse escore tem como fundamento que uma relação  $f_{Ri,exp}/f_{Ri,calc}$  com valor inferior a 0,5 é notório que a segurança é inferior a uma acima de 2,0. Entretanto, importâncias muito conservativas, por serem contrário a uma boa gestão econômica, são penalizadas com escore igual a 2,0, assim correspondendo a uma relação com a mesma classificação como de baixa segurança.

O valor adquirido pelo demérito é medido de tal modo que a soma dos produtos das percentualidades dos valores  $f_{Ri,exp}/f_{Ri,calc}$ , são impostos por intervalo, pelo seu escore adequado. Quanto mais tender a zero, melhor sua classificação no processo normativo.

Tabela 5 – Escala de Demérito, segundo Collins (2001)

$f_{Ri,exp}/f_{Ri,calc}$	Escore	Classificação
< 0,50	10	Extremamente perigosa
0,50 ----0,65	5	Perigosa
0,65 ----0,85	2	Baixa Segurança
0,85 ----1,30	0	Segurança Adequada
1,30 ----2,00	1	Conservativa
$\geq 2$	2	Extremamente conservativa

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008)

## 5 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se por meio da análise do banco de dados, que reúne resultados experimentais de caracterização do comportamento pós-fissuração do CRFA, comprovar que o concreto reforçado com fibras de aço aumenta significativamente parâmetros da resistência residual à tração na flexão ( $f_{Ri}$ ). Apresentando um parecer sobre os parâmetros que influenciam nessa melhoria, como o fator de forma, volume de fibras e confiabilidade das normas *UNI 11039* (2003) e *RILEM TC 162-DTF* (2002).

## REFERÊNCIAS

ACI 544.3R-08. (2008). **Guide for specifying proportioning, and production of fiber -reinforced concrete.** Reported by ACI Committee 544, American Concrete Institute.

ACI 544.4R-88 (1999). **Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete.** Reported by ACI Committee 544, American Concrete Institute.

ARCELORMITTAL. **Dramix.** Disponível em: <<http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/construcao-civil/dramix/catalogo-dramix.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530:** Fibras de aço para concreto - Especificações. Rio de Janeiro: Abnt, 2007.

BARROS, Joaquim A. Oliveira (1995). Comportamento de betão reforçado com fibras – Análise experimental e simulação numérica. **Dissertação** (Doutoramento), Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Portugal.

CARVALHO, Clauderson Basileu. Análise crítica dos critérios normativos de dimensionamento à punção em lajes lisas. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Estrutural). Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

Collins, M.P. (2001). **Evaluation of shear design procedures for concrete structures.** A Report prepared for the CSA technical committee on reinforced concrete design.

FIGUEIRDO, Antônio Domingues de. Concreto Reforçado com fibras de aço. 2011. 247 f. **Tese** (Doutorado) - Curso de Engenharia da Execução Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011

JETMATERIALS. **Vebe consistometer.** Disponível em: <<http://jetmaterials.com/shop/vebe-consistometers/vebe-consistometer/>>. Acesso em: 28 mar. 2019

JÚNIOR, A. R. **Comportamento de vigas de concreto com fibras e baixas taxas de armadura longitudinal.** Universidade Federal do Rio De Janeiro, p. 134, 2009.

MCCAFERRI. ***Fibers as structural element for the reinforcement of concrete.*** Disponível em: <<http://docshare01.docshare.tips/files/25460/254603048.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

MEHTA E MONTEIRO. **Concreto-Microestrutura-Propriedades E Materiais.** São Paulo; BRACON, , 2008.

MOUSSA, Youssef Hassan. Eficácia das fibras de aço no reforço à flexão de vigas em concreto armado com taxa de armadura mínima. 125 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

OLIVEIRA, Sérgio Luís de. Taxa de armadura longitudinal mínima em vigas de concreto de alta resistência com fibras de aço. 2005. 115 f. **Dissertação** (Mestrado)

RILEM TC 162-TDF. (2002). ***Test and design methods for steel fibre reinforced concrete: Bending test, Final Recommendation.*** *Materials and Structures*, v.35, 579-582, November.

SANTOS, Douglas Freitas Augusto dos. **Concreto reforçado com fibras de aço,** Universidade Federal do Pará. Belém, 2014

SANTOS, S.P.F. (2009). **The Bending and Shear Behaviour of Laminar Structures of High Performance Fibre Reinforced Concrete.** Master thesis, School of Engineering, Dept. of Civil Engineering, University of Minho, Guimarães, Portugal.

SARZALEJO, A.; ROSSI, B.; P. **Fibers as Structural Element for the Reinforcement of Concrete Technical Manual.** p. 238, [s.d.].

SHIMOSAKA, T. J. **Influência do teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos autoadensáveis.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, p. 123, 2017.

TWI. **Validation of methods to determine CTOD from sent specimens.** Disponível em: <<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/validation-of-methods-to-determine-ctod-from-sent-specimens>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

UNI-11039-1. **Steel fibre reinforced concrete – definitions, classification and designation.** UNI Editions, Milan, Italy; 2003.

VELASCO, R. V. **Concretos Auto-Adensáveis Reforçados com Elevadas Frações Volumétricas de Fibras De Aço: Propriedades Reológicas, Físicas, Mecânicas e Térmicas.** p. 349, 2008.

## CRONOGRAMA

Quadro 1 – Cronograma da pesquisa

Período	2019/1				2019/2				
	MESES				MESES				
Atividade	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Concepção do projeto	x								
Revisão de literatura		x							
Metodologia			x	x					
Defesa do projeto				x					
Cadastramento do projeto					x				
Tabulação dos dados						x			
Análise estatística							x		
Discursão dos dados							x		
Conclusão								x	
Redação final									x

Fonte: Elaborada pela autora