



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS VARGINHA - MG

**ESTUDO TEÓRICO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO
(CRFA)**

Emerson Ricky Pinheiro

Orientador: Guilherme Palla Teixeira
Coorientador: Luciana Alvarenga Santos

Varginha
2021

ESTUDO TEÓRICO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Guilherme Palla Teixeira
Orientador (a): Prof. Luciana Alvarenga Santos

Varginha
2021

EMERSON RICKY PINHEIRO

ESTUDO TEÓRICO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS
DE AÇO (CRFA)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de Engenheira
Civil.

Data da aprovação: 22/10/2021

Banca examinadora:



Guilherme Pala Teixeira, MSc.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-
MG) – Unidade Varginha



Luciana Alvarenga Santos, Dra.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-
MG) – Unidade Varginha

Hellen Pinto Ferreira Deckers, Dra.
Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)
Campus Unai

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meu país, sem seu apoio e incentivo durante toda a minha vida não poderia conquistar nem metade do que já conquistei ou almejo conquistar.

Dedico em especial ao meu pai, que infelizmente não poderá ter seu sonho realizado de ver seu filho formado no curso que sempre quis. Um pai que acima de tudo sempre foi meu parceiro e amigo, inteiramente responsável pelos passos que trilhei durante minha vida.

Espero sempre me esforçar ao máximo para honrar sua vida e lhe dar orgulho onde quer que esteja, sempre pautado nos princípios que me ensinou.

Portanto, dedico este trabalho a ele, como homenagem ao incrível homem que foi, e prometo em cada passo da minha vida academia, profissional e pessoal buscar me tornar um filho digno de seu orgulho.

Ao meu Pai Enio Sergio Pinheiro;
Sempre te amarei!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar a capacitação necessária para que enfrentasse todos os desafios durante o curso.

Agradeço imensamente a meus pais Enio Sergio Pinheiro e Sirlei Pala de Melo por sempre me incentivarem e por todo apoio e toda ajuda durante minha caminhada no curso, sem eles não seria possível alcançar tal título.

Agradeço a todos os meus colegas de curso que de alguma maneira me ajudaram a chegar até aqui, seja trocando conhecimentos ou até mesmo apoiando durante os tempos difíceis.

Agradeço a todos os professores do CEFET-MG por me guiarem e transmitirem seu conhecimento ao longo do curso, cada um deles foi essencial para me tornar a pessoa que sou hoje.

Agradeço especificamente aos meus orientadores, Guilherme Palla Teixeira e Luciana Alvarenga Santos por lutarem ao meu lado durante esse trabalho de conclusão de curso, sempre me dando a diretriz necessária para a conclusão do mesmo.

Agradeço a minha namorada e minha parceira Maria Rafaela da Silva, por todo apoio e compreensão durante esta caminhada, sempre me ajudando no que era possível e impossível para que chegasse até aqui.

Por fim agradeço a toda a instituição de ensino CEFET, todos os funcionários, professores e colaboradores que me deram suporte para a conclusão deste curso.

RESUMO

É notório que a utilização de elementos estruturais em concreto armado é, atualmente, o método mais empregado no país, podendo-se perceber a evolução da mesma com o surgimento de diversas alternativas que buscam a otimização dessa técnica. Em especial, o uso de fibras, naturais ou sintéticas, que ao serem adicionadas à mistura do concreto melhoram suas propriedades. Pretende-se estudar neste trabalho, particularmente, as fibras de aço, que otimizam características do concreto, como o aumento do controle de fissuração, melhorando sua tenacidade, tensões residuais de tração e rigidez à flexão. Portanto, objetiva-se estudar o impacto do uso dessas fibras ao serem adicionadas ao concreto, buscando avaliar sua eficácia em relação ao controle de fissuração do concreto, visando aumentar seu momento de ruína, ou seja, permitindo que a estrutura resista a carregamentos maiores, possibilitando que elementos estruturais vençam maiores vãos, ou que se possa diminuir a armadura convencional presente no elemento. Para isso serão analisadas cinco pesquisas encontradas na bibliografia que estudam o comportamento do concreto reforçado com essas fibras, visando a comparação das mesmas em relação às vantagens e desvantagens da técnica, buscando contribuir para as pesquisas na área auxiliando a disseminar o uso das fibras no compósito de concreto armado.

Palavras – Chave: Fibras de Aço, Concreto, Controle de fissuração, vigas, resistência a tração.

Abstract

It is clear that the use of elements appearing in reinforced concrete is currently the most used method in the country and we can see its evolution, with the emergence of several alternatives that seek to optimize this technique. In particular, the use of natural or synthetic fibers, which, when added to the concrete mixture, improved its properties, has been extensively studied. In this work, steel fibers will be studied, which particularly optimize the characteristics of concrete, such as increasing the cracking control, improving its toughness, residual tensile stresses and bending stiffness. Therefore, the objective is to study the impact of the use of these fibers when added to concrete, seeking to evaluate their effectiveness in relation to the control of cracking of concrete, emphasizing its moment of failure, that is, allowing the structure to withstand higher loads, making it possible for added elements to win larger spans, or that the conventional reinforcement present in the element can be reduced, thus considering costs with this material. For this, five researches found in the bibliography that study the behavior of concrete reinforced with these fibers will be analyzed, formed the comparison of them in relation to the disadvantages and disadvantages of the technique, seeking to contribute to research in the area, helping the dissemination of its use. of the fibers in the reinforced concrete composite.

Keywords: Steel Fibers, Reinforced Concrete, Reinforcement of concrete.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tolerância para comprimento e diâmetro das fibras.	17
Tabela 2 - Resumo das prescrições da ABNT NBR 15530 (2007) para um lote de fibras que deve ser submetido ao controle de recebimento.	18
Tabela 3 - Relação dos tamanhos dos vazios e poros.	19
Tabela 4 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Gonçalves (2019).	27
Tabela 5 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Costa (2021), traço 1:2:3	28
Tabela 6 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Costa (2021), traço 1:2:2,5....	28
Tabela 7 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Vitor (2021).	29
Tabela 8 - Comparação de resultados com cura de 7 dias.	35
Tabela 9 - Comparação de resultados com cura de 28 dias.	35
Tabela 10 - Dosagens utilizadas na pesquisa por Costa (2021).	36
Tabela 11 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Vitor (2021).	37
Tabela 12 - Comparativo dos resultados.	37
Tabela 13 - Comparativo de resultados de vigas sem fibras de aço.	38
Tabela 14 - Comparativo de resultados de vigas com fibras de aço.	38
Tabela 15 - Comparativo de resultados.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das fibras.	16
Figura 2 - Fissuras ocasionadas pela retração do concreto no estado endurecido.	20
Figura 3 - Zona de transição desejável.	21
Figura 4 - Mecanismo de ação das fibras de aço.	22
Figura 5 - Fibras utilizadas na pesquisa.	27
Figura 6 - Formas de madeira Pinus.	32
Figura 7 - Ilustração Prensa.	32
Figura 8 - Ensaio de Ruptura à Flexão.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. OBJETIVO GERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. JUSTIFICATIVA	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1. FIBRAS DE AÇO	15
4.1.1 Base na fabricação e formas.....	15
4.1.2 Base no revestimento e teor de carbono.....	16
4.1.3 Comprimento e diâmetros da fibra	16
5 NORMATIZAÇÃO	17
6 INTERAÇÃO FIBRA-MATRIZ	18
6.2 VAZIOS E POROS	19
6.3 ÁGUA.....	19
6.4 ZONA DE TRANSIÇÃO	20
6.5 FIBRA MATRIZ.....	21
6.6 CONCRETOS ESTRUTURAIS.....	22
7 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA).....	23
7.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO COM ADIÇÃO DAS FIBRAS.	24
8 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
8.1 DOSAGEM DO CONCRETO.....	26
8.2 DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA.....	30
8.3 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO.....	32
8.4 CARGA DE RUPTURA À FLEXÃO	33
9 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	34

9.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	34
9.2 RESISTENCIA À FLEXÃO	37
10 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Na indústria da construção civil é possível observar a forte presença de edificações cuja estrutura foi concebida em concreto armado, devido a sua facilidade de execução, alta durabilidade, resistência à choques e vibrações, entre outras vantagens. Esta solução surgiu da necessidade de unir a boa resistência à compressão do concreto com a eficiente resistência à tração do aço, consolidando uma estrutura muito eficiente e compensatória. Porém, o concreto, assim como qualquer outro material, possui certas limitações, como baixa ductilidade, retração plástica, permeabilidade em ambientes úmidos (BRAZ & NASCIMENTO, 2015), além de grande fissuração quando submetido a esforços de tração, que podem levar à diversas patologias.

Nas últimas décadas, diversas pesquisas científicas apresentaram soluções que visaram melhorias nas características mecânicas e físicas do concreto. As matrizes cimentícias reforçadas com fibras (PEREIRA, 2017), naturais ou artificiais, como fibras de vidro, poliméricas, fibras de aço, dentre outras, é uma solução que vem sendo muito estudada, principalmente a partir da década de 60, e que melhoram características como tenacidade à flexão, resistência à fadiga e ao impacto (SALVADOR & FIGUEIREDO, 2013).

As fibras de aço, já empregadas em diversas obras, como pisos industriais, túneis, tubos de concreto, fundações do tipo radier, capas de compressão, anéis segmentados para revestimentos de tuneis (BAKAERT, 2019), são capazes de controlar a propagação e abertura de fissuras, otimizando sua tenacidade, tensões residuais de tração e rigidez à flexão (PEREIRA, 2017), além do aumento da resistência ao cisalhamento (ARAÚJO *et al.*, 2014) já comprovado em diversos estudos, segundo Moreno Júnior e Vedoato (2011, *apud* ARAÚZ, 2002; ASHOUR *et al.*, 1992; CUCCHIARA *et al.*, 2004).

Dentre as melhorias já citadas, alcançadas pela utilização das fibras de aço, pode-se destacar o aumento do controle de fissuração (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2016; PEREIRA, 2017), uma melhoria importante para o combate aos esforços de tração. Sendo assim, com o aumento da resistência a tração na flexão devido a adição das fibras, provoca diminuição da propagação das fissuras em determinadas regiões de uma peça de concreto, resultando em maior capacidade de suporte a carregamentos e vencendo vãos maiores.

O presente trabalho analisa os efeitos da adição de fibras de aço na produção de concreto. Para isso, foram analisados ensaios realizados por cinco autores, a fim de levantamento comparativo entre suas teorias e resultados obtidos.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram divididos em duas etapas, sendo elas objetivo geral e objetivos específicos.

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo investigar o impacto da adição de fibras de aço como reforço em estruturas de concreto, com foco no aumento do controle de fissuração do mesmo, investigando a possibilidade de gerar um relevante aumento na capacidade portante do elemento estrutural.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar pesquisas sobre os parâmetros e métodos que podem ser utilizados no concreto com adição de fibras.
- Analisar pesquisas de autores afim de comparar suas metodologias, ensaios e resultados obtidos a respeito do comportamento de elementos de concreto com a adição de fibras.
- Comparar a resistência do concreto sem e com adição de fibras, observando seu comportamento, assim como suas vantagens e desvantagens.

3. JUSTIFICATIVA

A utilização de fibras de diversas naturezas adicionadas à mistura de concreto convencional vem ganhando muito destaque nos últimos anos, sendo utilizadas para aperfeiçoar características outrora deficientes, como melhorias na tenacidade à flexão, aumento na capacidade resistente e ductibilidade e controle da fissuração (PEREIRA, 2017). Pode-se encontrar diversos tipos de fibras tais como, fibras de vidro, polipropileno, nylon, poliéster, sintética, aço, entre outras, as quais cada uma garante propriedades específicas ao concreto quando adicionadas à mistura.

Porém diversas destas fibras ainda não possuem uma normatização que padronize sua utilização. Isto se deve principalmente ao fato de ser uma tecnologia relativamente nova, carente de pesquisas sobre o uso das mesmas.

Este trabalho visa contribuir para o estudo das fibras de aço, as quais vem obtendo ótimos resultados em investigações já realizadas, como melhorias na ductilidade e abertura de fissuras em elementos de concreto, além disso, Pereira (2017) afirma que dependendo da quantidade de fibras na mistura pode-se obter aumento substancial de resistências à tração e flexão pós fissuração, concluindo que em determinadas aplicações seu emprego pode ser mais eficaz do que o uso de armaduras convencionais.

A continuidade desses estudos mostra-se muito benéfica para a propagação do uso de fibras de aço, provando que esta otimiza características do concreto convencional que acabam por prejudicar seu desempenho em estruturas armadas, submetidas à esforços de flexão. Pretende-se então investigar e comprovar que ao utilizar estas fibras pode-se obter um aumento da carga que leva à ruptura do elemento estrutural estudado, sendo possível assim, a diminuição da taxa de armadura. Por outra perspectiva, seria possível com uma mesma taxa de aço convencional vencer maiores vãos em edificações, aperfeiçoando, por exemplo, características arquitetônicas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. FIBRAS DE AÇO

As fibras utilizadas no reforço de estruturas de concreto são definidas segundo a norma ABNT NBR 15530:2019 - “Fibras de aço para concreto - Especificação” como elementos descontínuos, onde as dimensões da seção transversal do elemento são bem menores do que seu comprimento.

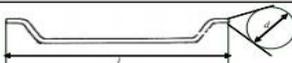
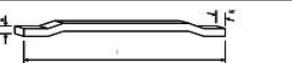
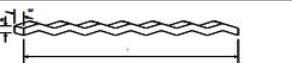
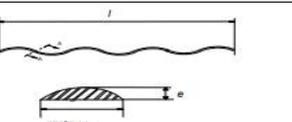
Para Nakamura (2009) estão disponíveis no mercado brasileiro três tipos principais de fibras: fibras de aço, as macrofibras poliméricas e as macrofibras de vidro, sendo que todas elas possuem funções estruturais.

Em relação às fibras de aço podemos classificá-las com base na sua fabricação, forma, revestimento, teor de carbono, comprimento e diâmetro das fibras.

4.1.1 Base na fabricação e formas

Os formatos classificam o tipo de fibras, podendo ser as com ancoragem nas extremidades (Tipo A), as corrugadas (tipo C) e as retas (Tipo R), onde esses fatores interferem diretamente na relação de aderência entre fibra e matriz. A seção transversal classifica a fibra de acordo com o seu material e procedimento de fabricação. As fibras de Classe I, são produzidas de arame trefilado a frio, as de Classe II são produzidas de chapa laminada e cortada a frio e as fibras de Classe III são produzidas de arame trefilado e escarificado. O sistema encontra-se exemplificado na Figura 1:

Figura 1 - Classificação das fibras.

Tipo	Classe da fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Fonte: Figueiredo (2011) adaptado pelo autor.

4.1.2 Base no revestimento e teor de carbono

As fibras podem receber um revestimento antes de serem utilizadas como, por exemplo, a galvanização, considerando o tipo e a quantidade características utilizados por grama por metro quadrado (g/m^2).

Na classificação do aço (teor de carbono), as fibras devem atender a uma quantidade de carbono, onde podem ser classificadas como: baixo teor de carbono (no máximo 0,30% de carbono); médio teor de carbono (de 0,30% a 0,60% de carbono); alto teor de carbono (0,60% a 1,00% de carbono).

4.1.3 Comprimento e diâmetros da fibra

De acordo com seu diâmetro pode – se as classificar em: redondas, com diâmetros de 0,25 mm a 0,75mm; as retangulares geralmente possuem um diâmetro de 0,25mm de espessura, e as em fios de 0,3mm a 0,5mm.

A classificação das fibras de acordo com seu comprimento deve ser analisada de acordo as suas tolerâncias de comprimento e diâmetro de acordo com uma das classes apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Tolerância para comprimento e diâmetro das fibras.

Propriedade	Intervalo	Desvio do valor individual em relação ao valor declarado			Desvio da média em relação ao valor declarado		
		Classe A	Classe B	Classe C	Classe A	Classe B	Classe C
Comprimento e comprimento desenvolvido (l)	>30	± 3mm	±3 mm	±10%	±5%		
	≤30 mm	±10%	±10%		±1,5mm		
Diâmetro equivalente (d)	>0,30 mm	±0,02 mm	±5%	±10%	±0,015 mm	±5% ±0,015 mm	±5% 0,015
Comprimento/diâmetro	-	±15%			±7,5%		

Fonte: ABNT NBR 15530:2019 - Fibras de aço para concreto adaptado pelo autor.

5 NORMATIZAÇÃO

De acordo com a ABNT NBR 15530:2019, é necessário seguir alguns parâmetros para garantir a qualidade e uso seguro das fibras de aço, além da classificação para as fibras de aço de baixo teor de carbono de acordo com suas características geométricas, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento. Diante desses parâmetros, espera-se que o material fornecido garanta potencial para proporcionar um desempenho adequado ao concreto reforçado com fibras de aço (CRFA), trazendo qualidade e segurança para a estrutura a ser projetada.

Segundo Figueiredo (2005), a norma se atém ao produto fibra sem regular a verificação de desempenho da mesma no concreto, possibilitando uma garantia de comportamento mínimo, mas não de desempenho, pois isso depende de outros fatores como consumo de fibras e a resistência da matriz. Isso ocorre porque o CRFA tem seu desempenho dependente da interação entre fibra e matriz.

Com base na ABNT NBR 15530:2019, alguns defeitos podem ocorrer nas fibras de aço, e sua verificação pode ser analisada em cada lote de no

mínimo 200 gramas de material. No máximo 5% da massa das fibras podem apresentar defeitos, sendo considerado defeitos de quaisquer emendas, que podem gerar entupimento do mangote durante a execução do concreto projetado, por exemplo (FIGUEIREDO, 2005).

A norma ABNT NBR 15530:2007 apresenta controles de aceitação em relação às fibras, em relação aos ensaios e verificações quanto à resistência ao dobramento, à variação dimensional e atendimento às quantidades mínimas de fibras defeituosas. Na Tabela 2 apresenta - se um resumo das prescrições da ABNT NBR 15530:2007.

Tabela 2 - Resumo das prescrições da ABNT NBR 15530 (2007) para um lote de fibras que deve ser submetido ao controle de recebimento.

Ensaio	Amostra mínima	Porcentagem mínima de fibras de acordo com os requisitos (%)
Dobramento	10 fibras	90
Verificação dimensional	60 fibras	90
Verificação de defeitos	200 g	95

Fonte: TORRES, 2019 adaptado pelo autor.

6 INTERAÇÃO FIBRA-MATRIZ

De acordo com Mehta & Monteiro (1994), cada uma das fases do concreto é de natureza multifásica, sendo que cada partícula de agregado pode conter vários minerais, além de fissuras e vazios. A matriz da pasta de cimento apresenta uma distribuição heterogênea, de diferentes tipos e quantidades de fases sólidas, poros e microfissuras, e as mudanças microestruturais que ocorrem nos compostos formados na hidratação do cimento com o decorrer do tempo.

Sendo assim, Mehta & Monteiro (1994), define que matriz é a pasta de cimento que contorna os grãos de areia e o agregado graúdo, compreende a zona de transição entre agregado e pasta de cimento. Ela é composta por três fases, Fase 1 (sólidos), Fase 2 (vazios ou poros) e Fase 3 (água).

6.1 SÓLIDOS

Formada por distintos tipos de compostos hidratados do cimento, os mais relevantes são os silicatos hidratados (C-S-H); carbonato de cálcio Ca(OH)_2 ; etringita e grãos de clínquer não hidratados.

6.2 VAZIOS E POROS

A quantidade de vazios influencia diretamente nas características do concreto, ou seja, quanto maior a quantidade de vazios, maiores serão os diâmetros médios, o que torna maior a porosidade, a retração, a fluência e a permeabilidade, ao passo que a resistência mecânica e a resistência química serão menores.

A porosidade completa da pasta de cimento Portland situa entre 25% e 30% em volume utilizando-se de uma relação água/cimento de 0,5 (MORANVILLE, 1992). Esta porosidade é decomposta em duas maneiras: poros entre cristais C-S-H (de poucos nanômetros de comprimento); e poros capilares entre os compostos hidratados (bolhas e fissuras).

Os vazios e poros, estão localizados em bolhas de ar aprisionado e incorporado, em vazios capilares e no espaço interlamelar do C-S-H, e possuem tamanhos diferentes conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Relação dos tamanhos dos vazios e poros.

Espaço interlamelar no C-S-H	1 a 4 nm
Vazios capilares	0,01 a 1 μm
Ar incorporado	0,05 a 1 mm
Ar aprisionado	0,5 a 5 mm

Fonte: TORRES, 2019 adaptado pelo autor.

6.3 ÁGUA

Na pasta endurecida, existe a presença de água incorporada ao concreto, e essa água pode ser na forma líquida ou na forma quimicamente combinada. Essa água encontrada na pasta pode ter condições para sair ou não, que varia de acordo com um grau de dificuldade relacionado à característica que a pasta se encontra. O concreto inicialmente saturado sofre uma perda

contínua de água até o equilíbrio com a umidade do meio ambiente. Essa perda de água ocasiona consequências no concreto, como retração hidráulica (Figura 2) ou de secagem (considerando poros entre 5 nm e 50 nm em águas capilares influenciado pela tensão capilar).

Figura 2 - Fissuras ocasionadas pela retração do concreto no estado endurecido.



Fonte: RICARDO FERREIRA, 2018 adaptado pelo autor.

6.4 ZONA DE TRANSIÇÃO

Segundo Mehta & Monteiro (2014), zona ou região de transição, esta área corresponde à interface entre o agregado graúdo (brita) e a pasta de cimento. Sabe-se que essa região, a zona de transição, é pobre em C-S-H gel, composto químico responsável pela boa resistência mecânica do concreto. Esta constatação, já conhecida da literatura, implica no fato de que é nesta região onde se inicia a falha do concreto, ou seja, onde se iniciam os processos de fissuração e propagação de trincas.

Há concentração de etringita (que são cristais grandes, porosos com baixa resistência mecânica). A porosidade na zona de transição é decorrente da elevação da relação água/cimento na mistura em decorrência do filme de água que se forma em torno do agregado graúdo.

A zona de transição, Figura 3, apresenta características diferentes do restante da pasta, a espessura e as propriedades desta zona variam de acordo com os componentes da pasta e do agregado graúdo. Analisando também falha

na aderência entre a pasta e o agregado, podendo-se relacionar este fato aos grandes cristais formados, com superfície específica menor, o que diminui a força de adesão (também chamada de forças de Van der Waals).

Entretanto, com o tempo, a zona de transição é preenchida com produtos da hidratação e as fissuras passam a se propagar pelo filme de hidróxido de cálcio depositado sobre o agregado. Quando se utiliza rochas carbonáticas como agregado, a pasta adere vigorosamente ao agregado através de meios químicos, mostrando que o filme de hidróxido de cálcio pode deixar de ser o elo mais fraco da mistura, fazendo com que as fissuras sejam capazes de se propagar pelo agregado.

Possui estrutura com grande volume de vazios capilares e hidróxido de cálcio, além da presença de microfissuras.

Figura 3 - Zona de transição desejável.



Fonte: RICARDO FERREIRA, 2018 adaptado pelo autor.

6.5 FIBRA MATRIZ

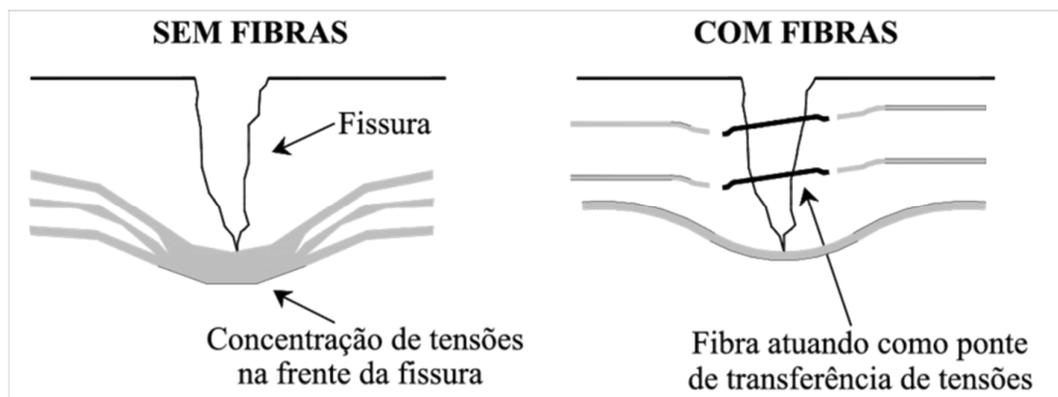
A eficiência do reforço de fibras na matriz cimentícia pode ser caracterizada em dois estágios: pré e pós-fissuração. Em ambos os casos, o comportamento é controlado pela interação fibra-matriz, por meio de processos de transferência de força da matriz para as fibras e mecanismos de “costura” de trincas em níveis avançados de carregamento. Em outras palavras, para que um composto tenha um bom desempenho, é necessário garantir que seus

componentes funcionem juntos. A boa interação fibra-matriz resulta em um aumento na capacidade de absorção de energia do compósito. A inserção de fibras no concreto é realizada, atualmente, com objetivos distintos, sendo um deles a melhora do desempenho mecânico do material.

Segundo Figueiredo (2011), ao adicionar fibras de resistência e módulo de elasticidade adequados ao concreto, e em quantidade apropriada, o concreto passa a ter um comportamento diferente do comportamento frágil, devido ao fato de que as fibras proporcionam uma ponte de transferência de tensões através das fissuras, minimizando as tensões aplicadas em suas extremidades.

Apresenta – se na Figura 4 uma breve comparação entre os comportamentos das matrizes sem e com adição de fibras respectivamente.

Figura 4 - Mecanismo de ação das fibras de aço.



Fonte: Nunes; Agopyan, 1998 adaptado pelo autor.

6.6 CONCRETOS ESTRUTURAIS

De acordo com a ABNT NBR 12655:2006, concreto de cimento Portland é um material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). Para os efeitos desta Norma, o termo “concreto” se refere sempre a “concreto de cimento Portland”.

Concreto estrutural refere-se a toda gama das aplicações do concreto como material estrutural. Podem ser caracterizados três elementos distintos de concreto estrutural:

- Elementos de concreto simples estrutural: elementos estruturais elaborados com concreto que não possuem qualquer tipo de armadura, ou que a possuem em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado, ABNT NBR 6118:2014.
- Elementos de concreto armado: são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.
- Elementos de concreto protendido: são aqueles nos quais parte das armaduras é alongada por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último, ELU.

7 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)

O concreto reforçado com fibras (CRF) se tornou uma alternativa para superar algumas limitações da utilização do concreto, uma dessas é o uso de fibras como composto do concreto. Essas podem ser naturais ou artificiais, adicionadas à mistura, cada qual com sua vantagem para o mesmo.

Segundo Pereira (2017), conforme citado por Bentur (2007), data da antiguidade o uso de fibras para melhorar o comportamento, não só do concreto, como de outros materiais. Segundo o autor, incorporavam-se palha de crinas de cavalo para aumentar a ductilidade de materiais frágeis usados em revestimentos de casas e em tijolos. Pereira (2017, Apud Mehta & Monteiro, 2006), afirma que fibras de amianto eram usadas para reforçar potes de argila há mais de 5000 anos, comprovando assim, que o uso de fibras não é algo recente, já tendo sido provado sua eficácia na otimização de diversos materiais.

Visando superar essas dificuldades, materiais vêm sendo adicionados à mistura. O aço, por exemplo, vem sendo usado desde 1849, quando Joseph

Monier criou esta tecnologia, buscando contornar a dificuldade do concreto em combater esforços de tração. Assim, uniu-se a boa resistência à compressão do concreto, com a boa resistência à tração do aço, criando assim, uma estrutura altamente eficaz contra ambos os esforços.

Em relação ao concreto convencional, as fibras mais utilizadas atualmente são as fibras de polipropileno, fibras de aço, fibras de vidro, dentre outras, estas sendo estudadas desde a década de 60 (PEREIRA, 2017), adicionando melhorias em relação a características como, tenacidade à flexão, resistência à fadiga e ao impacto (SALVADOR & FIGUEIREDO, 2013)

Dentre as fibras citadas, vem se destacando as fibras de aço, que trazem diversas melhorias ao concreto. Torres (2018) mostra em seu estudo, o aumento da resistência ao cisalhamento causado pelas fibras de aço, concluindo que vigas fabricadas com CRFA atingiram tensões de cisalhamentos muito próximas a vigas que utilizaram concreto armado com taxa mínima de estribos, levando a inferir que seria possível a substituição da armadura convencional de cisalhamento por estas fibras. Outro trabalho que enfatiza o aumento da resistência ao cisalhamento foi publicado por Cucchiara (2003), mostrando também que o uso de fibras pode substituir o uso de estribos em dosagem adequada.

Para Figueiredo (2011), o concreto reforçado com fibras é uma alternativa para o emprego do concreto armado, utilizado nas estruturas contínuas e pré moldadas. A utilização do concreto reforçado com fibras está relacionada a obras de grande demanda social, como as de transporte e saneamento básico, uma vez que essas envolvem na sua grande maioria pavimentos e túneis.

7.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO COM ADIÇÃO DAS FIBRAS.

Mesmo apresentando uma ampla empregabilidade, o concreto simples apresenta limitações significativas na sua utilização, essas provenientes de características físicas e químicas. Para BRAZ & NASCIMENTO (2015), baixa ductilidade, retenção plástica e permeabilidade em ambientes úmidos são algumas dessas limitações.

O uso das fibras é capaz de melhorar significativamente a resistência à flexão. Para Gonçalves (2019), esse aumento pode ser até três vezes mais se compararmos com o concreto convencional. Já a resistência fadiga pode ser aumentada aproximadamente 1,5 vezes; A resistência a fadiga e ao impacto também aumentam devido a maior resistência e a permeabilidade também será alterada com a adição de fibras pois torna o material menos poroso.

Os fatores ambientais como mudanças de temperatura e umidade do ambiente e a incessável ação das cargas externas ocasionam as retrações, uma vez que na zona de transição entre a matriz e os agregados, particularmente os grãos, possuem muitas microfissuras, e com grande facilidade essas aumentam.

As tensões causadas pelos esforços atuantes no concreto, se propagam no concreto e quando se há uma fissura, imediatamente as tensões se propagam de maneira desalinhada, ou seja, a tensão irá contornar a fissura e com isso ocasionando um acúmulo de tensões na extremidade da fissura, no instante que a força mecânica vencer a resistência da matriz, o material se rompe de maneira abrupta. Nos concretos que foram adicionadas as fibras, as fissuras diminuem a velocidade de alargamento, pois elas atuam como ligações para transferência de esforços assim consequentemente reduzindo as fissuras.

Esses processos geram uma redução significativa na velocidade de propagação das patologias, uma vez que o material sendo mais resistente exigirá uma quantidade superior de energia. Watanabe (2008, p. 134 Apud Braz & Nascimento 2015) afirma que se as fibras foram resistentes e bem aderidas à matriz, em quantidades exatas, elas ajudarão a manter as fissuras pequenas, assim o CRF irá resistir a trações bem elevadas.

A adição das fibras para Figueiredo (2007) demonstra ser oportuno no controle da fissuração do concreto, pois são atuantes de maneira participativa, exercendo o papel de ponte, onde transmitem as tensões por meio das fissuras do concreto. Tal ação melhora algumas propriedades mecânicas, tendem a reforçar o concreto de maneira que induzem a tração, ou seja, a tração direta, na flexão ou no cisalhamento, e também melhoram a ductilidade e a tenacidade, resistência ao cisalhamento, à torção e à fadiga em comparação ao concreto convencional. Para atingir tais êxitos é necessário ter um controle na adição das fibras, a princípio quanto maior for esse teor, melhor será o desempenho, pois

maior será o número de fibras que interceptam cada microfissura, evitando assim a propagação das mesmas (GARCEZ, 2005). Pode se afirmar que quanto maior a adição de fibra ao concreto maior será a carga necessária para atingir o mesmo valor de deflexão, assim sendo evidente o reforço alcançado.

Porém, em meio a tantas vantagens, surge uma desvantagem descrita na maioria das pesquisas, as fibras de aço quando adicionadas à mistura, adicionam também grandes volumes superficiais, gerando uma necessidade maior de água, é neste ponto que as fibras acabam por prejudicar a trabalhabilidade sendo necessário ao utiliza-las, adicionar à mistura superplastificantes, que permitem a redução do uso de água e melhora sua resistência mecânica, produzindo concretos mais homogêneos, e com maior trabalhabilidade (GONÇALVES, 2019).

8 MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão bibliográfica forneceu a base teórica para a escolha dos parâmetros básicos para geração dos compósitos com incorporação de fibras de aço, assim foram selecionados alguns estudos de casos contendo ensaios de 5 autores diferentes, para comparação e análise do comportamento da adição de fibras, assim como suas vantagens e desvantagens. Foram descritos os materiais utilizados e os procedimentos de ensaio empregados pelos autores, como: dosagens adotadas, porcentagem de fibra de aço utilizadas, e corpos de prova, para avaliação das resistências obtidas por cada autor, posteriormente serão avaliadas suas metodologias e resultados.

8.1 DOSAGEM DO CONCRETO

Para Santos (2020) a dosagem do CRFA precisa ser realizada de maneira que atenda uma trabalhabilidade que possibilite que o concreto seja lançado, adensado e tenha o acabamento com o mínimo de esforços e também que a segregação seja mínima, uma vez que a mistura do CRFA tem a tendência de gerar aglomerações das fibras. Figueiredo (2011), mostra que isso vem a ocorrer principalmente porque ao adicionar fibras ao concreto está também se adicionando um grande volume superficial, assim requer uma maior quantidade

de água. Com isso, deduziu que, quanto menor for o diâmetro da fibra, será maior a influência da mesma na perda de fluidez da mistura.

Gonçalves (2019) utilizou a seguinte dosagem especificada na Tabela 4, sendo utilizada a fibra A-II (tipo A – com ancoragem nas extremidades; classe II), diâmetro de um milímetro, comprimento de três centímetros conforme observada na Figura 5.

Tabela 4 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Gonçalves (2019).

Traço 20 MPa	Relação a/c	Cimento (kg/m ³)	Areia Grossa (kg/m ³)	Brita nº 0 e 1 (kg/m ³)	Água (kg)	Aditivo super plastificante (g)	Fibras de Aço Carbono (kg/m ³)
Amostra A	0,6	19,2	13,8	10,3	5,8	0,78	0
Amostra B	0,6	19,2	13,8	10,3	5,8	0,78	7,2
Amostra C	0,6	19,2	13,8	10,3	5,8	0,78	12,0
Amostra D	0,6	19,2	13,8	10,3	5,8	0,78	16,8

Fonte: GONÇALVES (2019) adaptado pelo autor.

Figura 5 - Fibras utilizadas na pesquisa.



Fonte: GONÇALVES (2019) adaptado pelo autor.

GONÇALVES (2019) utilizou na sua pesquisa uma quantidade de 24 corpos de tabulação, cada grupo conteve 06 moldes, alterando a resistência característica a compressão bem como a quantidade de fibras, ao final obteve a seguinte classificação:

- Grupo 1: concreto com $F_{ck} = 20$ MPa sem adição de fibras;
- Grupo 2: concreto com $F_{ck} = 20$ MPa com 30% de fibras;
- Grupo 3: concreto com $F_{ck} = 20$ MPa com 50% e fibras;
- Grupo 4 concreto com $F_{ck} = 20$ MPa com 70% de fibras.

Todos os corpos de prova utilizados ficaram em repouso por 24 horas e após isso foram submetidos a cura submersa em água, essa teve dois períodos para realização dos ensaios: sete e vinte e oito dias.

Costa (2021) Utilizou na sua pesquisa as fibras de aço DRAMIX 65/60 RN sendo 0,9mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, trabalhando com dois traços distintos, 1:2:3, voltado a obras de responsabilidade e 1:2:2,5. Além da dosagem sem fibras o primeiro traço contou também com um teor de 30kg/m^3 , sendo confeccionados 3 corpos de prova por teor enquanto o segundo traço contou com 3 dosagens, sem fibras, 30kg/m^3 e 40kg/m^3 , sendo neste caso utilizados apenas 2 corpos de prova por teor. As tabelas 5 e 6 mostram esses traços, respectivamente

Tabela 5 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Costa (2021). traço 1:2:3

Corpos de prova	Teor de fibra (kg/m^3)	Cimento (Kg)	Areia grossa (L)	Brita 0 (L)	Água (L)	Fibras (g)	Aditivos (ml)	Relação a/c
C.P 1	Sem Fibras	1,76	2,42	3,64	1,05	0	0	0,6
C.P 2	30	1,76	2,42	3,64	0,84	155,43	14,8	0,48

fonte: COSTA (2021) adaptado pelo autor.

Tabela 6 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Costa (2021), traço 1:2:2,5

Corpos de prova	Teor de fibra (kg/m^3)	Cimento (Kg)	Areia grossa (L)	Brita 0 (L)	Água (L)	Fibras (g)	Aditivos (ml)	Relação a/c
C.P 1	Sem Fibras	1,27	1,75	2,19	0,69	0	0	0,538
C.P 2	30	1,27	1,75	2,19	0,69	98,91	9,5	0,538
C.P 3	40	1,27	1,75	2,19	0,69	131,88	9,5	0,538

fonte: COSTA (2021) adaptado pelo autor.

Costa (2021) também utilizou a ABNT NBR 5738 (2015) para estabelecer o período de cura dos corpos de prova, repouso de 24 horas e após isso foram submetidos a cura submersa em água, esse com um período de 28 dias.

Assim como Gonçalves (2019), Costa (2021) também utilizou grupos para ensaios, variando a quantidade de adição de fibras e a resistência característica à compressão do concreto (25 MPa e 30 MPa).

Vitor (2021), em sua pesquisa utilizou apenas um traço base com resistência característica à compressão $F_{ck} = 30$ MPa, alterando apenas a quantidade de adições de fibras, onde em cada um foram adicionados os teores de fibra de 1,0%; 2,0%; 3,0% e 5,0% além do traço referência, que não conteve adição de fibra e o tempo de cura foi normatizado pela ABNT NBR 5738 (2015), repouso de 24 horas e cura submersa em água por 28 dias.

As fibras adicionadas possuem um comprimento de 46mm por 2,7 mm de largura e uma altura de 0,7 mm.

Tabela 7 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Vitor (2021).

Material	Traço A Referência 0%(kg)	Traço B 1,0% (kg)	Traço C 2,0% (kg)	Traço D 3,0% (kg)	Traço E 5,0% (kg)
Cimento	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50
Areia	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50
Brita	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Água	7,59	7,59	7,59	7,59	7,59
Fibra de aço	-	0,84	1,54	2,31	3,85

fonte: VITOR (2021) adaptado pelo autor.

Segundo o American Concrete Institute (1993 aput Santos, 2020), o teor usual de emprego de fibras de aço em concreto varia entre 0,25% e 2% em relação ao volume, isto corresponde a aproximadamente 20 kg/m³ e 157 kg/m³, respectivamente. Já para Naaman (2000), o teor típico de fibra para o concreto comum é sempre inferior a 2% em volume. Utilizando esses valores Santos (2020), adotou o valor de 20 kg/m³ de fibras de aço em cada corpo de prova do ensaio.

Foram confeccionadas 8 vigas para ensaios, 4 delas contendo adições de fibras e 4 sem adições. Em ambas foi adotado um período de cura submersa em água por 28 dias após um repouso de 24 horas.

A fibra utilizada nos corpos de prova possuía como características o diâmetro de 0,75mm; comprimento de 60mm; fator de forma 80; e a classificação de produção A1 de acordo com a ABNT NBR 15530 (2007).

Medeiros (2020), em sua pesquisa utilizou 5 grupos para ensaio, sendo:

- Grupo 1: de referência, com armadura longitudinal e transversal apenas com concreto convencional.
- Grupo 2: apenas armadura longitudinal e 7% de fibra e aço em relação a quantidade cimento.
- Grupo 3: com armadura longitudinal e transversal, com 7% de fibra de aço em relação a quantidade de cimento.
- Grupo 4: com apenas armadura longitudinal, com 14% de fibra de aço em relação a quantidade de cimento.
- Grupo 5: contendo armadura transversal e longitudinal com 14% de fibra de aço em relação a quantidade de cimento.

Todas as amostras foram submetidas a um tempo de cura de 28 dias e a fibra empregada para realização da pesquisa foi a fibra de aço em pente Dramix do tipo A (fibras de aço com ancoragem nas extremidades) da classe I (oriunda de arame trefilado a frio), com módulo de elasticidade de 200GPa, contendo fator de forma da fibra 45, comprimento de 30mm e diâmetro de 0,62mm.

8.2 DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA

Para a confecção dos corpos de provas utilizados pelos autores, foram seguidos alguns parâmetros normativos.

Para os que utilizaram corpos de provas cilíndricos, a ABNT NBR 5739:2018 prescreve os métodos para o ensaio de compressão, e os corpos de

prova moldados devem atender ao estabelecido na ABNT NBR 5738:2015, como moldagem e cura dos corpos de prova.

Segundo a ABNT NBR 5738:2015, os moldes cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro. O diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. As medidas diametraes têm tolerância de 1 % e a altura, 2 %. Os planos das bordas circulares extremas do molde devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde.

Dessa maneira os três autores que utilizaram moldes cilíndricos(Costa, Vitor e Gonçalves), adotaram dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, tendo um volume de aproximadamente 15,708 dm³ por corpo de prova. Para a produção dos corpos de prova é importante a execução da limpeza dos equipamentos como: betoneira, moldes dos corpos de prova, peneiras entre outros.

Ao finalizar as moldagens, os corpos de prova foram levados cuidadosamente a um local sobre superfície horizontal e protegido das intempéries ou quaisquer outros meios de perturbações onde ficaram em cura inicial de 24 horas. Os corpos de provas ficaram em cura por submersão, conforme recomenda a NBR 5738:2015.

Já para análise das vigas, método utilizado por dois estudos, cada autor produziu suas vigas de acordo com o que achavam viáveis para obtenção de resultados precisos.

Santos (2020), afirma que devido a restrições das dimensões da máquina de ensaio de flexão que os autores utilizaram, a seção transversal máxima possível foi de 15 x 15 cm². Com isso, optou-se de testar corpos de prova com as dimensões de 15 x 15 x 50 cm³, dimensões condizentes com a norma americana RILEM TC 162-TDF (2000), que estabelece seções transversais de 15 x 15 cm², com 45 cm de vão entre os apoios.

Medeiros (2020), além de confeccionar corpos de provas cilíndricos, também utilizou cinco corpos de provas em prismas com dimensões de 50cmx15cmx15cm (largura x altura x base). Para moldagem dos exemplares foram confeccionadas formas com madeira Pinus nas dimensões 15x15x50, conforme Figura 6:

Figura 6 - Formas de madeira Pinus.

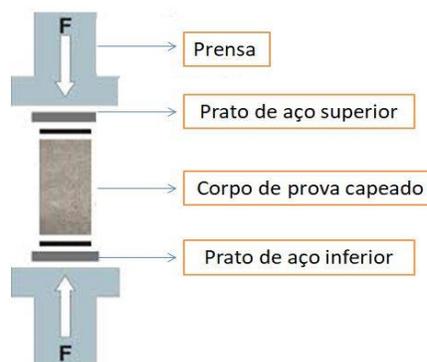


Fonte: Medeiros (2020), adaptado pelo autor.

8.3 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO

A resistência à compressão dos concretos foi avaliada através da ruptura de corpos de prova cilíndricos (100 mm de diâmetro e 200 mm de altura) em prensa, de acordo com as determinações da ABNT NBR 5739: 2018. Após a cura dos corpos-de-prova em câmara úmida os mesmos foram retirados nas idades definidas pelos autores dos ensaios a serem analisados. Os corpos-de-prova devem ter suas extremidades regularizadas através de dois suportes emborrachados e a prensa utilizada para o ensaio deve ser de acordo com a ABNT NBR ISO 7500-1:2016. Ilustra-se na Figura 7 a prensa e como o corpo de prova deve ser inserido para o ensaio.

Figura 7 - Ilustração Prensa.



Fonte: Nelso Schneider, 2020. Adaptado pelo autor.

Para obter os resultados, devem ser medidos por paquímetro o diâmetro e altura de cada corpo de prova submetido ao ensaio, e calculado a área da base do corpo de prova, apresentado pela Equação 1. Logo após o cálculo da resistência a compressão, presente na Equação 2.

$$AB = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

AB = área da base (mm²);

D = diâmetro da base (mm);

$$RC = \frac{F}{AB} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

RC= resistência a compressão (MPa);

F= força (N)

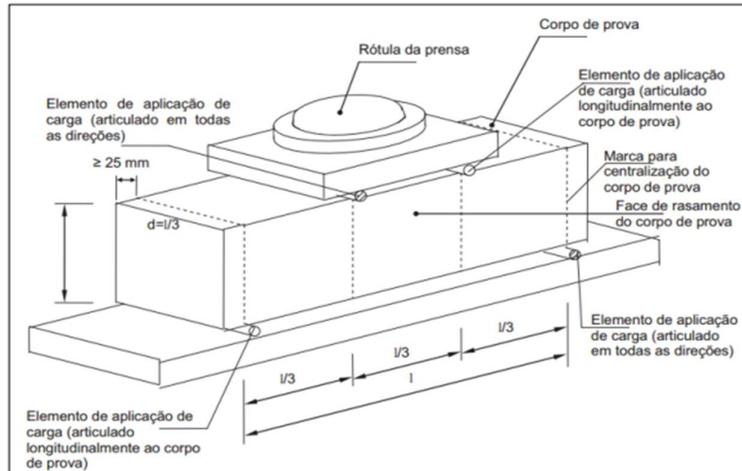
AB = área da base (mm²);

8.4 CARGA DE RUPTURA À FLEXÃO

Este ensaio segue as considerações da ABNT NBR 12142:2010. Já os critérios sobre utilização da aparelhagem são determinados pela ABNT NBR 5739:2018.

Os corpos de prova para este ensaio são prismáticos, suas dimensões exigidas e seus processos de moldagem devem ser executados conforme a ABNT NBR 5738:2015. Para que se possa realizar o ensaio nos corpos de prova prismático, a máquina de ensaio deve possuir alguns dispositivos de flexão como apresentado na Figura 9, para que a força seja aplicada centrada e perpendicularmente às faces superior e inferior do prisma.

Figura 8 - Ensaio de Ruptura à Flexão



Fonte: NBR 12142 (ABNT, 2010, p. 2), adaptado pelo autor.

9 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

9.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

A resistência a compressão do concreto é o principal parâmetro característico físico deste, diante disso torna-se uma necessidade importante para qualquer estrutura de concreto. Dessa forma algumas definições são essenciais para o resultado final a qual se procura, como o a escolha do cimento a ser utilizado, a função do concreto, para fins estruturais ou não estruturais, além da resistência característica à compressão desejada para a idade em dias do corpo de prova, podendo ser em 7, 14, 21 e 28 dias.

Nos resultados obtidos por Gonçalves (2019) é notório que houve um aumento significativo na resistência do concreto com adições de fibras, isso proporcionou melhoria na aderência na matriz. Gonçalves (2019) afirma que as fibras podem ter atuado de forma semelhante a um sistema de confinamento do concreto, dificultando o desenvolvimento de fissuras longitudinais e, assim, ocasionando ganho na resistência à compressão com relação ao concreto de referência sem fibras.

As resistências obtidas pelo autor apresentadas nas Tabelas 8 e 9, com idades de 7 e 28 dias respectivamente mostram que com a adição das fibras decorrente ao aumento das porcentagens inseridas, os corpos de provas apresentaram uma elevação em suas resistências em 7 dias, já com idade de 28

dias esse ganho na resistência é variável, o que leva a analisar se ocorreu algum erro nas confecções dos corpos de prova, pois as amostras com adição de 50% de fibra ficaram com resistências inferiores aos corpos de prova sem incorporação de fibras.

Tabela 8 - Comparação de resultados com cura de 7 dias.

Corpo de Prova	Amostra 1 (Tensão de Ruptura MPa)	Amostra 2 (Tensão de Ruptura MPa)	Média (Tensão de Ruptura MPa)
CP A (Sem Fibras)	23,1	22,7	22,9
CP B (30% Fibras)	27,1	22,8	24,95
CP C (50% Fibras)	31,5	28,5	30,0
CP D (70% Fibras)	29,5	31,5	30,5

Fonte: GONÇALVES (2019), adaptado pelo autor.

Para Gonçalves (2019), a baixa resistência a compressão obtido pelo corpo de prova C em sua pesquisa foi gerado por erros de execução durante os ensaios, observa – se na Tabela 8 que mesmo com 50% de adição de fibras o corpo de prova C obteve um resultado menor que o corpo de prova A onde não teve a adição de fibras.

Tabela 9 - Comparação de resultados com cura de 28 dias.

Corpo de Prova	Amostra 1 (Tensão de Ruptura MPa)	Amostra 2 (Tensão de Ruptura MPa)	Média (Tensão de Ruptura MPa)
CP A (Sem Fibras)	17,12	23,3	20,21
CP B (30% Fibras)	22,29	18,62	20,46
CP C (50% Fibras)	16,98	18,62	17,8
CP D (70% Fibras)	22,08	22,55	22,32

Fonte: GONÇALVES (2019), adaptado pelo autor.

Costa (2021) traz nos resultados que quando aumenta – se a relação água/cimento, a resistência também aumenta, essa observação já foi apresentada por Santos (2020), assim o autor conclui que com a adição das fibras o concreto passa a ser um material com um comportamento pseudo-dúctil,

devido ao aumento da ductilidade. Assim ocasionando melhorias no concreto como a resistência a tração, a fadiga, resistência ao impacto e a tenacidade, podendo as fibras serem usadas como reforço complementar juntamente ao concreto.

Nota – se que o concreto com relação água/cimento (a/c) de 0,48 não obteve aumento na resistência se comparado com o traço com relação água/cimento (a/c) com o acréscimo de aditivos, para Costa (2021) as amostras sem reduções de água obtiveram uma maior resistência a compressão, com acréscimo de 30,7%. As dosagens constituintes, garantiram a tratabilidade em dois traços, um de 1:2:3 (para obras de responsabilidade) e 1:2:2,5 assim foi possível comparar os resultados.

Tabela 10 - Dosagens utilizadas na pesquisa por Costa (2021).

Corpos de prova	Resistência média do concreto (MPa) Sem fibras	Resistência média do concreto (MPa) Com Fibras	Acréscimo/redução (MPa)	Percentual de acréscimo/redução
s/ fibras/ 28 dias de cura/ 25MPa/ a/c = 0,6/ 3 amostras	20,4		-	-
30 kg/m ³ / 28 dias de cura/ 25MPa / a/c=0,48 / 3 amostras	-	15,3	-5,1	-33%
*s/ fibras/ 7 dias de cura/ 30MPa a/c = 0,54 / 2 amostras	11,03	-	-	-
30 kg/m ³ / 7 dias de cura/ 30MPa /a/c=0,54 / 2 amostras		14,41	+3,38	+30,7 %
40 kg/m ³ / 7 dias de cura/ 30 MPa / a/c=0,54 / 2 amostras		11,93	+0,9	+8,25 %

Fonte: COSTA (2021), adaptado pelo autor.

Na pesquisa de Vitor (2021), foi notório assim como de Gonçalves (2019) que não há necessidade de grandes adições de fibras, nota – se na Tabela 11 que a variação entre a adição de fibras é baixa, assim consequentemente a resistência a compressão também varia pouco entre elas como observa – se na Tabela 12, se analisar o traço de referência para o traço C onde houve adição de 2% de fibras, obteve uma variação de 2,32 de MPa.

Tabela 11 - Dosagens utilizadas na pesquisa de Vitor (2021).

Traço	%Fibra	CPC 1 (tf)	CPC 2(tf)	CPC 3 (tf)	CPC 4(tf)	Carga Média (MPa)	Resistência a compressão (MPa)
Traço A	0	19,82	19,35	27,36	21,53	22,02	28,03
Traço B	1	20,16	21,46	20,66	21,37	20,91	26,63
Traço C	2	21,8	21,01	17,44	20,52	20,19	25,71
Traço D	3	18,3	24,54	23,4	20,71	21,74	27,68
Traço E	5	25,61	20,09	24,73	22,55	23,25	29,6

Fonte: VITOR (2021), adaptado pelo autor.

Tabela 12 - Comparativo dos resultados.

TRAÇO	% FIBRAS	Tensão média (MPa)	Variação em relação a referência(MPa)
A - Referencia	0	28,03	0
B	1	26,63	1,4
C	2	25,71	2,32
D	3	27,68	0,35
E	5	29,6	1,57

Fonte: VITOR (2021), adaptado pelo autor.

Vitor (2021) traz consigo nos resultados que a baixa resistência no traço D mesmo com a adição de fibras foi causada pela má execução do ensaio, observa- se que a partir de 2% de adição de fibras as adições posteriores não há diferenças significativas no ganho de resistência.

9.2 RESISTENCIA À FLEXÃO

A resistência a flexão está diretamente ligada a geometria de uma seção transversal da peça, as deformações geralmente ocorrem na extremidade inferior da peça.

Na pesquisa de Santos (2020) na Tabela 13 mostra que a média dos deslocamentos no momento de ruptura foi de 0,276 mm, um valor baixo, isso aponta baixa ductilidade do material e assim, consequentemente, baixa

resistência relacionada a tração causada pela flexão, já na Tabela 14 é perceptível que a média do deslocamento subiu para 0,63mm mostrando um acréscimo de ductilidade da peça. Essas características já foram estabelecidas por Gamino (2003 apud Santos 2020), onde afirma que com uma maior ductilidade, o concreto pode experimentar deformações inelásticas sem a redução de sua capacidade resistente, alcançando a ruptura após um maior acúmulo de energia, isto é, o concreto atinge uma maior capacidade de se deformar antes que a ruptura ocorra.

Tabela 13 - Comparativo de resultados de vigas sem fibras de aço.

Viga	Velocidade de ensaio (MPa/s)	Carga Máxima (KN)	Deslocamento momento Ruptura (mm)	Local da Fissura (cm)
1	1	19,65	-	x = 13
2	0,5	16,55	0,28	x = 25 (Entalhe)
3	0,5	14,85	0,32	x = 25 (Entalhe)
4	0,5	17,25	0,23	x = 25 (Entalhe)
	Média	17,07	0,276	

Fonte: SANTOS (2020), adaptado pelo autor.

Tabela 14 - Comparativo de resultados de vigas com fibras de aço.

Viga	Velocidade de Ensaio (MPa/s)	Carga Máxima (kN)	Tempo de Ensaio (s)	Deslocamento momento Ruptura (mm)	Local da Fissura (cm)
5	1	26,5	182,47	-	x = 30,5
6	0,5	20,75	297,2	0,45	x = 25 (Entalhe)
7	0,5	17,55	248,71	0,68	x = 25 (Entalhe)
8	0,5	21,7	244,55	0,77	x = 25 (Entalhe)
	Média	21,62	243,23	0,63	

Fonte: SANTOS (2020), adaptado pelo autor.

Para Santos (2020), comparando os resultados obtidos, pode-se constatar que a média do pico de carga apresentado nos ensaios de vigas com fibras de aço é 26,6% superior em relação às vigas sem fibras de aço. Tal valor é consideravelmente alto, visto que o teor de fibras adicionados no compósito foi de apenas 0,25% em relação ao volume.

Medeiros (2020), em sua pesquisa analisando a influência das fibras de aço, e mostrado na tabela 15, percebe que a incorporação de 7% das fibras nos Grupos 2 e 3, trouxe um aumento de 12,54% e 16,7%, respectivamente, para o

início da fissuração quando comparado ao grupo 1. Com relação a carga máxima tivemos um aumento de 14,6% para o grupo 2 e 18,76% para grupo 3.

Com o aumento do volume de fibras para 14%, pode ser notado que resistência a primeira fissura, tenacidade e ductilidade foram melhoradas e claramente aumentadas tendo como os seguintes resultados: 116,7% e 137,57% de aumento na resistência a primeira fissura para o grupo 4 (sem armadura transversal) e grupo 5 (com armadura transversal), respectivamente. Enquanto a carga máxima chegou a 37,52% para o prisma grupo 4 e 58,34% para o grupo 5.

Tabela 15 - Comparativo de resultados.

Grupos	Carga primeira fissura (kN)	Carga máxima (kN)
Grupo 1	23,53	47,07
Grupo 2	26,48	53,94
Grupo 3	27,46	55,90
Grupo 4	50,99	64,73
Grupo 5	55,90	74,53

Fonte: Medeiros (2020), adaptado pelo autor.

10 CONCLUSÃO

Os resultados da presente pesquisa, indicam a viabilidade das fibras de aço adicionadas no concreto, assim tornando-as uma possível alternativa para melhoria e ganho de resistências nas estruturas da construção civil. Nota-se que a falta de uma padronização normativa para a utilização das fibras de aço em concreto, acaba trazendo discrepância e variação na metodologia utilizada para execução dos concretos, em sua dosagem, relação água/cimento, porcentagem de fibras adicionadas entre outros parâmetros para a elaboração dos corpos de prova e respectivamente os resultados obtidos pelos autores.

Conclui-se que é possível produzir concretos com boas resistências, com diferentes porcentagens de fibra de aço em sua composição sem que suas propriedades mecânicas e de durabilidade sejam prejudicadas.

Percebe-se que mesmo não havendo padronização normativa e variação na execução entre os autores, obtiveram-se êxito em nas pesquisas, assim conclui-se que a adição de fibras melhora os resultados na resistência

tanto a compressão quanto a flexão, mas é válido afirmar a necessidade de estudos mais aprofundados.

Através das pesquisas, foi possível estabelecer que o aumento da ductibilidade está diretamente relacionado com a adição das fibras, mas deve se atentar a utilização desse concreto uma vez que mesmo a adição de fibras promovendo um melhor controle da fissuração, ainda há a possibilidade do surgimento delas.

Por fim, fica evidente com esse trabalho que existem várias técnicas e procedimentos para se adotar em um reforço de concreto, e que a cada dia são desenvolvidas novas técnicas e aperfeiçoadas as já existentes, seja na quantidade de fibras adicionadas ou metodologias para melhor desempenho do material quando usado em concreto armado, portanto, toda e quaisquer pesquisas que ajudem a difundir essa técnica na indústria da construção civil tem sua importância e deve ser incentivada, para que no futuro, melhorias possam ser realizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 256 p, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530: Fibras de aço para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2019, p. 7.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto — Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2014. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto — Determinação da Resistência à Tração na Flexão de Corpos de Prova Prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 7500-1: materiais metálicos calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial**. Parte 1: máquinas de ensaio de tração/compressão- calibração do sistema de medição da força, 2016.

ARAÚJO, D. L.; NUNES, F. G. T.; FILHO, R. D. T.; ANDRADE, M. A. S. Shear strength of steel fiber-reinforced concrete beams. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 36, n. 3, p. 389-397, Jul-Set. 2014.

ARAÚJO, D L; DANIN, A R; MELO, M B; RODRIGUES, P F. Influence of steel fibers on the reinforcement bond of straight steel bars. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 6, n. 2, p. 307-338, 2013.

ARAÚZ, A.C. **Resistência ao Cisalhamento de Vigas de Concreto Armado Reforçado com Fibras de Aço**. 2002. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

ASHOUR, S.A., HASANAIN, G.S., WAFA, F.F. Shear behavior of high strength fiber reinforced concrete beams. **ACI Structural Journal**. 89(2), p. 176–184, 1992.

BAKAERT N.V. **Reforço para concreto projetado**, Informe Técnico: Dramix®. 2019.

BARBOSA BIANCHI, João Victor; TOMMASELLI, Maria Aparecida G. **Influência da adição de fibras de aço de concreto em elementos de concreto estrutural**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal da Grande Dourados, p. 1-20, 1 ago. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2339/1/JoaoVictorBarbosaBianchi.pdf> Acesso em: 17 de Agosto de 2021.

BENTUR, A; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. London and New York: Elsevier Applied Science, 1990, 445 p.

BRAZ, Mariane C. A.; NASCIMENTO, F. B. C. Concreto Reforçado Com Fibras De Aço. **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 3, n.1, p. 43-56, nov. 2015.

CARVALHO, Roberto Chust, and Jasson Rodrigues de FIGUEIREDO FILHO. **"Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2014."** São Carlos: EdUFSCar (2014).

CHUNXIANG, Q; PATNAIKUNI, Indubhushan. Properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete beams in bending. **Cement and Concrete Composites**, v. 21, n. 1, p. 73-81, 1999.

COSTA, Ualison Felipe Soares; OLIVEIRA, Ricardo Fonseca de. **Resistência a compressão do concreto reforçado com fibras de aço.** GETEC, v.10, n.30. GETEC, v.10, n.30, [S. l.], p. 1-10, 8 set. 2021.

CUCCHIARA, C., LA MENDOLA, L., PAPIA, M. Effectiveness of stirrups and steel fibres as shear reinforcement. **Cement & Concrete Composites**, vol 26, p 777-786, 2004.

DE OLIVEIRA JR, Luiz Alvaro; ARAÚJO, D. L; FILHO, R. D. T; ANDRADE, M. A. S; FAIRBAIRN, Moraes R. Tension stiffening of steel-fiber-reinforced concrete/Análise do regime pós-fissuração do concreto armado reforçado com fibras de aço. **Acta Scientiarum Technology**. v. 38, n. 4, p. 455-464, 2016.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de; HELENE, Paulo RL. Parâmetros de controle e dosagem do concreto projetado com fibras de aço. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 1. Ed. 2011. 1968 f.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Parâmetros de controle e dosagem do concreto projetado com fibras de aço.** 1997. 362 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2011

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia e Construção Civil. 68 p. São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras**. IBRACON. Concreto: ensino, pesquisa e realidade. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto. Cap. 39, p 1195- 1225. 2005.

GARCEZ, Estela Oliari. **Análise teórico-experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço quando submetidos a cargas de impacto**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Modalidade Acadêmico) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GONÇALVES, Bruno Henrique. LIMA, Glauco Francisco de. GONÇALVES, Bruno Henrique. **Comportamento do concreto reforçado com fibras de aço carbono: resistência à compressão e tração por compressão diametral**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 04, Vol. 06, pp. 83-131. Abril de 2019.

JAMES I, Daniel. **State-of-the-Art Report on fiber Reinforced Concrete**: Reported by ACI Committee 544. American Concrete Institute, 2001.

MEDEIROS, Filipe Teixeira *et al.* **influência da incorporação de fibras de aço em vigas de concreto armado submetidas ao cisalhamento**. ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO - VOL.2 , [S. l.]. 2020.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Ed. Pini, p.573, 1994.

MEHTA, P. & MONTEIRO, **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**, . São Paulo, Ed. Pini, 2014.

MORANVILLE-REGOURG, M. **Microstructure of high performance concrete.** In: **MALIER, Y. High Performance Concrete** – from material to structure. London, E. & FN Spon, p. 3-13, 1992.

MORENO JÚNIOR, A. C.; VEDOATO, A. P. Resistência ao cisalhamento de vigas de concreto reforçado com fibras de aço. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, Campinas, vol. 4, nº 5, p 784 – 791, dez. 2011.

NAKAMURA, Juliana. **Concreto reforçado com fibras dispensa o uso de armaduras.** AECweb Buscar produtos, fornecedores e serviços, 2009.. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/concreto-reforcado-com-fibras-dispensa-o-uso-de-armaduras/19432>. Acesso em: 01 de setembro de 2021.

NUNES, N. L.; AGOPYAN, V.; **Mecanismo de ação das fibras de aço.** – Escola Politécnica da USP, Departamento de Construção Civil 1998. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/126.pdf>>. Acesso em: 10 de Agosto de 2021.

OH, Byung Hwan. Flexural analysis of reinforced concrete beams containing steel fibers. **Journal of structural engineering**, v. 118, n. 10, p. 2821-2835, 1992.

PEREIRA, Eric Valloti. **Influência de Fibras de Aço no Comportamento Mecânico e nos Mecanismos de Fissuração de Concretos Autoadensáveis.** 2017. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

RICARDO FERREIRA. **Materiais constituintes do concreto.** 40 slides. Material apresentado para a disciplina de Materiais de Construção no Curso de Engenharia Civil da PUC Goiás. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_maco2_02_cimento.pdf>. Acesso em: 18 de Agosto de 2021.

SALVADOR, R. P.; FIGUEIREDO, A. D. Análise Comparativa De Comportamento Mecânico De Concreto Reforçado Com Macrofibra Polimérica E Com Fibra De Aço. **Revista Matéria**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 1273 – 1285, 2013.

SCHNEIDER , Nelso. **Fck do concreto**: o que é, como é obtido e quais são as recomendações normativas?.Nelso Scheider 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/fck-do-concreto/> Acesso em: 25 de Setembro de 2021.

SONG, P. S.; HWANG, S. Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v. 18, n. 9, p. 669-673, 2004.

SANTOS, Valquiria Claret dos *et al.* Vigas de concreto reforçado com fibras de aço submetidas à flexão. **REEC - Revista eletrônica de engenharia civil** , [S. l.], , 11 maio 2020.

THOMAS, Job; RAMASWAMY, Ananth. Mechanical properties of steel fiber-reinforced concrete. **Journal of materials in civil engineering**, v. 19, n. 5, p. 385-392, 2007.

TORRES, Benedetty. **Análise experimental e numérica do comportamento de vigas de concreto armado com adição de fibras de aço**. 2018. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas, Campinas, 2018.

TORRES, HUMBERTO. **Influência do teor de fibras de aço no comportamento ao atrito - cisalhamento de concretos com agregados reciclados**. Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), p. 1-163, 1 de Fev de 2019.

VANDEWALLE, Lucie. Cracking behaviour of concrete beams reinforced with a combination of ordinary reinforcement and steel fibers. **Materials and structures**, v. 33, n. 3, p. 164-170, 2000.

VITOR, Igor Meireles *et al.* **Análise das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com a adição de fibras de aço**. Brazilian Journal of Development , [S. l.], p. 1/100, 8 set. 2021.

Watanabe, p. s. **Concretos especiais: propriedades, materiais e aplicações**. Bauru, 2008. 192f. Relatório final de pesquisa (Bolsa de Iniciação Científica FAPESP) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2008. Disponível em: [file:///C:/Users/Downloads/2638-Texto%20do%20artigo-8271-1-10-20151204%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Downloads/2638-Texto%20do%20artigo-8271-1-10-20151204%20(3).pdf) Acesso em: 17 de Agosto de 2021.