

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS MACAPÁ

LORENA MARÍLIA COSTA CARVALHO
TATIANA FERREIRA PARISI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FIBRA DE AÇO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO
CONCRETO**

MACAPÁ – AP
2026

LORENA MARÍLIA COSTA CARVALHO
TATIANA FERREIRA PARISI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FIBRA DE AÇO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Natasha Cristina da Silva Costa.

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- C331a Carvalho, Lorena Marília Costa
 Análise da influência da fibra de aço na resistência mecânica do concreto / Lorena Marília Costa Carvalho, Tatiana Ferreira Parisi. - Macapá, 2025.
 30 f.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Bacharelado em Engenharia Civil, 2025.
- Orientadora: Dra. Natasha Cristina da Silva Costa.
1. Uso de fibras de aço no concreto. 2. Influência do tipo de agregado (brita e seixo). 3. Resistência e tenacidade do concreto. I. Parisi, Tatiana Ferreira. I. Costa, Dra. Natasha Cristina da Silva , orient. II. Título.
-

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do
IFAP com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).


LORENA MARÍLIA COSTA CARVALHO
TATIANA FERREIRA PARISI

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FIBRA DE AÇO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Natasha Cristina da Silva Costa.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 NATASHA CRISTINA DA SILVA COSTA
Data: 17/01/2026 21:48:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Natasha Cristina da Silva Costa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 ELNATAN LINS DA COSTA
Data: 19/01/2026 11:58:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Elnatan Lins da Costa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 RODRIGO FRANCKLIN LOPES FIGUEIREDO
Data: 17/01/2026 11:23:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Rodrigo Francklin Lopes Figueiredo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 11/12/2025
Conceito/Nota: 90

Dedico este trabalho a Deus, pelo dom da vida e pela força que me sustentou em cada etapa desta trajetória. Aos meus pais, Mayra Monteiro e Cleber Del Castillo, manifesto minha mais profunda gratidão pelo amor, cuidado e por todos os sacrifícios que fizeram para que eu tivesse acesso às oportunidades de estudo e crescimento. E, à minha estrela no céu, minha querida avó Cyara Monteiro, dedico este trabalho com todo o amor e saudade que me habitam. Você sempre acreditou no meu potencial e sonhou com o meu sucesso antes mesmo que eu pudesse enxergá-lo. Gostaria que estivesse aqui, mas sei que sua presença me acompanha de outras formas. Sua memória segue iluminando meus passos e fortalecendo meu coração.

Lorena Carvalho

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me deu força, sabedoria e coragem, e aos meus pais, que nunca deixaram de acreditar em mim.

Tatiana Parisi

AGRADECIMENTOS

À nossa querida orientadora, Dr^a Natasha Cristina, cuja inteligência, profissionalismo e generosidade nos acompanharam em cada etapa. Agradecemos por acreditar em nós, inclusive nos momentos de dúvida, agradecemos por sua dedicação, disponibilidade e paciência constante em nos orientar ao longo dessa caminhada. Guardamos uma admiração profunda e uma gratidão que levaremos para toda a vida. Você é, e sempre será, uma fonte de inspiração para nós.

Ao nosso amigo e colega acadêmico João Vitor Quintas, cuja parceria foi essencial ao longo deste processo. Somos profundamente gratas por sua presença constante no laboratório, pela disposição em dividir o trabalho, o cansaço e as ideias, e por compartilhar tanto o esforço físico quanto o mental para que este estudo se concretizasse. Muito obrigada por tudo.

RESUMO

Este trabalho experimental investiga o efeito da adição de fibras de aço nas propriedades mecânicas do concreto dosado com diferentes tipos e dimensões de agregados graúdos. A metodologia envolveu a confecção e ensaio de corpos-de-prova prismáticos para avaliação à flexão e cilíndricos para controle de resistência à compressão, com base nas normas ABNT, realizando uma análise comparativa entre os concretos. Quanto ao tipo, foram utilizados o seixo rolado e a pedra britada. Quanto às dimensões, utilizou-se seixo rolado e brita com d_{max} igual a 12,5 mm. Foram avaliadas três dosagens, destas, uma dosagem de referência, ou seja, sem fibra de aço e 2 dosagens com os diferentes agregados graúdos, foco deste estudo. Os resultados indicaram que a incorporação de fibras de aço promoveu incrementos significativos na tenacidade das peças, alterando o comportamento de frágil para dúctil. Enquanto a resistência à compressão apresentou variações menos expressivas. Além disso, observou-se que o tipo de agregado influenciou no desempenho mecânico, com a brita apresentando um pico de resistência superior ao concreto dosado com seixo rolado.

Palavras-chave: concreto; fibras; agregados; tenacidade.

ABSTRACT

This experimental work investigates the effect of adding steel fibers on the mechanical properties of concrete mixed with different types and sizes of coarse aggregates. The methodology involved the preparation and testing of prismatic specimens (for flexural evaluation) and cylindrical specimens (for compressive strength control), based on ABNT standards, performing a comparative analysis between the concretes. Regarding the type, rolled pebbles and crushed stone were used. Regarding dimensions, rolled pebbles and crushed stone with a d_{max} of 12.5 mm were used. Three mix designs were evaluated: one reference design, i.e., without steel fiber, and two designs with different coarse aggregates, the focus of this study. The results indicated that the incorporation of steel fibers promoted significant increases in the toughness of the pieces, changing the behavior from brittle to ductile. Compressive strength showed less pronounced variations. Furthermore, it was observed that the type of aggregate influenced the mechanical performance, with crushed stone showing a higher peak strength than the concrete mixed with rolled pebbles.

Keywords: concrete; fibers; aggregates; toughness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da concentração de tensões no concreto sem fibras (a) e concreto com fibras de aço (b), destacando a redução da concentração de tensões e o controle da fissuração com a adição de fibras.	16
Figura 2 – Aspecto dos agregados graúdos	19
Figura 3 – Confeção dos CPS prismáticos.	20
Figura 4 – Preparação dos CPs prismáticos para ruptura.	20
Figura 5 – Aspecto do concreto dosado sem fibra de aço.....	21
Figura 6 – Aspecto do concreto dosado com fibra de aço.....	21
Figura 7 – Aspecto das fibras de aço utilizadas.	22
Figura 8 – Betoneira utilizada na produção dos traços de concreto.....	23
Figura 9 – Resultados dos ensaios de compressão dos CPs cilíndricos.....	25
Figura 10 – Esquema da ação das fibras no controle de fissuras.....	25
Figura 11 – Comparação do comportamento para os CPs prismáticos.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos Corpos-de-Prova	18
Tabela 2 – Dados de massas específicas dos agregados.	19
Tabela 3 – Quantidade de materiais utilizados na dosagem dos concretos.....	23
Tabela 4 – Resultados para o ensaio de compressão dos concretos.....	24
Tabela 5 – Estimativa de resistência à tração	24
Tabela 6 – Resultados da resistência à tração na flexão.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Gerais	14
2.2	Específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Interação entre a matriz de concreto e a fibra de aço	15
3.2	Resistência à tração na flexão	16
4	METODOLOGIA	17
4.1	Materiais utilizados	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5.1	Resistência à compressão e à tração	23
5.2	Carga e deslocamento	24
5.3	Cálculo da tração na flexão	26
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

O concreto se destaca como o material mais utilizado no mundo, mas sua produção tradicional implica elevado consumo de energia e emissões de CO₂, principalmente devido à fabricação do cimento Portland (Mehta; Monteiro, 2014). Além disso, sua baixa resistência à tração e comportamento frágil limitam sua aplicação em estruturas submetidas a cargas dinâmicas ou expostas a intempéries.

A incorporação de fibras de aço no concreto surge como uma alternativa promissora para melhorar suas propriedades mecânicas, aumentando sua tenacidade, o que pode reduzir a necessidade de reparos e, conseqüentemente, o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida das estruturas (Bentur; Mindess, 2007). O uso de agregados locais, como o seixo rolado, pode diminuir os custos de transporte e a pegada de carbono associada à extração de brita (John, 2020).

A resistência mecânica é um dos parâmetros mais críticos no projeto de estruturas de concreto, pois define sua capacidade de suportar cargas estáticas e dinâmicas ao longo do tempo. Estruturas como pavimentos industriais, túneis e edificações em zonas sísmicas exigem materiais com alta ductilidade e resistência à fadiga (Committee, 2018). Nesse sentido, o uso de fibras de aço pode reduzir a necessidade de armaduras tradicionais, simplificar processos construtivos e aumentar a vida útil das estruturas (Singh; Singh, 2016).

Estudos anteriores demonstram que a adição de fibras metálicas ao concreto pode melhorar suas propriedades mecânicas. Pesquisas pioneiras comprovaram o efeito das fibras na contenção da propagação de fissuras (Romualdi; Batson, 2016). Trabalhos mais recentes investigam a influência de variáveis como tipo, geometria e teor de fibras na resistência à tração e compressão (Yazici, 2007). Entretanto, ainda há discussões sobre a dosagem ideal e a interação entre fibras e aditivos modernos, indicando a necessidade de pesquisas complementares.

A hipótese central é que as fibras de aço podem aumentar a tenacidade do concreto com seixo rolado. Neste trabalho, propõe-se a análise comparativa do comportamento do concreto com diferentes tipos de agregado, com e sem adição de fibras de aço, incluindo a avaliação do comportamento pós-pico em ensaios à flexão.

O estudo verificou que a adição de fibras de aço promoveu uma alteração no comportamento de seixo, transformando-o de frágil para dúctil. Houve um notável incremento na tenacidade e na resistência à tração na flexão, com o CP prismático

com seixo e fibra (VSCF) atingindo 6,49 MPa, um aumento de 149% em relação ao concreto de seixo sem fibra (VSSF), que obteve 3,04 MPa, o que evidencia o potencial da fibra metálica como alternativa técnica viável para otimizar o desempenho estrutural do concreto, especialmente em aplicações que requerem maior controle de fissuração e tenacidade.

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia empregada neste estudo fundamentou-se em uma abordagem experimental e comparativa. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o concreto reforçado com fibras de aço, sua interação com a matriz cimentícia, e a influência do tipo de agregado. Em seguida procedeu-se à etapa experimental, onde foram confeccionados e ensaiados corpos de prova cilíndricos para o controle de resistência à compressão e corpos-de-prova prismáticos para ensaios de tração na flexão. A escolha de análise comparativa foi crucial para isolar e avaliar o efeito direto da fibra de aço na tenacidade e na mudança de comportamento do concreto, especialmente o dosado com seixo rolado. O comportamento pós-pico de carga em ensaios à flexão foi o principal parâmetro de avaliação para quantificar a capacidade de deformação e tenacidade conferida pelas fibras.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência das fibras de aço nas propriedades mecânicas do concreto, comparando dois tipos de agregados graúdos: brita e seixo rolado com d_{max} igual a 19 mm.

2.2 Específicos

Analisar comparativamente o comportamento mecânico do concreto produzido com brita e com seixo rolado, considerando a presença e a ausência de fibras de aço, avaliando a influência dessas fibras na resistência à tração na flexão e na tenacidade do material. Investigar a alteração do comportamento do concreto com seixo rolado, verificando a transição de um comportamento predominantemente frágil para dúctil decorrente da incorporação das fibras de aço. Avaliar o comportamento pós-pico de carga em ensaios de tração na flexão, visando quantificar a capacidade de deformação e absorção de energia do concreto reforçado com fibras. Por fim, verificar o potencial técnico do uso de fibras de aço como alternativa viável para a otimização do desempenho estrutural do concreto, especialmente em aplicações que demandam maior controle de fissuração e maior tenacidade.

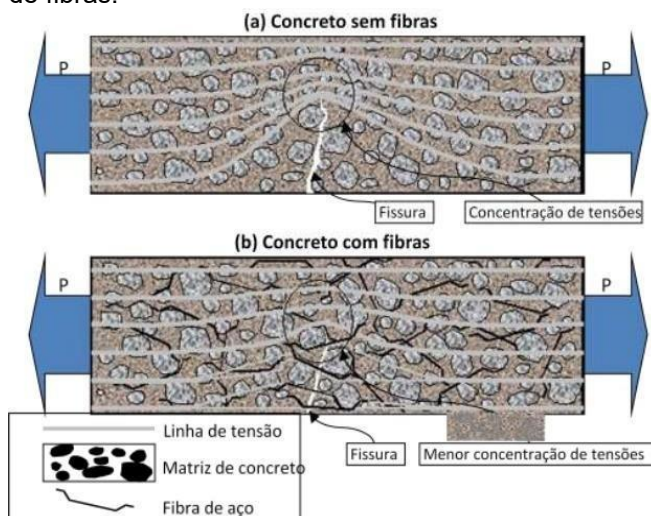
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Interação entre a matriz de concreto e a fibra de aço

“Ao analisar microscopicamente o concreto, observa-se 3 fases: uma fase descontínua composta pelos agregados graúdos, uma fase contínua composta pela argamassa de base cimentícia e uma fase chamada zona de transição. A capacidade de resistência à tração no concreto é reduzida, pois o concreto não é capaz de interromper a propagação das fissuras para este tipo de solicitação. Isto é particularmente intenso quando a direção de propagação das fissuras é transversal à direção principal de tensão, pois assim que se propicia uma nova fissura, elas tendem a se unir” (Mehta; Monteiro, 2008). “A ruptura na tração é causada por algumas fissuras que se unem e não por numerosas fissuras como ocorre quando o concreto é comprimido” (Freitas, 2012, p. 48).

Uma das características do reforço utilizando fibra de aço é a distribuição destas fibras na matriz de concreto, reforçando toda a peça. Na Figura 1, exemplifica-se o caminho que as tensões tendem a formar em concretos com e sem reforço com fibra de aço, sendo esta configuração que assegura uma menor fissuração nas peças de concreto reforçadas com fibra de aço.

Figura 1 – Esquema da concentração de tensões no concreto sem fibras (a) e concreto com fibras de aço (b), destacando a redução da concentração de tensões e o controle da fissuração com a adição de fibras.



Fonte: Figueiredo (2011).

3.2 Resistência à tração na flexão

Conforme a ABNT NBR 12142:2010, a resistência à tração na flexão deve ser calculada de acordo com a seguinte equação, exemplificada pela equação [1]:

$$f_{ct,f} = \frac{F.l}{b.d^2} \quad [1]$$

Onde:

$f_{ct,f}$ é a resistência à tração na flexão;

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

l é a dimensão do vão entre os apoios, expressa em mm;

b é a largura média do corpo-de-prova, expressa em mm;

d é a altura média do corpo-de-prova, expressa em mm.

4 METODOLOGIA

O programa experimental foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal do Amapá – Campus Macapá, onde foram confeccionados três corpos-de-prova (CPs) prismáticos e nove corpos-de-prova cilíndricos. Os CPs prismáticos possuíam as seguintes dimensões: (150 x 150) mm x 500 mm e foram divididos em dois grupos contendo dois CPs prismáticos cada grupo, de acordo com a inserção de fibra de aço. E para cada CP prismático foram confeccionados três CPs cilíndricos de dimensões 100 x 200 mm para o controle de resistência à compressão. Esclarece-se que os valores de resistência à tração do concreto não foram obtidos por meio de ensaio experimental direto. Esses valores foram estimados conforme prescrições normativas, com base na ABNT NBR 6118, a partir dos resultados de resistência à compressão.

Ressalta-se, portanto, que o ensaio específico de tração não foi realizado, sendo a resistência à tração utilizada apenas como parâmetro estimativo para fins de análise e comparação dos resultados. A Tabela 1 apresenta as características dos CPs prismáticos confeccionados. O traço de concreto utilizado foi 1:1,7:2,3 utilizando fator água/cimento (a/c) igual a 0,45.

Tabela 1 – Características dos Corpos-de-Prova.

Grupo	CP	Seção (mm)	Comprimento (mm)	Tipo de agregado	Fibra de aço
1	1	150 x 150	500	Brita	Não
2	2			Seixo	Não
3	3			Seixo	Sim

Fonte: Elaborado pelas autoras.

No quadro 1, apresenta-se a nomenclatura dos corpos-de-prova prismáticos ensaiados.

Quadro 1 – Nomenclatura adotada para os diferentes tipos de CPs prismáticos.

Nomenclatura Adotada	Concreto fabricado
VBSF	Vigota com brita sem fibra
VSSF	Vigota com seixo sem fibra
VSCF	Vigota com seixo com fibra

Fonte: Elaborado pelas autoras.

4.1 Materiais utilizados

Para a produção do concreto, foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland do tipo CP II-E-32, conforme especificado na norma ABNT NBR 16697: 2018; agregados constituídos por areia média, de acordo com a ABNT NBR 7211: 2022, e brita basáltica, conforme a ABNT NBR 9935: 2024. Foram utilizadas fibras de aço do tipo A; e água potável, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 15900-3: 2009. Na Tabela 2, apresentam-se as massas específicas dos agregados graúdo e miúdo utilizados.

Tabela 2 – Dados de massas específicas dos agregados.

Material	Massa Específica (g/cm ³)
Seixo	2,65
Brita	2,75
Areia	2,60

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na Figura 2, apresenta-se o aspecto dos agregados graúdos utilizados; na Figura 3, o processo de confecção dos concretos com o preenchimento dos CPs prismáticos; e na Figura 4, apresenta-se a preparação das vigas prismáticas para o ensaio de 4 pontos. Para o concreto com fibra, adicionou-se aditivo plastificante, visando melhorar a trabalhabilidade do concreto.

Figura 2 – Aspecto dos agregados graúdos.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 3 – Confeção dos CPS prismáticos.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 4 – Preparação dos CPs prismáticos para ruptura.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

A avaliação da consistência e da trabalhabilidade do concreto fresco foi realizada por meio do ensaio de abatimento Slump Test, seguindo as diretrizes da ABNT NBR NM 67. O procedimento consistiu no preenchimento de um molde metálico em três camadas de alturas aproximadamente iguais, sendo cada camada compactada com 25 golpes de haste metálica padrão. Após a compactação da última camada e o rasamento da superfície, o molde foi retirado verticalmente. O abatimento foi determinado pela diferença de altura entre o molde e o eixo central da massa de concreto assentada, permitindo a verificação visual da coesão e da plasticidade das misturas. Para o concreto de referência sem fibras de aço, conforme ilustrado na Figura 5, obteve-se um abatimento de 6,5 cm, evidenciando a coesão da mistura padrão.

Figura 5 – Aspecto do concreto dosado sem fibra de aço.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Já para o concreto reforçado com fibras, a trabalhabilidade apresentou comportamento distinto. Conforme pode ser observado na Figura 6, o abatimento registrado foi de 14 cm, demonstrando a influência do aditivo plastificante na fluidez da mistura.

Figura 6 – Aspecto do concreto dosado com fibra de aço.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

As fibras de aço utilizadas foram do tipo A (fibras com ancoragem na extremidade) de acordo com a ABNT NBR 15530: 2019, e foram misturadas na

proporção de 40 kg/m³ de concreto. As fibras de aço foram incorporadas à mistura somente após a homogeneização inicial dos materiais constituintes, ou seja, após a completa mistura do cimento, da areia, da água e dos agregados graúdos na betoneira. Após a adição das fibras, a mistura permaneceu em processo de agitação por aproximadamente dois minutos, garantindo a adequada dispersão das fibras na matriz cimentícia e a uniformidade do concreto produzido.

A Figura 7 apresenta o aspecto das fibras utilizadas, classificadas como fibras do Tipo A, produzidas a partir de aço carbono trefilado a frio. As fibras possuem formato reto com extremidades ancoradas em forma de gancho, proporcionando ancoragem mecânica por meio da deformação nas pontas, o que contribui para uma melhor aderência à matriz cimentícia. Quanto às dimensões, as fibras apresentam comprimento geralmente variando entre 30 e 60 mm e diâmetro aproximado entre 0,5 e 1,0 mm.

Figura 7 – Aspecto das fibras de aço utilizadas.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

A Figura 8 apresenta o equipamento utilizado na mistura dos traços de concreto empregados neste estudo. Trata-se de uma betoneira elétrica basculante da marca CSM, com capacidade nominal do tambor de 400 litros e capacidade efetiva de mistura estimada entre 280 e 300 litros, características adequadas para a produção dos concretos experimentais.

Figura 8 – Betoneira utilizada na produção dos traços de concreto.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Na sequência, a Tabela 3 detalha o consumo de materiais por metro cúbico, apresentando as quantidades exatas de cimento, agregados e água para cada traço produzido.

Tabela 3 – Quantidade de materiais utilizados na dosagem dos concretos.

Material	Concreto com Seixo (kg/m ³)	Concreto com Brita (kg/m ³)	Concreto com Seixo e Fibra (kg/m ³)
Cimento	435,85	441,93	441,32
Areia	740,95	751,28	750,24
Seixo	1002,46	1016,44	1015,03
Brita	-	-	-
Água	196,13	198,87	198,59
Aditivo	0,36%	0,36%	0,36%
Fibra	-	-	40

Fonte: Elaborado pelas autoras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resistência à compressão e à tração

Para a determinação da resistência à compressão dos corpos-de-prova de concreto, foi realizado o ensaio de acordo com a ABNT NBR 5739: 2018. Os ensaios de compressão nos corpos-de-prova foram realizados no Laboratório da empresa CONSTRULAB ENGENHARIA por técnicos especializados. A Tabela 4 apresenta os valores obtidos nos ensaios experimentais.

Tabela 4 – Resultados para o ensaio de compressão dos concretos.

Especificação	Corpo de Prova	f_c (MPa)	f_c Adotado (MPa)
VBSF	CP1	41,6	43,9
	CP2	43,7	
	CP3	46,4	
VSSF	CP1	40,3	42,9
	CP2	45,1	
	CP3	43,2	
VSCF	CP1	41,7	41,4
	CP2	40,3	
	CP3	42,3	

Fonte: Elaborado pelas autoras.

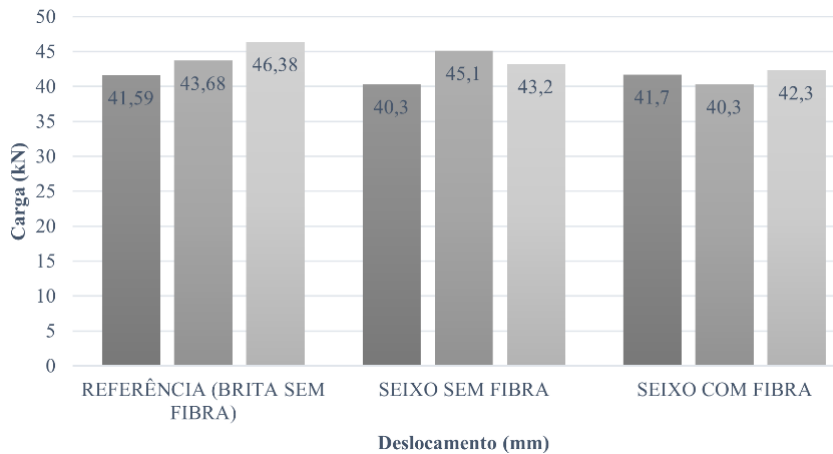
Os valores para resistência à tração do concreto foram estimados de acordo com a ABNT NBR 6118: 2023 e estão apresentados na Tabela 5. Na Figura 9, apresenta-se a comparação de todas as cargas de ruptura dos CPs cilíndricos utilizados para o controle de resistência à compressão.

Tabela 5 – Estimativa de resistência à tração.

Especificação	Corpo de Prova	f_{ct} (MPa)	f_{ct} Adotado (MPa)
VBSF	CP1	3,6	3,7
	CP2	3,7	
	CP3	3,9	
VSSF	CP1	3,5	3,7
	CP2	3,8	
	CP3	3,7	
VSCF	CP1	3,6	3,6
	CP2	3,5	
	CP3	3,6	

Fonte: Elaborado pelas autoras .

Figura 9 – Resultados dos ensaios de compressão dos CPs cilíndricos.

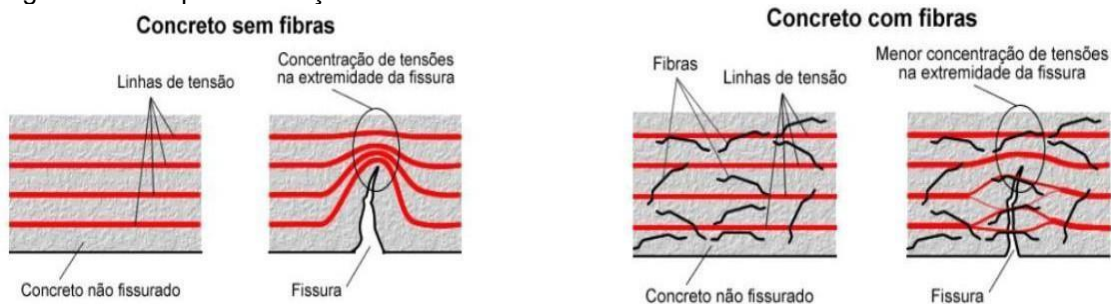


Fonte: Elaborado pelas autoras.

5.2 Carga e deslocamento

A adição de fibras de aço no concreto, controla a fissuração da matriz e modifica o comportamento frágil do concreto para um comportamento dúctil. Vale ressaltar que a adição de fibras não desempenha um papel estrutural direto, mas contribui para conferir um comportamento mais tenaz, proporcionando um período prolongado de resistência à ruptura, conforme uma análise feita por Barros (2009) apud Carneiro e Costa (2024), apresentada na Figura 10.

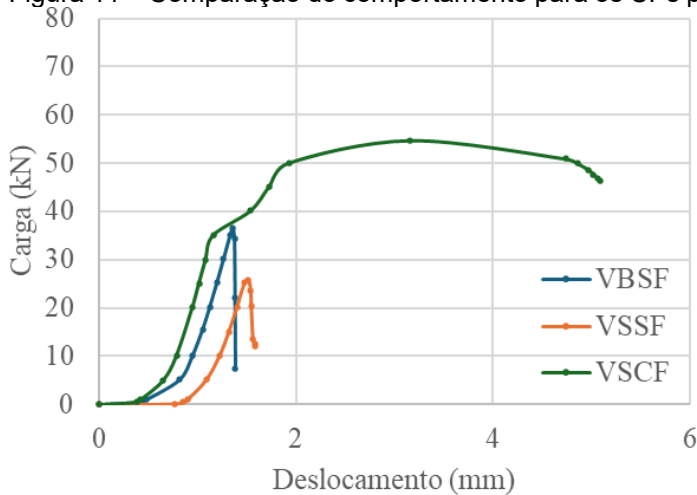
Figura 10 – Esquema da ação das fibras no controle de fissuras.



Fonte: Barros (2009) apud Carneiro e Costa (2024).

O gráfico de Carga x Deslocamento para os CPs prismáticos ensaiados é uma representação gráfica para a resistência residual de tração a partir de um ensaio à flexão. O estudo destes parâmetros é importante, pois são utilizados no dimensionamento à flexão e ao corte de peças reforçadas com fibra de aço. A Figura 11 apresenta o gráfico de Carga x Deslocamento para os prismas ensaiados.

Figura 11 – Comparação do comportamento para os CPs prismáticos.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Para a viga sem reforço com fibra de aço, observa-se o comportamento frágil. Logo após a carga de ruptura, a carga cai devido o início de rotação da viga com a perda de rigidez da mesma, que se deve às microfissuras internas do material. Porém, observa-se que o deslocamento não cai bruscamente devido às tensões residuais ocasionadas pelas pontes entre os agregados. Neste ponto, observa-se a diferença de comportamento entre o seixo e a brita, pois o seixo, por apresentar superfície mais lisa e menor aderência à matriz cimentícia, tende a proporcionar uma dissipação de energia menos eficiente após a fissuração, resultando em um pico de carga inferior ao concreto com brita. Já a brita, com superfície mais irregular e maior capacidade de ancoragem, contribui para uma maior resistência de pico. Essa diferença influencia diretamente na forma como a viga responde após a ruptura, evidenciando a influência das fibras no comportamento estrutural dos concretos.

A inserção de fibra de aço no CP prismático com concreto dosado com seixo evidenciou a mudança de comportamento neste concreto, pois de um comportamento frágil foi possível observar a viga em comportamento dúctil. Após o pico de carga na VSCF, a viga continuou deslocando até que chegasse à ruptura. Este comportamento é explicado, pois a partir da formação das fissuras, as fibras passam a agir absorvendo as tensões que se formam na ponta das fissuras.

A resistência residual é um dos principais benefícios proporcionados pela incorporação de fibras ao concreto, pois está diretamente associada ao desempenho pós-fissuração do material. Segundo Figueiredo (2011), “a presença das fibras permite que o concreto mantenha capacidade resistente mesmo após o aparecimento da fissura, conferindo ao material maior ductilidade e capacidade de absorção de

energia”.

Esse comportamento é especialmente relevante para o controle da fissuração e para a segurança estrutural, uma vez que, conforme Bentur e Mindess (2007), “as fibras atuam como pontes de transferência de tensões entre as faces da fissura, retardando sua abertura e propagação”, o que resulta em maior estabilidade após a ruptura inicial da matriz cimentícia.

5.3 Cálculo da tração na flexão

A Tabela 6 apresenta os cálculos conforme a ABNT NBR 12142: 2010 para a resistência à tração na flexão, de acordo com a Equação [1]. As forças observadas nos ensaios para os CPs prismáticos VBSF, VSSF e VSCF foram, respectivamente: 36,60 kN, 25,67 kN e 54,74 kN.

Tabela 6 – Resultados da resistência à tração na flexão.

CP	$f_{ct,f}$ (Mpa)
VBSF	4,34
VSSF	3,04
VSCF	6,49

Fonte: Elaborado pelas autoras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No âmbito deste trabalho, intitulado Análise da Influência da Fibra de Aço na Resistência Mecânica do Concreto, constata-se que a inserção de fibra de aço no concreto muda o comportamento deste, passando-o de um estado frágil para o estado dúctil. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a diferença de comportamento do concreto dosado com seixo, comparando-o com e sem fibra de aço.

A fibra atuou como um elemento de costura das fissuras, permitindo que o concreto mantivesse resistência mesmo após o início da fissuração, ou seja, mesmo em regime plástico. Essa capacidade de resistir após a fissura é denominada resistência residual (Figueiredo, 2011).

Tal efeito foi mais evidente na viga VSCF, que apresentou deslocamentos da ordem de 5 mm, enquanto que os concretos sem fibra apresentaram deslocamento da ordem de 1,5 mm. Além disso, os gráficos de carga x deslocamento reforçam essa observação ao demonstrar que o concreto com fibras suportou maiores deslocamentos antes da ruptura, diferentemente das amostras sem reforço, que apresentaram falha abrupta. Tais evidências reforçam o potencial das fibras metálicas como alternativa técnica viável para melhorar o desempenho estrutural do concreto em aplicações que exigem maior resistência à tração e controle de fissuração.

Também se calcularam os valores de resistência à tração na flexão. O CP prismático com brita apresentou resistência superior ao concreto dosado com seixo, com valores observados de 4,34 MPa e 3,04 Mpa, respectivamente. Porém, o concreto dosado com seixo e fibra apresentou um incremento de resistência em 149% em relação ao CP sem fibra, atingindo uma resistência à tração na flexão igual a 6,49 MPa.

Assim, conclui-se que a combinação de agregados adequados e o uso de fibras de aço pode resultar em concretos mais resistentes, tenazes e duráveis, com aplicações promissoras na construção civil, especialmente em elementos estruturais submetidos à flexão. A fibra de aço amplia a resistência residual das vigas e contribui para o aumento da segurança estrutural, tornando o material mais confiável em aplicações que demandam maior tenacidade.

Os resultados desta pesquisa oferecem contribuições relevantes tanto para a sociedade quanto para a comunidade acadêmica. No contexto regional da Amazônia, onde o seixo rolado é amplamente disponível e a brita nem sempre é de fácil acesso,

o emprego desse agregado local, associado à incorporação de fibras de aço, configura-se como uma alternativa técnica e estruturalmente viável.

Do ponto de vista da sustentabilidade, a utilização de agregados disponíveis localmente contribui para a redução das distâncias de transporte, diminuindo o consumo de combustível e as emissões de CO₂ associadas à logística de materiais. Essa combinação proporciona concretos mais tenazes e resistentes, com maior capacidade de deformação após o início das fissuras. As fibras de aço atuam como elementos de costura interna do concreto, retardando a propagação das rachaduras e conferindo maior segurança estrutural, especialmente em elementos sujeitos a esforços de flexão. Do ponto de vista acadêmico, os dados obtidos contribuem para o aprofundamento do conhecimento sobre o comportamento pós-pico do concreto reforçado com fibras metálicas, estimulando novas pesquisas voltadas para aplicações práticas em regiões com características geográficas semelhantes.

Apesar dos resultados promissores, a pesquisa apresenta limitações, como o número reduzido de corpos de prova e a ausência de análises relacionadas à durabilidade e ao desempenho em longo prazo. Recomenda-se, portanto, que estudos futuros explorem diferentes teores e geometrias de fibras, ampliem a amostragem experimental e considerem o comportamento do material em condições reais de uso, com foco especial na resistência à fadiga, à ação cíclica de cargas e às intempéries naturais da região amazônica.

REFERÊNCIAS

- ACI COMMITTEE 544. **Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete**. ACI 544.4R-18. [S. l.]: American Concrete Institute, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: agregados: determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: concreto reforçado com fibras metálicas: requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-3**: água para amassamento do concreto: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: cimento portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. 2. ed. [S. l.]: Taylor & Francis, 2007.
- CARNEIRO, V. L. da C.; COSTA, N. C. da S. Use of recycled aggregate to replace aggregate natural reinforced with steel fiber. **Revista Foco**, v. 17, n. 2, p. e4414, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n2-052.
- FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2011.
- JOHN, V. M. et al. **Construção sustentável**: estratégias para aumento da ecoeficiência dos materiais. São Paulo: Blucher, 2020.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete**: microstructure, properties, and materials. 4. ed. [S. l.]: McGraw-Hill, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

ROMUALDI, J. P.; BATSON, G. B. Mechanics of crack arrest in concrete. **Journal of the Engineering Mechanics Division**, v. 89, n. 3, p. 147-168, 1963.

SINGH, S.; SINGH, B. Steel fiber reinforced concrete: A review. **Journal of Civil Engineering and Environmental Technology**, v. 3, n. 1, p. 64-70, 2016.

YAZICI, S. et al. Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC. **Construction and Building Materials**, v. 21, p. 1250-1253, 2007.