



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

FRANKCIEL CESAR DA SILVA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO CONVENCIONAL
COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO DE PNEUS DESCARTADOS**

**ARIQUEMES-RO
2021**

FRANKCIEL CESAR DA SILVA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO CONVENCIONAL
COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO DE PNEUS DESCARTADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso para a
obtenção do Grau de Bacharel em
Engenharia Civil apresentado à
Faculdade de Educação e Meio
Ambiente – FAEMA.

Orientador: Prof. Esp. Bruno de
Oliveira Dias.

ARIQUEMES-RO

2021

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586a Silva, Frankciel Cesar da
Análise das propriedades mecânicas do concreto convencional com adição de fibras de aço de pneus descartados. / Frankciel Cesar da Silva. Ariquemes, RO: Faculdade de Educação e Meio Ambiente, 2021.
65 f. ; il.
Orientador: Prof. Esp. Bruno de Oliveira Dias.
Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes RO, 2021.

1. Concreto reforçado. 2. Fibras de aço. 3. Pneus inutilizáveis. 4. Compressão axial. 5. Construção civil. I. Título. II. Dias, Bruno de Oliveira.

CDD 624

Bibliotecária Responsável
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro
CRB 1114/11

FRANKCIEL CESAR DA SILVA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO CONVENCIONAL
COM A INTRODUÇÃO DE FIBRAS DE AÇO DE PNEUS DESCARTADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil apresentado à Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Orientador: Prof. Esp. Bruno de Oliveira Dias.

Banca Examinadora

Prof. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

Prof. Esp. Bruno Dias Oliveira
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

Prof. Esp. Ruan Iuri de Oliveira Guedes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

ARIQUEMES-RO

2021

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, sou muito grato a Deus pelo dom da vida, por estar me iluminando até aqui e estar sempre me abençoando.

Agradeço aos meus pais, Nivaldo e Leonice, que nunca mediram esforços para que meus objetivos fossem realizados, sempre me apoiaram e incentivaram a continuar lutando por meus sonhos.

A minha linda esposa, Aline, a maior incentivadora e que sempre acreditou em mim, surgiu no meio do caminho e a partir daí está sempre me renovando e me alegrando. Ao nosso Miguel que inesperadamente apareceu nessa reta final, ainda em seu ventre, mas que já é muito amado.

Aos meus irmãos, Fagner e Michelly, que sempre me deram forças para continuar lutando.

As amigadas que fiz durante esses 5 anos de graduação, Eduarda, Luana e Milla, pois estávamos sempre nos ajudando para conquistar nosso objetivo em comum e que serão levadas para a vida.

A coordenadora do curso de engenharia civil, professora Priscila, que esteve desde o início compartilhando seu conhecimento e experiência com os discentes, ajudando da melhor forma possível.

Ao meu orientador do TCC, professor Bruno, que sempre esteve disposto em estar ajudando com seu conhecimento e experiência, nesta etapa tão importante para a graduação.

A todas as pessoas, professores, parentes e amigos, que de alguma forma contribuiu para que este objetivo se concretizasse.

Obrigado, serei sempre muito grato.

*“A engenharia de Deus é muito
perfeita, e a mais precisa”.*
Fabício Fiuza.

RESUMO

A utilização das fibras de aço no concreto é uma técnica que está em constante desenvolvimento, através de novas tecnologias e novos materiais construtivos que possibilitam melhoras estruturais, principalmente com relação ao seu alto desempenho de resistência à tração. Este trabalho tem como objetivo principal analisar as propriedades mecânicas do concreto com a inserção de fibras de aço oriundas de pneus inutilizáveis, pois existe uma grande demanda de pneus descartados irregularmente ao meio ambiente, gerando uma série de consequências ambientais, sociais, sanitárias e financeiras. Sendo assim, foram realizados 54 corpos de provas com traço de 1:2:3 (cimento, areia e brita) para o concreto sem adição de fibras de aço, e com teores de 15 kg de fibras de aço para 1 m³ de concreto (F15) e de 25 kg de fibras de aço para 1 m³ de concreto (F25), com a finalidade de comparar as características mecânicas entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibras de aço. Após o processo de cura dos corpos de provas, estes foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão axial de acordo com a NBR 5739/2018 e aos ensaios de compressão diametral conforme a NBR 7222/2011, como também, o “Slump Test” segundo a NBR NM 67/1998 para determinar a consistência do concreto. Por fim, é esperado que o concreto apresente resultados positivos, com uma melhor resistência à tração, aumento da tenacidade e maior controle de fissuração, proporcionalmente com o teor de fibras de aço utilizadas.

Palavras-chave: Concreto reforçado; Fibras de aço; Pneus inutilizáveis; Compressão axial; Compressão diametral.

ABSTRACT

The use of steel fibers in concrete is a technique that is under constant development, through new technologies and new construction materials that enable structural improvements, especially with regard to its high tensile strength performance. The main objective of this work is to analyze the mechanical properties of concrete with the insertion of steel fibers from unusable tires, as there is a great demand for tires that are irregularly disposed of in the environment, generating a series of environmental, social, health and financial consequences. Thus, 54 specimens with a 1:2:3 trace (cement, sand and gravel) were made for concrete without the addition of steel fibers, and with contents of 15 kg of steel fibers for 1 m³ of concrete (F15) and 25 kg of steel fibers for 1 m³ of concrete (F25), in order to compare the mechanical characteristics between conventional concrete and concrete with added steel fibers. After the curing process of the specimens, they were subjected to axial compression strength tests according to NBR 5739/2018 and diametrical compression tests according to NBR 7222/2011, as well as the "Slump Test" according to NBR NM 67/1998 to determine the consistency of the concrete. Finally, it is expected that concrete will present positive results, with better tensile strength, increased toughness and greater cracking control, in proportion to the content of steel fibers used.

Key-words: Reinforced concrete; Steel fibers; Unusable tires; Axial compression; Diametrical compression.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tipos de fibras para concreto.....	24
Figura 2: Classificação das fibras vegetais.	25
Figura 3: Fibra sintética de polipropileno (a) microfibras (b) macrofibras.....	26
Figura 4: Fibras de aço: (a) com ancoragem na extremidade, (b) corrugada e (c) lisa.	27
Figura 5: Concentração de tensões para o concreto (a) sem fibras e (b) com fibras.	29
Figura 6: (a) compatibilidade das fibras; (b) sem compatibilidade das fibras.	30
Figura 7: Acondicionamento dos materiais.....	32
Figura 8: Cimento Portland composto CP II-F-32 Itaú.....	33
Figura 9: Agregado miúdo úmido.	34
Figura 10: Agregado graúdo úmido.....	35
Figura 11: Esquema de um pneu em corte.	36
Figura 12: Procedimento para obtenção das fibras.....	36
Figura 13: Produção do concreto.	38
Figura 14: Moldagem dos corpos de provas.	38
Figura 15: Cura dos corpos de provas.	39
Figura 16: Procedimento para obtenção da massa específica.....	40
Figura 17: Procedimento para obtenção da massa unitária.	41
Figura 18: Agitador mecânico de peneiras.....	42
Figura 19: Pesagem do agregado graúdo submerso em água.	43
Figura 20: Agitador mecânico de peneiras.....	45
Figura 21: Abatimento do tronco de cone.	46
Figura 22: Rompimento do corpo de prova.	47
Figura 23: Rompimento do corpo de prova.	48
Figura 24: Comportamento do concreto pós fissuração sem adição de fibras de aço.	59
Figura 25: Comportamento do concreto pós fissuração com adição de fibras de aço.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica da areia.....	50
Gráfico 2: Curva granulométrica da brita.....	51
Gráfico 3: Resistência à compressão axial aos 7 dias.	52
Gráfico 4: Resistência à compressão axial aos 14 dias.	53
Gráfico 5: Resistência à compressão axial aos 28 dias.	54
Gráfico 6: Comparativo do resultado de resistência à compressão axial.....	55
Gráfico 7: Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias.....	56
Gráfico 8: Resistência à tração por compressão diametral aos 14 dias.....	57
Gráfico 9: Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.....	58
Gráfico 10: Comparativo de resistência à tração por compressão diametral.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do concreto de acordo com a resistência.	17
Tabela 2: Classes de Consistência.....	17
Tabela 3: Classificação do cimento.	18
Tabela 4: Valores típicos de módulo de elasticidade estático aos 28 dias.	21
Tabela 5: Risco de deterioração da estrutura.	22
Tabela 6: Classificação dos agentes agressivos no concreto.....	23
Tabela 7: Tipo, classe e geometria das fibras de aço.....	28
Tabela 8: Traço do concreto.	37
Tabela 9: Resultados dos ensaios do agregado miúdo.	49
Tabela 10: Resultados dos ensaios do agregado graúdo.....	50
Tabela 11: Abatimento do tronco de cone.	51
Tabela 12: Resultados dos ensaios de compressão axial aos 7 dias.....	52
Tabela 13: Resultados dos ensaios de compressão axial aos 14 dias.	53
Tabela 14: Resultados dos ensaios de compressão axial aos 28 dias.....	54
Tabela 15: Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral aos 7 dias.	56
Tabela 16: Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral aos 14 dias.	56
Tabela 17: Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral aos 28 dias.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetro
F15	Corpo de prova com teor de adição de fibras aço
F25	Corpo de prova com teor de adição de fibras aço
m ²	Metro quadrado
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
REF	Corpo de prova referência sem adição de fibras de aço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO PRIMÁRIO	15
2.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	CONCRETO	16
3.1.1	Tipos de Concreto	16
3.1.2	Componentes do Concreto	17
3.1.3	Propriedades do Concreto Fresco.....	18
3.1.4	Propriedade do Concreto Endurecido.....	20
3.2	CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS.....	23
3.2.1	Tipos de Fibras	24
3.2.2	Fibras de Aço.....	26
3.2.3	Volume das Fibras.....	26
3.2.4	Geometria das Fibras.....	27
3.2.5	Interação Fibra e Matriz	28
3.3	PNEUS INUTILIZÁVEIS	30
3.3.1	Reaproveitamento de pneus inutilizáveis	30
4	METODOLOGIA PROPOSTA	32
4.1	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	33
4.2	MATERIAIS UTILIZADOS	33
4.2.1	Cimento	33
4.2.2	Agregado Miúdo	34
4.2.3	Agregado Graúdo	34
4.2.4	Água	35
4.2.5	Fibra de Aço.....	35
4.3	PRODUÇÃO DO CONCRETO E DOS CORPOS DE PROVA.....	37
4.4	ENSAIOS	39
4.4.1	Agregado Miúdo	39
4.4.1.1	Massa Específica	39
4.4.1.2	Massa Unitária.....	40
4.4.1.3	Composição Granulométrica	42
4.4.2	Agregado graúdo.....	42
4.4.2.1	Massa Específica	42
4.4.2.2	Massa Unitária.....	44

4.4.2.3	Composição Granulométrica	44
4.4.3	Abatimento do Tronco de Cone	45
4.4.4	Resistência à Compressão Axial	46
4.4.5	Resistência à Tração por Compressão Diametral	47
5	RESULTADOS e discussões	49
5.1	AGREGADO MIÚDO	49
5.2	AGREGADO GRAÚDO	50
5.3	ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	51
5.4	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	52
5.5	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	55
5.6	Comportamento do Concreto pós fissuração	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

O concreto é utilizado em grande escala em obras de engenharia, pois é formado por uma mistura de cimento, agregados graúdos (pedras), agregados miúdos (areia) e água. O concreto detém alguns benefícios, como, por exemplo, alta resistência à compressão após o período de cura, como também, longevidade e boa eficiência nas construções civis. Ainda apresenta um baixo custo e menor tempo para efetuar a construção.

Em relação ao concreto, muitas das vezes, apenas a resistência é levada como relevante, no entanto, deve ser considerado outras características, como a durabilidade, a impermeabilidade e a estabilidade de volume que podem ser bastante relevantes. Assim, a resistência é importante para determinar a eficiência do concreto, porque está relacionada ao sistema da pasta de cimento (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O concreto simples apresenta resistência à compressão, geralmente entre 20 e 40 MPa, e baixa resistência à tração, usualmente menor que 1/10 do que é suportado em relação à compressão. Já nas estruturas de concreto armado, possui uma melhor resistência à tração, pois a utilização de armaduras de aço adequadamente dispostas ao longo das peças estruturais melhora a sua resistência (FUSCO, 2018).

Existem diversas tecnologias para reverter essas limitações, como, por exemplo, a aplicação de fibras que podem ser produzidas a partir de material natural (asbesto, sisal, celulose), produtos industrializados como vidro, aço, carbono e polímeros (polipropileno, kevlar). Conforme Neville e Brooks (2013), o reforço da matriz cimentícia com fibras tem como objetivo melhorar a eficiência em relação à tração pelo retardo da propagação de fissuras e aumentar a tenacidade pela transmissão de tensões através de uma seção fissurada, fazendo que seja possível uma deformação muito maior após a tensão de pico, como também melhorar a resistência ao impacto e a resistência à fadiga, e reduzir a retração.

Entre as diversas utilizações do concreto com adição de fibras pode-se citar as fibras de aço ou de polipropileno para revestimentos de túneis. As fibras de polipropileno apresentam bons resultados em pisos industriais, pisos de garagens e também de estacionamentos, locais úmidos que possuem água, como estruturas hidráulicas (LISBOA, 2017).

Além das fibras de aço que possuem finalidades próprias para o para reforço do concreto, existem também diversos materiais industrializados que podem ser reaproveitados, por exemplo, as fibras de aço de pneus deteriorados, tendo em vista que diariamente milhares de pneus são depositados no meio ambiente, inadequadamente, trazendo problemas socioambientais.

Assim, é necessário ter estudos e pesquisas relacionados ao concreto com a inserção das fibras, pois é uma tecnologia que está em constante crescimento na construção civil. Ademais, é importante ter conhecimento a respeito da utilização da fibra de aço de pneus inutilizáveis, que pode ser uma alternativa em construções, como também de sustentabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

Avaliar as características mecânicas do concreto comum com adição de fibras de aço de pneus deteriorados.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- Realizar a caracterização dos materiais utilizados no estudo para alcançar o traço do concreto estipulado;
- Utilizar o concreto com um traço usual na região;
- Verificar a influência da proporção de fibra de aço e o comportamento do concreto na resistência mecânica à tração e à compressão;
- Avaliar a consistência do concreto através do slump test;
- Analisar o concreto submetido à tração em corpos de prova através de testes por compressão diametral;
- Analisar o concreto submetido à compressão em corpos de prova através de testes de resistência à compressão axial;
- Avaliar o comportamento pós fissuração nos testes de resistência à compressão e à tração;
- Reutilizar materiais inservíveis após sua função principal e minimizar o impacto ao meio ambiente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CONCRETO

Segundo Neville (2016), os gregos e os romanos utilizavam calcário calcinado e somente um tempo depois iniciaram a utilização do concreto com a inserção de areia e pedra fracionada, fração de tijolos e de telhas ao calcário e a água.

O concreto é fabricado por uma combinação de cimento, agregado miúdo e graúdo e água com quantidades pré-estabelecidas. Na construção civil, essa mistura é conhecida como dosagem ou traço (LISBOA, 2017).

A produção do concreto pode ser com diversos tipos de aglomerantes e englobar adições, como a pozolana, minerais, polímeros, fibras e aditivos, de acordo com as finalidades específicas (PARIZOTTO, 2017).

Conforme Lisboa (2017), atualmente busca-se melhorar a qualidade na construção civil por meio de processos eficientes, aumentando o uso de concreto dosado em central, pois apresenta maior controle dos materiais presentes no concreto, como também, do controle de sua trabalhabilidade e resistência à compressão.

Conforme Guimarães (2015), o concreto apresenta uma baixa resistência a tração, quando comparada com a resistência de compressão, como também, uma baixa capacidade de deformação que o material desenvolve antes da ruptura. A característica frágil e o desempenho do concreto estão localizados na área de transição na interface que há entre partículas grandes do agregado e pasta de cimento hidratada, sendo que a microestrutura e as características da área de transição na interface são diferentes da matriz da pasta (MEHTA, 2008).

3.1.1 Tipos de Concreto

Segundo a NBR 8953/2015, o concreto pode ser classificado de acordo com a sua massa específica seca:

- Concreto normal (C) – entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³;
- Concreto leve (CL) – inferior a 2.000 kg/m³; e
- Concreto pesado ou denso (CD) – superior a 2.800 kg/m³.

A NBR 8953/2015 também classifica o concreto conforme o grupo de resistência (conforme a Tabela 1).

Tabela 1: Classificação do concreto de acordo com a resistência.

Classe de Resistência Grupo I	Resistência à Compressão (MPa)	Classe de Resistência Grupo II	Resistência à Compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 8953 (2015).

Ademais, a NBR 8953/2015 classifica, ainda, o concreto conforme sua consistência no estado fresco, determinada a partir do slump test (conforme a Tabela 2).

Tabela 2: Classes de Consistência.

Classe	Abatimento (mm)
S10	$10 \leq A < 50$
S50	$50 \leq A < 100$
S100	$100 \leq A < 1600$
S160	$160 \leq A < 220$
S220	≥ 220

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 8953 (2015).

3.1.2 Componentes do Concreto

De acordo com Fusco (2017), os componentes básicos dos cimentos são: a cal, a sílica, a alumina e o óxido de ferro. Esses componentes são aglutinados por sinterização, ou seja, por aquecimento da mistura até uma fusão incipiente, sendo posteriormente moídos com uma finura adequada.

As normas brasileiras consideram a aplicação dos seguintes cimentos na construção das estruturas de concreto (Tabela 3).

Tabela 3: Classificação do cimento.

Cimentos de endurecimento lento
Cimento de alto-forno AF-25, AF-32
Cimento pozolânico POZ-25, POZ-32
Cimento de moderada resistência a sulfatos MRS
Cimento com capacidade de tolerar altos índices de sulfatos ARS
Cimentos de endurecimento normal (cimento Portland comum)
Cimento Portland CP-25, CP-32, CP-40
Cimentos de endurecimento rápido
Cimento de alta resistência inicial ARI
Fonte: Adaptado Fusco (2017, p. 185).

Na formação do concreto os agregados representam $\frac{3}{4}$ do volume, por isso é necessário levar em conta a qualidade, ou seja, resistência, durabilidade e desempenho (LISBOA, 2017).

Os agregados miúdos e graúdos podem ser caracterizados conforme suas dimensões, sua origem e sua massa. Em relação a granulometria, podem ser classificados em agregados miúdos (areia, pó de pedra) ou graúdos (brita, seixo rolado, LISBOA, 2017).

Conforme a NBR 7211/2009, que caracteriza os agregados para uso em concretos, o agregado miúdo é a areia natural quartzosa, ou a artificial que possui diâmetro não superior a 4,8 mm. Já o agregado graúdo possui diâmetro superior a 4,8 mm.

Conforme Neville e Brooks (2013), deve-se ser levado em conta a qualidade da água, tendo em vista que a sujeira pode prejudicar na pega do cimento, como também, diminuir a capacidade de resistência do concreto, ou causar deficiências em sua superfície e prejudicar a armadura do concreto com a corrosão.

3.1.3 Propriedades do Concreto Fresco

Conforme Alves (1987), as principais propriedades do concreto fresco são a segregação, a homogeneidade (mobilidade) e a trabalhabilidade.

Neville e Brooks (2013), definem que o grau de adensamento afeta as características do concreto com o passar do tempo no estado rígido, assim é importante manter a consistência e a trabalhabilidade do concreto fresco de forma que

não dificulte o deslocamento, o arremesso, a concentração e o aperfeiçoamento sem sofrer segregação.

A trabalhabilidade é definida como a quantidade necessária de trabalho interno útil para obter o adensamento. O trabalho interno útil é uma característica material própria do concreto e é o esforço necessário para superar o atrito interno entre os elementos do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo Alves (1993), define a trabalhabilidade do concreto como uma característica que pode ser misturado, transportado, lançado e vibrado, sem alteração de sua homogeneidade.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a trabalhabilidade do concreto pode estar relacionada com as seguintes propriedades:

- Não ter dificuldade na diminuição de vazios e no adensamento do concreto;
- Facilidade de moldagem, interligado com a complementação do molde e das áreas entre as estruturas de aço; e
- Resistência à segregação e preservação da regularidade da combinação do concreto, durante o manuseio e a vibração.

Outra característica do concreto na condição trabalhável é a consistência, que pode ser definida como a resistência que a substância se mantém ou a praticidade com que se decorre. Em alguns casos é relacionada com o grau de umidade, tendo em vista que os concretos com maior quantidade de água são mais trabalháveis que concretos secos (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A consistência é usada como índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco e frequentemente é usado o slump test para determiná-la. (METHA e MONTEIRO, 1994).

A exsudação é uma maneira de desunião do concreto, tendo em vista que uma fração da água da combinação é transferida para o seu exterior recentemente arremessado. Essa característica acontece porque a massa específica da água é inferior a todos da mistura do concreto, assim causa dificuldade de os elementos compactos da combinação conservarem toda a água disponível no fundo (NEVILLE, 2016).

Andriolo (1984), afirma que a quantidade e a velocidade da exsudação estão relacionadas com alguns fatores: dosagem do concreto, teor de água, temperatura, finura do cimento, granulometria do agregado e ação de aditivos.

As características do cimento podem intervir na exsudação, quando a finura do cimento é aumentada pode ser diminuída a exsudação, pois as partículas mais finas são primeiramente hidratadas, devido à menor velocidade de sedimentação (GUIMARÃES, 2005).

3.1.4 Propriedade do Concreto Endurecido

De acordo com a NBR 12655 (2015), o concreto no estado endurecido é definido como aquele que se apresenta como material rígido e que possui resistência mecânica satisfatória. Neste tópico será descrito as principais propriedades do concreto endurecido.

Geralmente, utilizam a resistência do concreto como a propriedade principal, entretanto existem outras características importantes, como a durabilidade, a impermeabilidade e a estabilidade de volume que podem acabar sendo mais importantes. Ademais, a resistência normalmente está ligada a qualidade do concreto, pois está relacionada com a estrutura da pasta de cimento (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Para determinar a resistência do concreto é necessário analisar a capacidade de resistir à tensão aplicada sem ocorrer o rompimento. Por isso, a resistência do concreto está relacionada com a tensão utilizada para ocasionar a ruptura, caracterizada como a tensão máxima que pode resistir (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

O concreto possui módulo de elasticidade que é uma propriedade empregada nas operações estruturais, que liga a tensão colocada à deformação instantânea alcançada, de acordo com a NBR 8522/2017, que caracteriza o módulo de elasticidade do concreto.

O limite elástico é necessário para representar a tensão máxima permitida antes do concreto se deformar permanente. O módulo de elasticidade do material influencia a rigidez da mistura, sendo que o concreto é mais rígido quando o módulo de elasticidade é mais alto, resultando em um baixo potencial de absorver deformação conforme a Tabela 4 (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Tabela 4: Valores típicos de módulo de elasticidade estático aos 28 dias.

Resistencia aos 28 dias, em cubos (MPa)	Módulo de elasticidade estático médio, aos 28 dias (GPa)	Módulo de elasticidade estático médio, aos 28 dias (GPa)
20	24	18 a 30
25	25	19 a 31
30	26	20 a 32
40	28	22 a 34
50	30	24 a 36
60	32	26 a 38

Fonte: Neville e Brooks (2013).

A retração está ligada com a capacidade de reduzir seu tamanho com o passar do tempo, relacionada com a evaporação da água com o ambiente que se encontra. O processo de redução das dimensões pode ser classificado como: retração plástica, retração por secagem, retração autógena, retração térmica e retração por carbonatação (NUNES, 2007).

Para Neville (2016) a retração ocorre quando a água sai de um corpo poroso não totalmente rígido. No concreto, essa movimentação de água geralmente ocorre desde seu estado fresco até idades mais avançadas.

O concreto está submetido a condição de secagem ambiental e carregamentos constantes que influenciam na variação de volume, o qual está ligado a remoção da água absorvida na pasta de cimento. Esta condição pode ocorrer no início da concretagem (METHA; MONTEIRO, 2008).

Conforme a NBR 8224/2012, que caracteriza a fluência do concreto no estado rígido, a fluência é a deformação ocorrida por causa de uma força aplicada e preservada no decorrer do tempo. A deformação por fluência é determinada em uma idade definida, pela diferença entre a deformação total e a soma das deformações independentes da permanência do carregamento ao longo do tempo. Os principais tipos de fluência são: a fluência básica e a fluência por secagem.

Conforme Neville (2016), a fluência pode ser verificada com a restrição em um elemento de concreto perante uma carga aplicada a uma deformação constante, sendo identificada como uma diminuição da tensão com o tempo.

De acordo com Araújo (2002), a fluência deve ser levada em conta quando sua influência na estrutura for significativa e comparada com as deformações iniciais

causadas pelas cargas preliminares, a deformação elástica. Todas as estruturas apresentam fluência, entretanto nem todas as estruturas de concreto a fluência influencia significativamente o desempenho.

A durabilidade do concreto nas estruturas depende dos materiais utilizados na sua fabricação e da capacidade de resistir às agressões provenientes do ambiente o qual se encontra (FUSCO, 2017).

Segundo Neville (2016), o concreto com boa durabilidade tem que ser capaz de resistir ao processo de deterioração que o meio externo irá proporcionar, sendo que a estrutura de concreto não perca o desempenho necessário para realizar suas funções previstas para a vida útil.

Conforme a NBR 6118/2014, que determina os procedimentos para projeto de estruturas de concreto, aponta a agressividade do meio externo como aspecto determinante para o dimensionamento de estruturas duráveis. Por isso, determina o conteúdo de classe de agressividade ambiental e determina os riscos de deterioração como função do tipo de ambiente (Tabela 5).

Tabela 5: Risco de deterioração da estrutura.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (2014).

Conforme Bauer (2008), para que o concreto seja durável e conserve sua forma, qualidade e capacidade de uso originais é necessário que o projeto tenha sido realizado de acordo com o ambiente que será exposto, conforme (Tabela 6).

Tabela 6: Classificação dos agentes agressivos no concreto.

Agentes	Concreto	Armadura
Mecânicos	Abrasão, choques, vibração, fadiga	
Físicos	Temperatura	
Físico-químicos		Corrosão eletroquímica Corrosão sob tensão
Ecológicos	Águas puras	
Químicos	Águas carbônicas Águas sulfatadas Água do mar Agentes reativos	Oxidação
Intrínsecos	Reação álcali-agregado	
Biológicos	Bactérias	

Fonte: Bauer (2008).

3.2 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

O concreto combinado com cimento portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água e fibras é chamado de concreto reforçado com fibras, além disso, pode ter outras adições como a pozolanas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Conforme Neville e Brooks (2013), a utilização das fibras como complemento possui o objetivo de melhorar a resistência à tração pelo retardo da propagação de fissuras e aumentar a tenacidade pela transmissão de tensões através de uma seção fissurada, fazendo que a deformação seja maior após a tensão de pico.

A utilização das fibras no concreto também apresenta desvantagem, pois a trabalhabilidade é diminuída, problemas como a incorporação de ar, além das fibras intertravarem. A inclusão de fibras aumenta a área específica dos materiais causando

uma diminuição do teor de água para o abatimento (GUIMARÃES, 2010; MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Existem diversos tipos de fibras usadas no concreto, entretanto destacam-se as fibras de aço e polipropileno, com aplicações em revestimentos de túneis. As fibras de polipropileno são muito usadas em pisos industriais, pisos de garagens e de estacionamentos, estruturas em contato com a água, como vertedouros (LISBOA, 2017).

3.2.1 Tipos de Fibras

A inserção de fibras no concreto é um processo fácil de se realizar, podendo ser tanto em usinas como no canteiro. São diversos os tipos de fibras produzidas ao reforço do concreto, podem ser organizadas conforme a matéria prima e em relação a sua natureza, conforme a Figura 1 (MOSCATELLI, 2011):

- Metálicas: aço, carbono, suas ligas e alumínio;
- Naturais: amianto, celulose e carbono; e
- Sintéticas: nylon, polipropileno e outras.

Figura 1: Tipos de fibras para concreto.

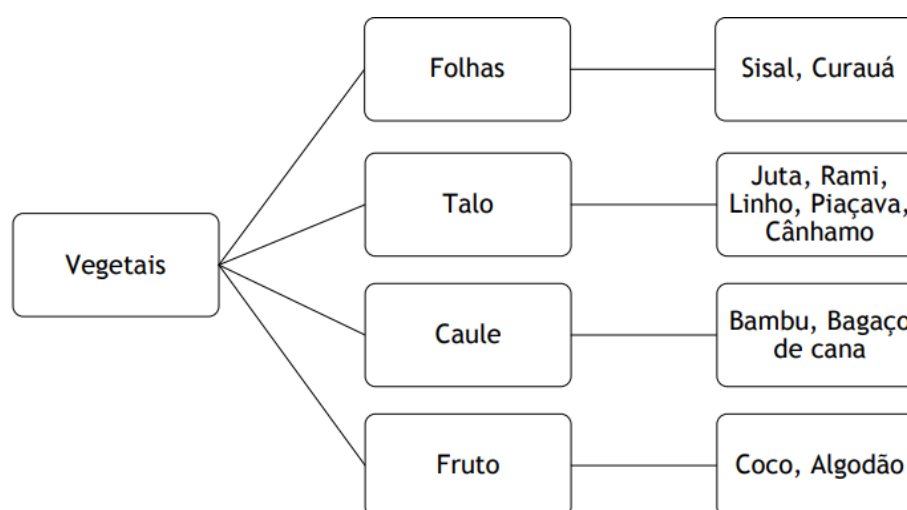


Fonte: Fibras para concreto (Cimento Itambé, 2010).

As fibras possuem diferentes características em relação aos módulos de elasticidade, resistências à tração e massas específicas. Portanto, deve-se analisar a fibra mais adequada para as condições finais da estrutura (BENTUR E MINDESS, 2007).

As fibras naturais utilizadas em materiais compósitos têm a função, geralmente, de atuar como uma carga de material reciclável e de baixo custo, e não de aumentar realmente a resistência mecânica. Tendo em vista que as propriedades mecânicas das fibras vegetais são inferiores (LEVY NETO; PARDINI, 2006), conforme (Figura 2).

Figura 2: Classificação das fibras vegetais.



Fonte: Adaptado (Picanço, 2005).

A fibra sintética de polipropileno é determinada de duas maneiras: microfibras e macrofibras (Figura 3). As microfibras são subdivididas em monofilamentadas e fibriladas. As fibriladas possuem seção retangular e apresentam-se como uma espécie de malha de filamentos muito finos que promovem um acréscimo na ligação da fibra com a matriz. E as monofilamentadas são aquelas que se apresentam em fios individualizados e de comprimento padrão (BENTUR E MINDESS, 2007).

Figueiredo (2011), explica que as macrofibras são produzidas para promover um reforço estrutural semelhante às fibras de aço. Pois possuem representações volumétrica por unidade de fibra, que incorporadas ao concreto promovem uma grande fração volumétrica.

Figura 3: Fibra sintética de polipropileno (a) microfibras (b) macrofibras.



Fonte: NTC Brasil (2016).

3.2.2 Fibras de Aço

As fibras de aço são muito usadas nas obras de concreto, tendo em vista que possuem módulo de elasticidade alto e ajudam nas propriedades de tenacidade, domínio de fissuras e resistências à flexão e ao impacto e à fadiga (ACI 544.1R-96, 1996).

As fibras de aço possuem habilidades de promover um comportamento elevado em comparação à capacidade de suporte pós-fissuração, em reação a outros tipos de fibras, destacando baixa capacidade de absorver energia da matriz cimentícia (FIGUEIREDO 2000).

3.2.3 Volume das Fibras

O teor de fibras está diretamente ligado ao comportamento final do compósito, assim a quantidade de fibras deve ser adicionada na mistura e dosado baseado no volume total de concreto que será produzido, ou balanceado em 1 kg de fibra para 1 m³ de concreto (FIGUEIREDO, 2000).

Em relação ao volume das fibras, deve-se utilizar baixa quantidade, entre 1% e 5%, e para ter resultados satisfatórios como reforço (armadura), melhora no desempenho à tração e prolongamento na ruptura, o módulo de elasticidade das fibras necessita ser superior as propriedades correspondentes da matriz (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A parcela volumétrica e o tipo de fibra são importantes porque podem influenciar as propriedades do concreto reforçado com fibras. Sendo possível classificar o volume da seguinte forma:

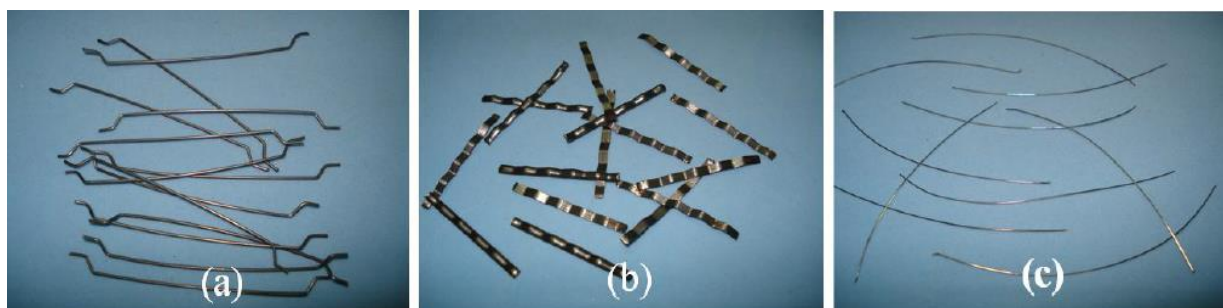
- Baixa fração volumétrica (<1%): utilizada para reduzir a fissuração decorrida da retração em estruturas que há grande superfície exposta, como em lajes de pavimentos;
- Moderada fração volumétrica (entre 1% e 2%): utilizada para melhorar as propriedades como módulo de ruptura, tenacidade e resistência ao impacto;
- Alta fração volumétrica (>2%): são considerados de alto desempenho, pois leva ao enrijecimento por alteração dos compostos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.2.4 Geometria das Fibras

Conforme a NBR 15530/2019, que classificam os tipos de fibras de aço para concreto, esta classifica as fibras de aço de acordo com a geometria (Figura 4):

- Tipo A: ancoragem nas extremidades;
- Tipo C: corrugada;
- Tipo R: lisa.

Figura 4: Fibras de aço: (a) com ancoragem na extremidade, (b) corrugada e (c) lisa.



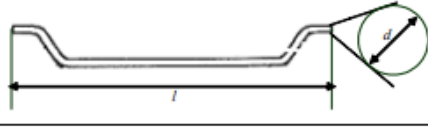

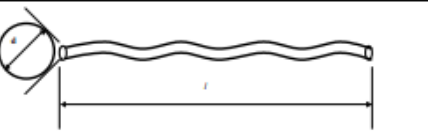
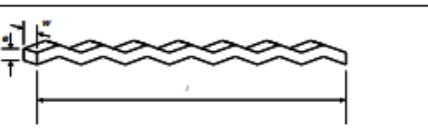
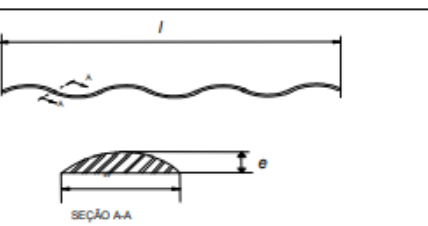
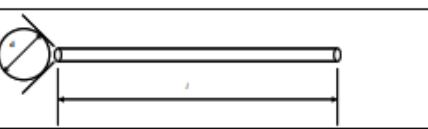
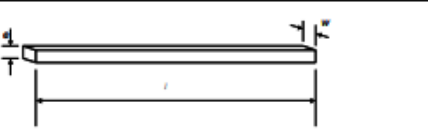
Fonte: Vasconcelos (2012).

A NBR 15530/2019 classifica ainda as fibras em relação ao aço que deu origem, com as seguintes classes (Tabela 7):

- Classe I: derivada de arame trefilado a frio;

- Classe II: derivada de chapa laminada cortada a frio;
- Classe III: derivada de arame trefilado e escarificado.

Tabela 7: Tipo, classe e geometria das fibras de aço.

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

Fonte: Figueiredo (2000).

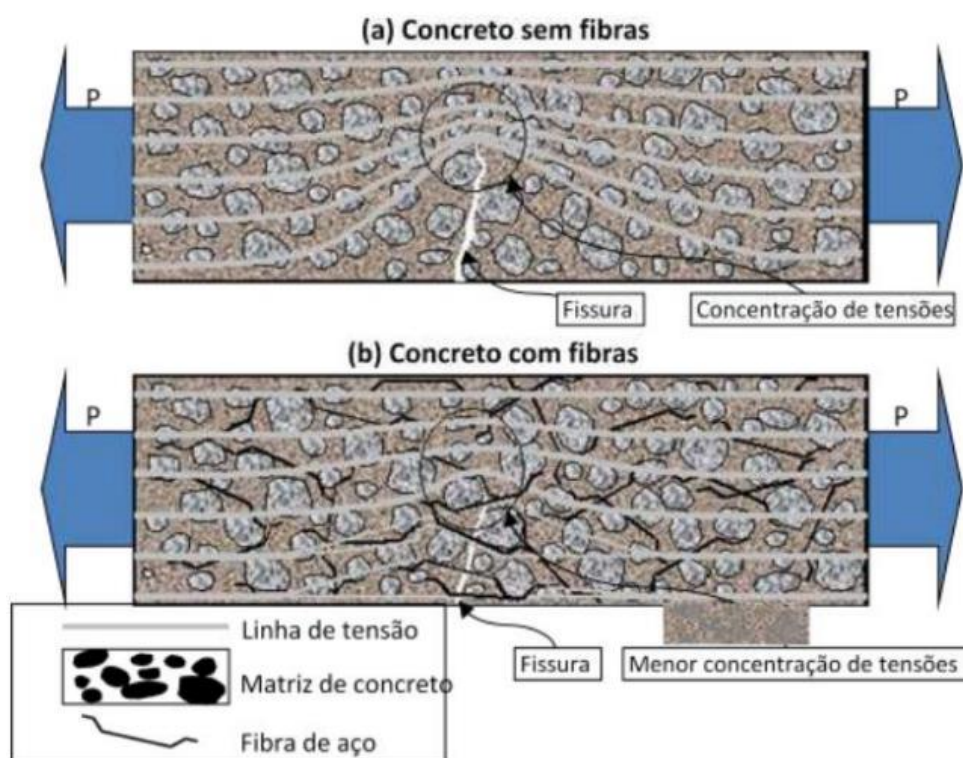
3.2.5 Interação Fibra e Matriz

É importante que a fibra e a matriz tenham características que permitem se unirem, assim na escolha da combinação da fibra matriz é necessário observar a força de ligação entre esses elementos. Porque a resistência desse composto necessita da intensidade dessa ligação. Ademais, é necessário que tenha uma boa aderência para

aumentar a transmissão de tensões e conseqüentemente aumentar resistência do compósito (CALLISTER JR, 2002).

Conforme Figueiredo (2011), a fibra funciona como uma ponte de transferência de fissuras que quando adicionadas num teor adequado e dependendo de algumas propriedades, faz com que o concreto tenha o comportamento frágil. Contudo, acontece uma diminuição da velocidade de propagação das fissuras no compósito, que começa a reagir como não frágil, por isso o uso das fibras pode evitar que a fissuração se propague (Figura 5).

Figura 5: Concentração de tensões para o concreto (a) sem fibras e (b) com fibras.



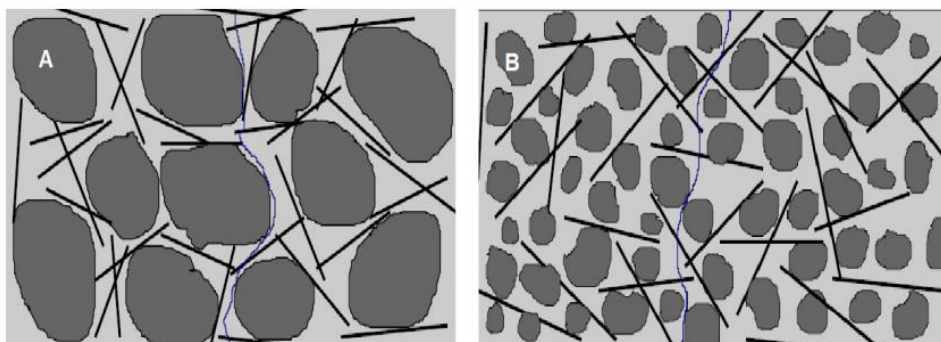
Fonte: Figueiredo (2011).

O processo de ruptura em concretos reforçados com fibras, ocorrem pela ausência de aderência entre a matriz e a fibra. O surgimento da primeira trinca ocorre quando a deformação supera a capacidade de deformação da matriz. As fibras atuam como função de elementos impeditivos do desenvolvimento das fissuras (BARROS, 2009).

Fibras muito compridas, afetam diretamente o concreto no estado plástico, o que conseqüentemente afeta as propriedades no estado endurecido; e fibras curtas tendem a não interceptar as fissuras. Portanto, é recomendado que o comprimento da

fibra esteja na faixa de 1,5 a 3,0 vezes a maior proporção do agregado graúdo (CHENKUI e GUOFAN, 1995). A Figura 6 apresenta a compatibilidade dimensional das fibras em relação ao agregado graúdo.

Figura 6: (a) compatibilidade das fibras; (b) sem compatibilidade das fibras.



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2011).

3.3 PNEUS INUTILIZÁVEIS

Aproximadamente 450.000 toneladas de pneus sem serventia são excluídas anualmente, ou seja, 90 milhões dos pneus são de automóveis. Muitos desses pneus são depositados erroneamente no meio ambiente, tornando alvo fácil para a procriação do mosquito *Aedes aegypti*, condutor da dengue, da zika e da chikungunya. Portanto, deve-se dar o devido tratamento para os pneus após sua finalidade fim, para que evite a poluição do meio ambiente, como também, a transmissão de doenças (SEST SENAT, 2019).

Os pneus, naturalmente, após sua finalidade fim se transformará um resíduo potencialmente danoso à saúde pública e ao meio ambiente. Uma forma de reverter esta problemática é dando destinação final correta (BERTOLLO, et. al., 2000).

3.3.1 Reaproveitamento de pneus inutilizáveis

O reaproveitamento de pneus é um processo difícil, tendo em vista que o mesmo possui longa durabilidade antes de se decompor, além da grande quantidade, volume e peso disponível. Assim, existe dificuldades em dar um destino ecologicamente correto e economicamente viável.

De acordo com a Resolução Nº 416/2019 (CONAMA) o pneu inutilizável é conceituado como pneu usado que atingiu a sua finalidade fim e não é mais possível o reaproveitamento para rodagem. O pneu inservível deve receber uma destinação ambientalmente adequada com técnicas capazes de poder reaproveitá-lo para uma atividade fim diversa da originalmente fabricada, desde que seja legalmente aceita pelos respectivos órgãos.

Segundo Lagarinhos e Tenório (2008), os pneus podem ser reaproveitados de inúmeras formas, como, por exemplo, recapagem, recauchutagem e remoldagem de pneus; co-processamento em fornos de cimenteiras; pavimentação com asfalto – borracha; queima de pneus em caldeiras; utilização na construção civil; obras de contenção de encostas (geotecnia); indústria moveleira; equipamentos agrícolas; mineração; tapetes para reposição da indústria; leitos de drenagem em aterros, entre outras.

O aço dos pneus estão presentes em grandes quantidades, sendo que está cada vez mais sendo estudado para uso diversos. Sendo possível utilizá-los na engenharia civil, como fibras de aço para a produção de compósitos a ser utilizado na construção.

4 METODOLOGIA PROPOSTA

Neste tópico de metodologia proposta foram especificados os materiais, os equipamentos, os ensaios e o procedimento experimental que foi desenvolvido no estudo da pesquisa. Os procedimentos experimentais foram desenvolvidos utilizando a estrutura dos laboratórios de mecânica dos solos e de corpo de prova, localizado na Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Os agregados miúdos (areia média) e graúdos (brita 1) e a água foram disponibilizadas pela faculdade FAEMA após fazer solicitação com a coordenadora do curso de engenharia civil, professora Priscila, a qual autorizou o uso dos materiais. Já o cimento utilizado foi um saco de 50 kg, Portland composto CP II-F-32 Itaú, obtido em loja de material de construção na cidade de Ariquemes/RO. As fibras de aço utilizadas são de pneus de carros leves inservíveis, obtidos por doações em borracharias no município de Ariquemes/RO. Os agregados ficaram acondicionados em sacos plásticos no ambiente interno do laboratório de corpo de prova (Figura 7).

Figura 7: Acondicionamento dos materiais.



Fonte: Autoria própria (2021).

Os procedimentos de concretagem e moldagem dos corpos de provas foram realizados nas seguintes datas: 13/05/2021 o traço REF, 19/05/2021 o traço F15 e 01/06/2021 o traço F25 (conforme item 4.3). Contudo, os ensaios de rompimento dos mesmos foram realizados nas idades de 7 dias, 14 dias e 28 dias (conforme os itens 4.4.4 e 4.4.5).

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental consistiu em utilizar corpos de prova de concreto comum, sendo as seguintes características: 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, os quais foram inseridas fibras de aço oriundos de pneus inutilizáveis, em seguida foi realizado ensaios de rompimento dos mesmos, com a finalidade de analisar as propriedades mecânicas do concreto.

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

4.2.1 Cimento

O aglomerante hidráulico utilizado é o Cimento Portland composto CP II-F-32 Itaú (Figura 8) obtido na cidade de Ariquemes-RO, onde é comercializado. É bastante utilizado em obras de engenharia, pois apresenta resultados satisfatórios.

Figura 8: Cimento Portland composto CP II-F-32 Itaú.



Fonte: Autoria própria (2021).

O cimento foi obtido no dia 13/05/2021 quando deu início a concretagem dos corpos de provas e permaneceu armazenado no depósito da faculdade FAEMA até o dia 01/06/2021 quando foi finalizado a concretagem. Foi utilizado a massa específica de 2,96 g/cm³ fornecida pelo próprio fabricante do cimento para poder determinar a dosagem do concreto.

4.2.2 Agregado Miúdo

A areia utilizada (Figura 9) nos procedimentos foi disponibilizada pela faculdade FAEMA. Em seguida foi realizado o procedimento de secagem na estufa por um tempo de 24 horas à 105 °C, conforme a NBR NM 52/2009, para retirada da umidade. Posteriormente foi utilizada a peneira com diâmetro de 4,8 mm para retirada dos grãos e seres impróprios para o concreto. Foi utilizado um total de 72,684 kg.

Figura 9: Agregado miúdo úmido.



Fonte: Autoria própria (2021).

Foram realizados os ensaios conforme a NBR NM 52/2009, que determina a massa específica, a NBR NM 45/2006, que determina a massa unitária; e a NBR NM 248/2003, que determina a granulometria.

4.2.3 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado no experimento (Figura 10) é a brita 1, as quais foram lavadas e submetidas ao processo de secagem na estufa por um período de 24 horas à 105 °C, conforme a NBR NM 53/2009, para retirada da umidade. A brita foi disponibilizada pela faculdade FAEMA. Foi utilizado um total de 109,026 kg.

Figura 10: Agregado graúdo úmido.



Fonte: Autoria própria (2021).

Foram realizados os procedimentos de acordo com a NBR NM 53/2009, que determina a massa específica; e a NBR NM 45/2006, que determina a massa unitária.

4.2.4 Água

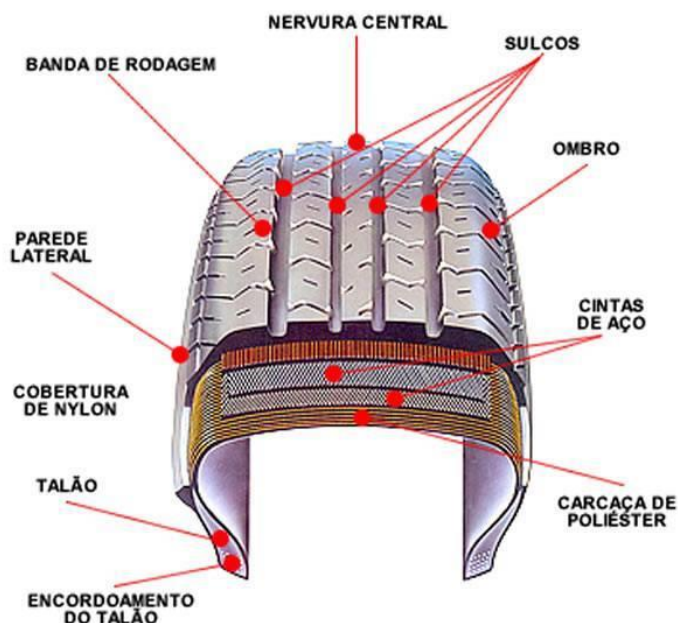
Para a realização do experimento foi utilizado água potável, oriunda do poço artesiano da Faculdade FAEMA. Foi utilizado um total de 21,78 litros.

4.2.5 Fibra de Aço

As fibras de aço utilizadas no procedimento experimental foram obtidas de pneus inutilizáveis, oriundos de borracharias localizadas no município de Ariquemes-RO. Os pneus utilizados são de veículos automotores leves (carros de passeio).

Primeiramente foi necessário um estudo detalhado das partes que constituem a camada de rodagem do pneu (Figura 11), em seguida foi dado início ao processo de obtenção das fibras, o qual foi realizado manualmente, tendo em vista que na região não dispõe de local especializado que faça esse procedimento mecanizado. Mas existe procedimento específico para a retirada do aço, por exemplo, o processo físico-mecânico que é um esquema fácil de reciclar o pneu, pois passam por um sistema que seus elementos são segregados para reaproveitamento, posteriormente o aço é destacado após a trituração e utilização de eletroímãs.

Figura 11: Esquema de um pneu em corte.



Fonte: BRAZIL TIRES (2018).

Com o auxílio de uma faca foi cortada a parte do talão do pneu, esta onde se encontra os filamentos que apresentam facilidade para a retirada dos mesmos (Figura 12). Após a retirada das fibras foi utilizado uma lixa para remover os resíduos de borrachas e regularizá-las, em seguida foram cortadas em tamanho médio de 5 cm. De acordo com a NBR 15530/2019, as fibras utilizadas se classificam conforme sua geometria, como do tipo R (lisa) e classe I (derivada de arame trefilado a frio), com diâmetro aproximado de 0,8 mm. Foi utilizado um total de 1,382 kg.

Figura 12: Procedimento para obtenção das fibras.



Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme Figueiredo (2000), indica-se a aplicação de fibras com tamanho igual ou superior a duas vezes a dimensão máxima do agregado utilizado no concreto, pois quanto mais direcionadas as fibras estiverem em relação ao sentido da tensão principal de tração, melhor será o desempenho do compósito.

4.3 PRODUÇÃO DO CONCRETO E DOS CORPOS DE PROVA

O traço estipulado para o concreto foi definido de acordo com uma dosagem usualmente usado na região, em que se obteve um traço de 1: 2: 3: 0,6 (cimento, areia, brita e água) com a finalidade de obter aos 28 dias uma resistência de 20 MPa. Ademais, foi adicionado as fibras de aço em relação ao volume de concreto. Foi realizado o traço referência (REF) sem adição de fibras de aço, o traço com 15 kg de fibras de aço para 1 m³ de concreto (F15), resultando em 0,648% e o traço com 25 kg de fibras de aço para 1 m³ de concreto (F25), resultando em 1,08%, de acordo com a Tabela 8. A quantidade de fibras utilizadas foi estipulada de acordo com a empresa Maccaferri América Latina, fabricante de fibras de aço para concreto, que recomenda a utilização média de 25 kg/m³.

Tabela 8: Traço do concreto.

Traço	Cimento (kg)	Fibra (kg)	Areia (kg)	Água (L)	Brita (kg)
REF	12,114	0,000	24,228	7,260	36,342
F15	12,114	0,51823	24,228	7,260	36,342
F25	12,114	0,86372	24,228	7,260	36,342
Total	36,342	1,382	72,684	21,780	109,026

Fonte: Autoria própria (2021).

Em seguida foi dado início ao processo de produção do concreto, sendo utilizado uma betoneira elétrica com capacidade de 400 litros, pertencente ao laboratório de corpo de prova da Faculdade FAEMA, como equipamento de misturador do concreto (Figura 13). Primeiro foi inserido a brita e o cimento com metade da água utilizada, após a mistura desses materiais foi colocado a areia, juntamente com o restante da água, que foi misturado para homogeneização, por último foi inserida a fibra de aço, com a quantidade estipulada para cada concreto.

Figura 13: Produção do concreto.



Fonte: Autoria própria (2021).

Posteriormente foram confeccionados os corpos de provas de acordo com a NBR 5738/2015, que determina o procedimento para moldagem e cura dos corpos de provas, usando os recipientes com dimensões de 10 x 20 cm. Foram confeccionados 18 corpos de provas (Figura 14), com o traço (REF) do concreto sem fibras e mais 18 corpos de provas para cada concreto com os respectivos teores de fibras (F15 e F25), totalizando 54 corpos de provas que serão submetidos a resistência à compressão axial e a resistência à tração por compressão diametral.

Figura 14: Moldagem dos corpos de provas.



Fonte: Autoria própria (2021).

Somente decorrido 24 horas, os corpos de provas foram retirados dos moldes, para evitar a perda de água no concreto, conforme a NBR 5738/2015 (que determina os procedimentos para cura do concreto), iniciando-se o processo de cura. Os quais foram inseridos em um recipiente com água, juntamente com uma solução de hidróxido de cálcio, de acordo com a NBR 5738/2015, os quais permaneceram, respectivamente, por 7, 14 e 28 dias (Figura 15).

Figura 15: Cura dos corpos de provas.



Fonte: A autoria própria (2021).

4.4 ENSAIOS

4.4.1 Agregado Miúdo

4.4.1.1 Massa Específica

Foi realizado o procedimento conforme a NBR NM 52/2009 para determinar a massa específica (Figura 16). Assim, foi utilizado 1500 g de areia para a preparação do procedimento experimental, na qual a amostra foi colocada em um recipiente e coberta com água que permaneceu em descanso por 24 horas. Em seguida foi utilizado um molde em que foi inserido o agregado e compactado com uma haste com 25 golpes, para que após a retirada do molde o agregado permaneça em seu formato, chegando à condição de saturado e superfície seca. Posteriormente a preparação, deu início ao procedimento experimental que consistiu em pesar 500 g do agregado e inseri-lo em um frasco de 500 cm³, completando com água e pesando novamente o

material. Para finalizar, o agregado foi retirado do frasco e colocado em um novo recipiente, sendo levado a estufa a uma temperatura de 105 °C para secagem do material e realizar nova pesagem.

Figura 16: Procedimento para obtenção da massa específica.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para determinar a massa específica do agregado foi utilizada a seguinte fórmula:

$$d = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}}$$

onde:

d = é a massa específica do agregado (g/cm^3);

m = é a massa da amostra seca na estufa (g);

V = é o volume do frasco (cm^3);

V_a = é o volume de água complementada no frasco (cm^3);

m_s = é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

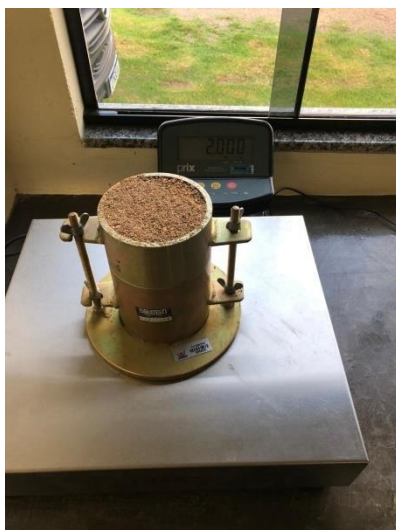
ρ_a = é a massa específica da água (g/cm^3).

4.4.1.2 Massa Unitária

Foi realizado o procedimento de acordo com a NBR NM 45/2006, que determina a massa unitária, (Figura 17). Para dar início ao procedimento, foi separado

3000 g do agregado miúdo e colocado na estufa em uma temperatura de 105 °C, por um período de 24 horas, para secagem do material e melhor obtenção do resultado. Após a secagem foi dado início ao procedimento que foi realizado de acordo com o “método C” para determinar a massa unitária do agregado no estado solto, no qual foi necessário estabelecer e marcar a massa do recipiente vazio. Em seguida, foi utilizado uma pá para encher o recipiente, lançando a areia de uma altura inferior a 5 cm acima da beirada mais alta do recipiente, até que o mesmo transbordou. Posteriormente foi nivelado a camada superficial do recipiente e determinado novamente a massa do conjunto do recipiente mais o agregado.

Figura 17: Procedimento para obtenção da massa unitária.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para quantificar a massa unitária da areia foi aplicada a seguinte fórmula:

$$\rho_{ap} = (m_{ar} - m_r) \cdot F$$

onde:

ρ_{ap} = é a massa unitária da areia (Kg/m³);

m_{ar} = é a massa do recipiente mais o agregado (Kg);

m_r = é a massa do recipiente vazio (Kg);

V = é o volume do recipiente (m³);

F = é o fator para o recipiente (1/m³).

4.4.1.3 Composição Granulométrica

Foi realizado o ensaio conforme a NBR NM 248/2003 para determinar a composição granulométrica do agregado miúdo (Figura 18). Primeiramente foi necessário colocar o agregado miúdo na estufa em uma temperatura de 105 °C, por um período de 24 horas, posteriormente foi separado duas amostras de 500 g para dar início ao ensaio. No procedimento experimental foi utilizado um agitador mecânico e as seguintes peneiras com diâmetros de abertura de 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,425 mm, 0,30 mm, 0,15 mm e o fundo do conjunto de peneiras.

Figura 18: Agitador mecânico de peneiras.



Fonte: Autoria própria (2021).

As peneiras utilizadas foram organizadas de cima para baixo, de modo que as que possuem maior abertura da malha fiquem por cima. Assim, foi colocado a primeira amostra do agregado na primeira peneira e agitado até que o agregado não passe mais para a peneira de baixo, em seguida sendo pesado o material retido em cada peneira, até chegar no fundo. Finalizado o procedimento foi repetido com a segunda amostra do agregado.

4.4.2 Agregado graúdo

4.4.2.1 Massa Específica

Foi realizado o procedimento conforme a NBR NM 53/2009 para determinar a massa específica do agregado graúdo (Figura 19). Para iniciar o ensaio o material foi colocado em uma forma que foi adicionado água, até cobrir todo o agregado, que ficou em repouso durante 24 horas em temperatura ambiente. Posteriormente foi retirada a água da forma e utilizado um pano para secar a superfície do agregado, de modo que manteve saturado, mas com a superfície seca, em seguida foi realizado a pesagem. Posteriormente foi realizado uma nova pesagem do material submerso em água com temperatura de (23 ± 2) °C, utilizando um cesto de arame.

Figura 19: Pesagem do agregado graúdo submerso em água.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para finalizar o ensaio, o agregado graúdo foi colocado em estufa a uma temperatura de 105 °C, o qual permaneceu durante 24 horas. Após esse período o material foi retirado da estufa e deixado para esfriar em temperatura ambiente, posteriormente foi realizado nova pesagem.

Para quantificar a massa específica aparente da brita foi aplicada a seguinte fórmula:

$$d_a = \frac{m}{m - m_a}$$

onde:

d_a = é a massa específica aparente (g/cm^3);

m = é a massa ao ar da amostra seca em estufa (g);

m_a = é a massa em água da amostra saturada (g).

4.4.2.2 Massa Unitária

Foi realizado o ensaio conforme a NBR NM 45/2006 para determinar a massa unitária do agregado graúdo. Para dar início ao procedimento, o agregado graúdo foi colocado na estufa em uma temperatura de 105 °C, por um tempo de 24 horas, para secagem do material. Após a secagem foi dado início ao procedimento que foi realizado de acordo com o “método C” para determinar a massa unitária do agregado no estado solto, no qual foi necessário determinar e registrar a massa do recipiente vazio. Em seguida, foi utilizado uma pá para encher o recipiente, lançando a brita de uma altura inferior a 5 cm acima da beirada mais alta do recipiente, até que o mesmo transbordou. Posteriormente foi nivelado a camada superficial do recipiente e estipulado mais uma vez a massa da união do recipiente mais a brita.

Para quantificar a massa unitária da brita foi aplicada a seguinte fórmula:

$$\rho_{ap} = (m_{ar} - m_r) . F$$

onde:

ρ_{ap} = é a massa unitária do agregado (Kg/m³);

m_{ar} = é a massa do recipiente mais o agregado (Kg);

m_r = é a massa do recipiente vazio (Kg);

V = é o volume do recipiente (m³);

F = é o fator para o recipiente (1/m³).

4.4.2.3 Composição Granulométrica

O procedimento foi realizado conforme a NBR NM 248/2003 para determinar a composição granulométrica do agregado graúdo (Figura 20). Primeiramente foi necessário colocar o material na estufa a um ambiente de 105 °C, por um tempo de 24 horas, posteriormente foi separado duas amostras de 2000 g para dar início ao ensaio. No procedimento experimental foi utilizado um agitador mecânico e as

seguintes peneiras com diâmetros de abertura de 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm e o fundo do conjunto de peneiras.

Figura 20: Agitador mecânico de peneiras.



Fonte: Autoria própria (2021).

As peneiras utilizadas foram organizadas de cima para baixo, de modo que as que possuem maior abertura da malha fiquem por cima. Assim, foi aplicada a primeira amostra da brita na peneira superior e agitado até que o agregado não passe mais para a peneira subsequente, posteriormente foi mensurado o material que restou em cada peneira, até chegar no fundo. Finalizado o procedimento foi repetido com a segunda amostra do agregado.

4.4.3 Abatimento do Tronco de Cone

Este procedimento foi realizado para caracterizar a consistência do concreto (Figura 21), segundo a NBR NM 67/1998.

Para realizar o ensaio foi necessário utilizar um molde com formato de um tronco de cone oco, apresentando estas características: diâmetro da base inferior de $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$; diâmetro da base superior de $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$; altura de $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, como também, uma haste de compactação de seção circular, reta, feita de aço, com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas e uma placa de base retangular metálica para apoiar o molde.

Figura 21: Abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para dar início no ensaio os materiais utilizados foram umedecidos, em seguida foi dividido o molde em 3 camadas com alturas aproximadas para preenchimento do concreto fresco, sendo que ao completar cada camada o concreto foi compactado com 25 golpes utilizando a haste, de modo que a haste não ultrapasse para a outra camada. Ao completar todo o molde foi regularizado a superfície do concreto, depois foi levantado o molde verticalmente entre 5 a 10 segundos. Por fim foi realizado a medição da diferença de tamanho do concreto com o recipiente.

4.4.4 Resistência à Compressão Axial

O primeiro ensaio foi realizado após decorrerem 7 dias de cura dos corpos de provas, o segundo após 14 dias e o último aos 28 dias (Figura 22), de acordo com a NBR 5739/2018, que determina o procedimento de compressão em corpos de provas.

Figura 22: Rompimento do corpo de prova.



Fonte: Autoria própria (2021).

Foi utilizado a seguinte fórmula para obtenção do resultado da resistência a compressão axial:

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2}$$

Onde:

f_c : é a resistência a compressão axial (MPa);

F : é a força máxima aplicada (N);

D : é o diâmetro do corpo de prova (mm).

4.4.5 Resistência à Tração por Compressão Diametral

O primeiro ensaio foi realizado após decorrerem 7 dias de cura dos corpos de provas, o segundo após 14 dias e o último aos 28 dias (Figura 23), conforme a NBR 7222/2011, que caracteriza a resistência a tração por compressão diametral.

Figura 23: Rompimento do corpo de prova.



Fonte: Autoria própria (2021).

Foi utilizado a seguinte fórmula para obtenção do resultado da resistência a tração por compressão diametral:

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi D l}$$

Onde:

f_{ct} : é a resistência a tração por compressão diametral (MPa);

F : é a força máxima aplicada (N);

D : é o diâmetro do corpo de prova (mm);

l : é o comprimento do corpo de prova (mm).

5 RESULTADOS E DISCUÇÕES

5.1 AGREGADO MIÚDO

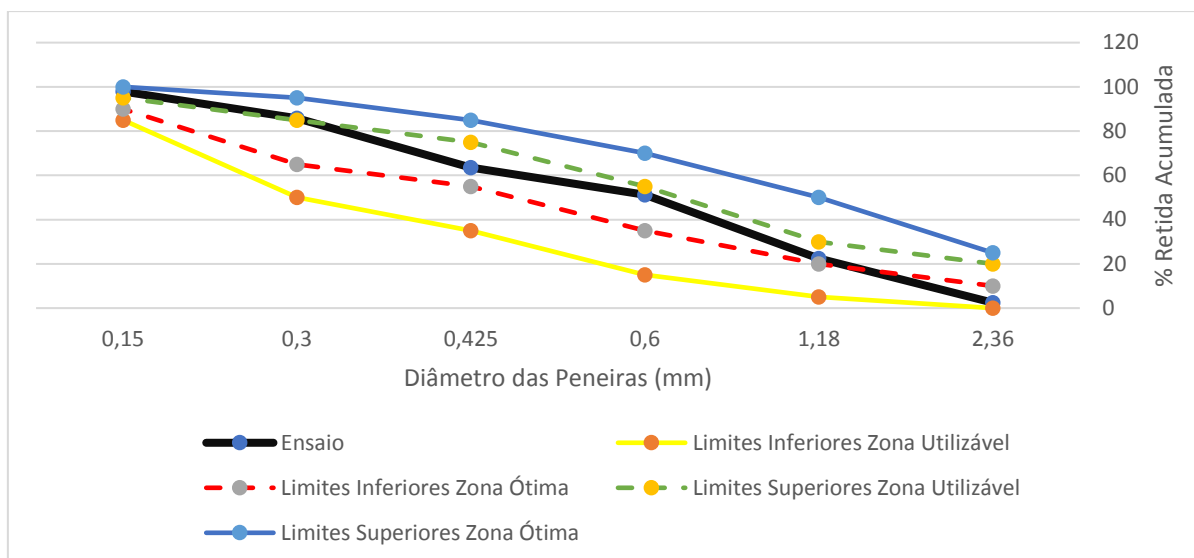
Os resultados foram obtidos através da areia média, como descrito anteriormente. Foi possível obter a massa específica, a massa unitária, a composição granulométrica, o diâmetro máximo e o módulo de finura conforme Tabela 9 e a curva granulométrica conforme Gráfico 1.

Tabela 9: Resultados dos ensaios do agregado miúdo.

Diâmetro da peneira (mm)	Material retido (g)	Porcentagem (%)		
		Retida	Acumulada	Passante
2,36	12,23	2,445	2,445	97,56
1,18	100,07	20,014	22,459	77,54
0,60	143,84	28,767	51,226	48,77
0,425	61,52	12,304	63,53	36,47
0,30	111,56	22,311	85,841	14,16
0,15	60,28	12,056	97,897	2,10
Fundo	10,22	2,044	99,941	0,00
Total	499,71	99,941		
Diâmetro máximo (mm)	2,36			
Módulo de finura	3,23			
Massa específica (g/cm ³)	2,96			
Massa unitária (g/cm ³)	1,41			

Fonte: Autoria própria (2021).

Pode-se observar que a areia se encontra em zona utilizável, tendo em vista que o módulo de finura resultou em 3,23, estando entre 2,90 e 3,50, de acordo com a NBR 7211/2009, que especifica a granulometria dos agregados.

Gráfico 1: Curva granulométrica da areia.

Fonte: Autoria própria (2021).

5.2 AGREGADO GRAÚDO

Os resultados foram obtidos através da brita 1, assim foi possível obter a massa específica, a massa unitária, a composição granulométrica, o diâmetro máximo e o módulo de finura conforme Tabela 10 e a curva granulométrica conforme Gráfico 2.

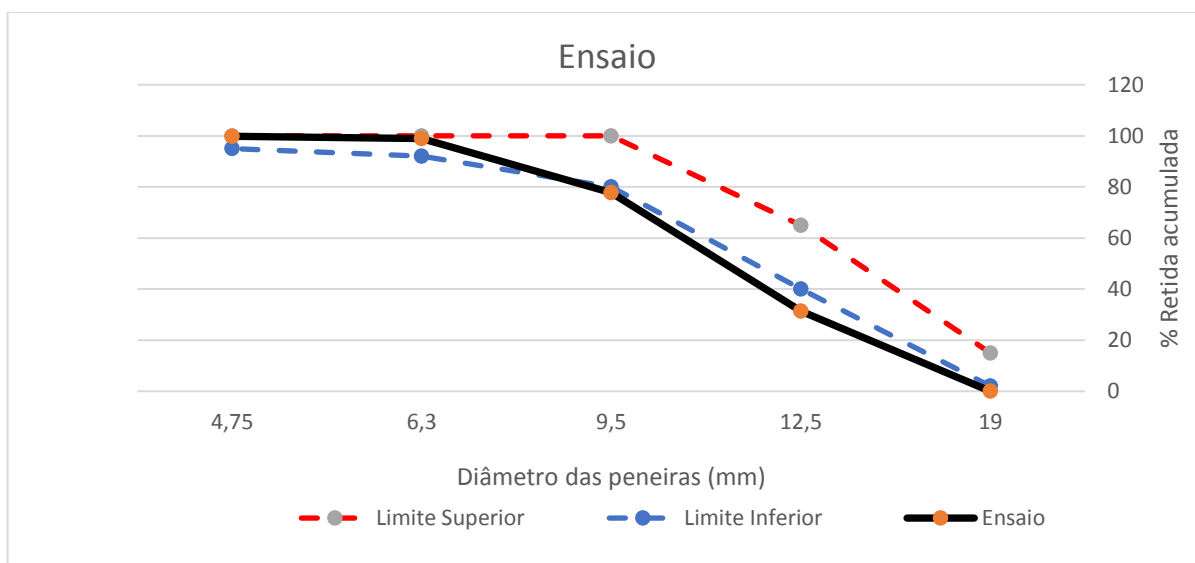
Tabela 10: Resultados dos ensaios do agregado graúdo.

Diâmetro da peneira (mm)	Material retido (g)	Porcentagem (%)		
		Retida	Acumulada	Passante
19,0	0	0	0	100,00
12,5	628,79	31,44	31,44	68,56
9,5	927,385	46,37	77,81	22,19
6,3	422,22	21,11	98,92	1,08
4,75	18,015	0,90	99,82	0,18
Fundo	2,5	0,125	99,95	0,05
Total	1998,91	99,95		
Diâmetro máximo (mm)	12,5			
Módulo de finura	3,08			
Massa específica (g/cm ³)	2,47			
Massa unitária (g/cm ³)	1,54			

Fonte: Autoria própria (2021).

Foi possível observar que a brita é utilizável, tendo em vista que foi cumprido o critério de variação máximo de cinco unidades percentuais em cada zona granulométrica, de acordo com a NBR 7211/2009, que especifica a granulometria dos agregados.

Gráfico 2: Curva granulométrica da brita.



Fonte: Autoria própria (2021).

5.3 ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

Este resultado foi obtido através do abatimento do tronco de cone, para analisar a consistência do concreto no estado fresco, conforme a Tabela 11.

Tabela 11: Abatimento do tronco de cone.

Traço	Abatimento (cm)
REF	4
F15	2,75
F25	2,70

Fonte: Autoria própria (2021).

Ao analisar os resultados foi possível observar que o concreto está na classe S10, característica de baixa plasticidade, pois todos os traços resultaram entre $10 \leq a < 50$ mm, de acordo com a NBR NM 67. Outra característica observada é que o

abatimento foi maior para o traço REF sem aplicação de fibras de aço, e baixo abatimento quando o volume de fibra é maior. Conforme Barbosa (2019), que adicionou fibras de aço de pneus no concreto na proporção de 1%, 2% e 3%, obteve resultados de menor abatimento quando utilizado maiores percentuais de fibras de aço. De acordo com Neville (2013), a trabalhabilidade do concreto é diminuída com maiores teores de fibras.

5.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

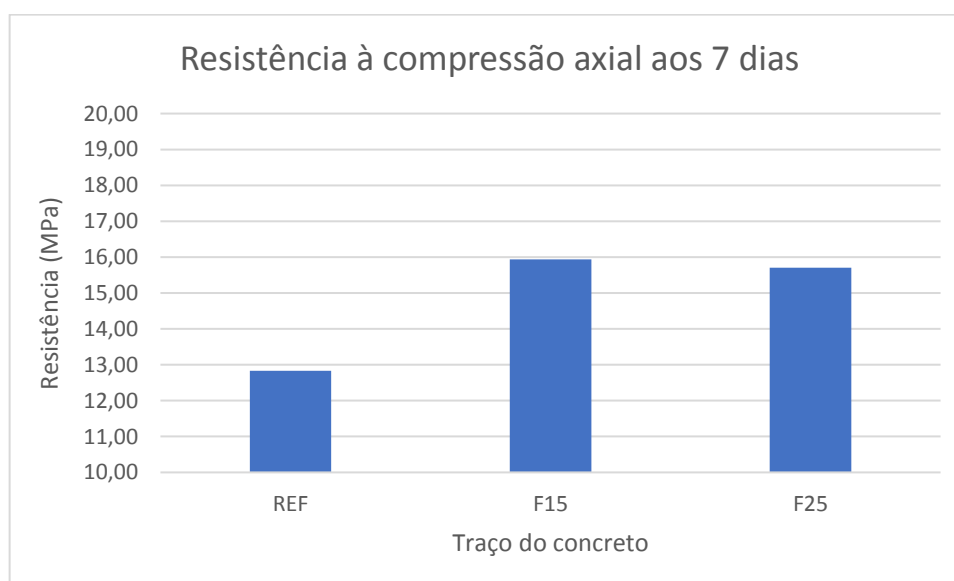
Os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial estão descritos de acordo com cada idade de cura dos corpos de provas, sendo aos 7 dias (Tabela 12 e Gráfico 3), 14 dias (Tabela 13 e Gráfico 4) e 28 dias (Tabela 14 e Gráfico 5), e o comparativo dos resultados de todas as idades (Gráfico 6).

Tabela 12: Resultados dos ensaios de compressão axial aos 7 dias.

Traço	Compressão Axial (MPa)			Média
	Resistência do corpo de prova			
	1	2	3	
REF	14,46	11,10	12,92	12,83
F15	15,83	16,52	15,46	15,94
F25	14,62	17,21	15,28	15,70

Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 3: Resistência à compressão axial aos 7 dias.



Fonte: Autoria própria (2021).

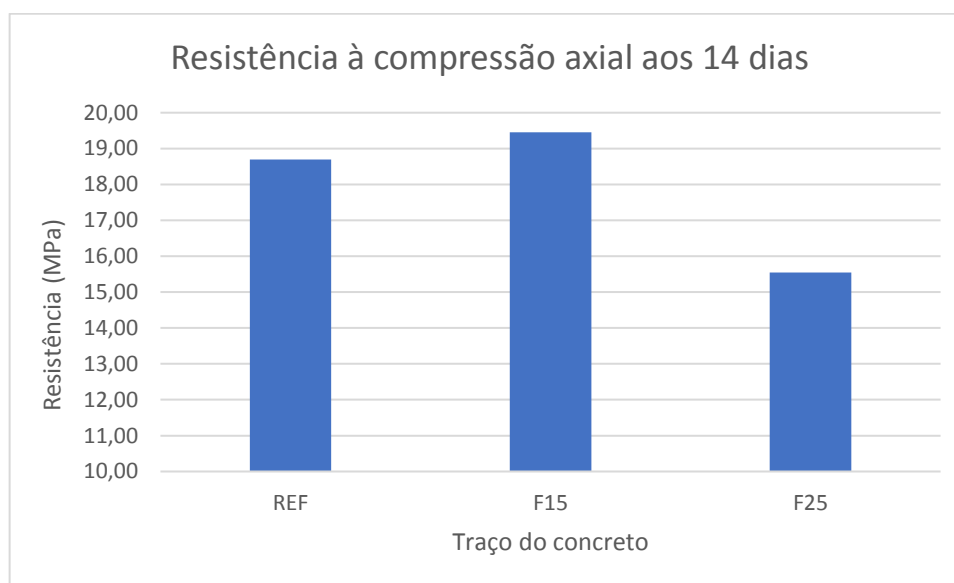
Foi observado que aos 7 dias os traços F15 e F25 apresentaram um aumento de resistência em relação ao traço referência, sendo respectivamente uma melhora de 24% e 22%.

Tabela 13: Resultados dos ensaios de compressão axial aos 14 dias.

Traço	Compressão Axial (MPa)			Média
	Resistência do corpo de prova			
	1	2	3	
REF	18,82	17,24	20,02	18,69
F15	18,43	21,49	18,44	19,45
F25	16,29	13,86	16,49	15,55

Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 4: Resistência à compressão axial aos 14 dias.



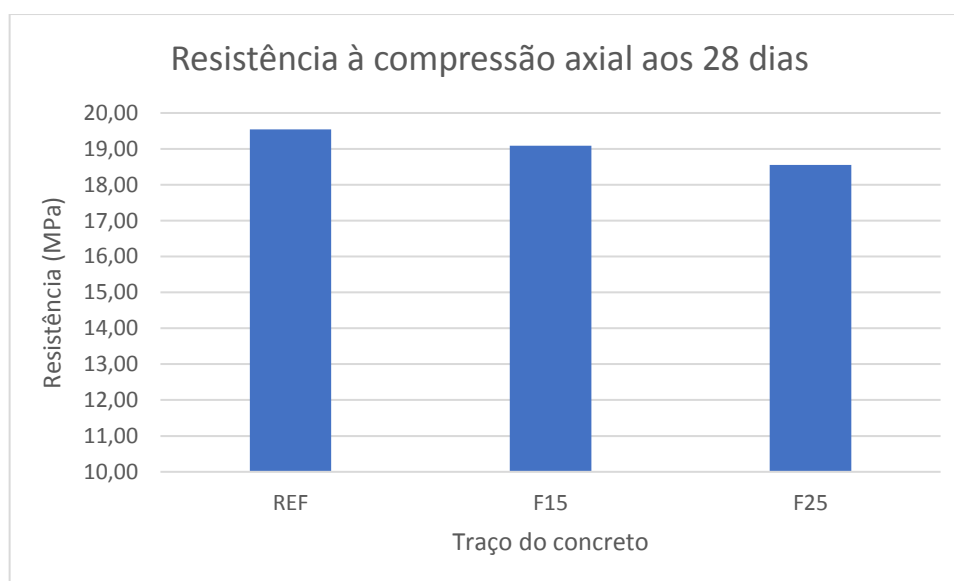
Fonte: Autoria própria (2021).

Já aos 14 dias, o traço F15 apresentou resistência inferior de aproximadamente 4%, e o traço F25 apresentou resistência inferior de aproximadamente 17%, ambos em relação ao traço de referência.

Tabela 14: Resultados dos ensaios de compressão axial aos 28 dias.

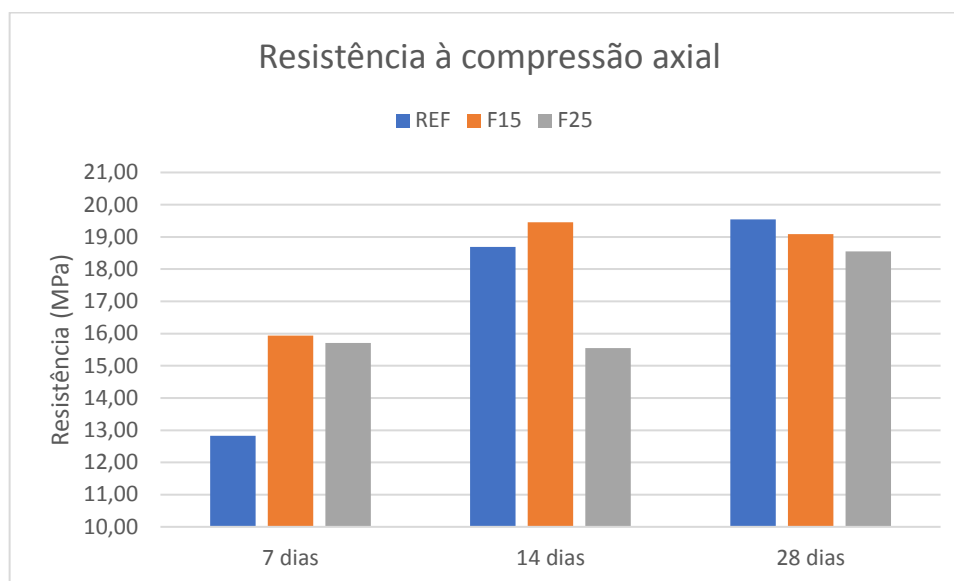
Traço	Compressão Axial (MPa)			Média
	Resistência do corpo de prova			
	1	2	3	
REF	18,87	16,47	23,29	19,54
F15	18,69	19,92	18,65	19,09
F25	17,07	19,65	18,93	18,55

Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 5: Resistência à compressão axial aos 28 dias.

Fonte: Autoria própria (2021).

Por fim, aos 28 dias o traço referência obteve o melhor resultado, pois o traço F15 teve uma baixa redução com mais de 2%, e o traço F25 uma redução de aproximadamente 5%, comparados ao traço de referência.

Gráfico 6: Comparativo do resultado de resistência à compressão axial.

Fonte: Autoria própria (2021).

Ao analisar outros estudos, foi possível identificar que em relação a testes de resistência à compressão axial há uma variação de resultados quando adicionado as fibras de aço. Para Colpo (2011), que utilizou fibras de aço fabricadas pela Maccaferri com adição de 15 kg, 25 kg e 35 kg por m³ de concreto, obteve melhores resistências na proporção de 4,01%, 7,05% e 12,79%. Porém, de acordo com Barbosa (2019), que utilizou fibras de aço de pneus inservíveis com adição de 1%, 2% e 3%, obteve uma melhor resistência quando adicionado 2% na proporção de 3,8% de melhora, já para adição de 1% e 3% obteve resistências inferiores de 12,94% e 9,24%.

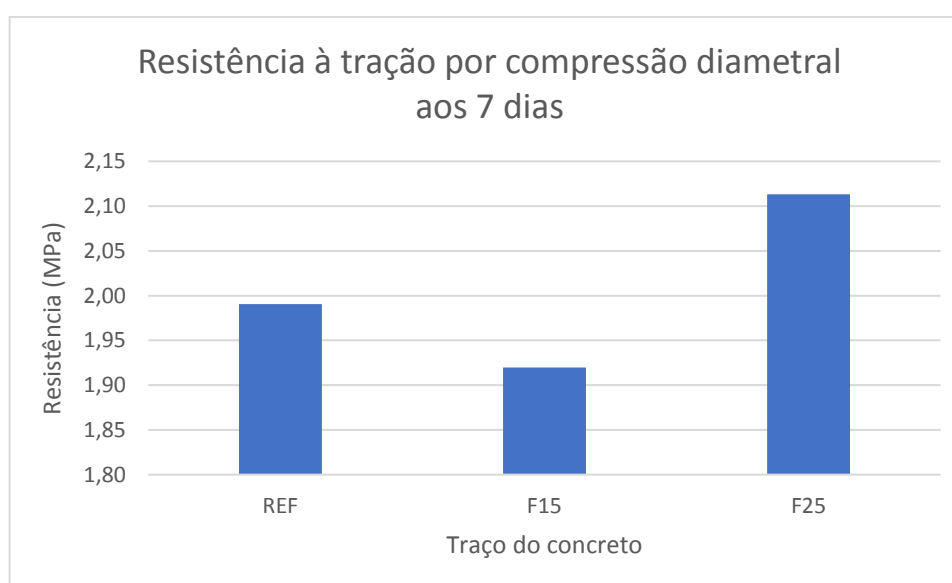
5.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados obtidos nos ensaios de tração por compressão diametral estão descritos de acordo com cada idade de cura dos corpos de provas, sendo aos 7 dias (Tabela 15 e Gráfico 7), 14 dias (Tabela 16 e Gráfico 8) e 28 dias (Tabela 17 e Gráfico 9), e o comparativo dos resultados de todas as idades (Gráfico 10).

Tabela 15: Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral aos 7 dias.

Traço	Tração por Compressão Diametral (MPa)			Média
	Resistência do corpo de prova			
	1	2	3	
REF	2,14	1,98	1,85	1,99
F15	2,03	2,04	1,70	1,92
F25	2,21	1,84	2,29	2,11

Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 7: Resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias.

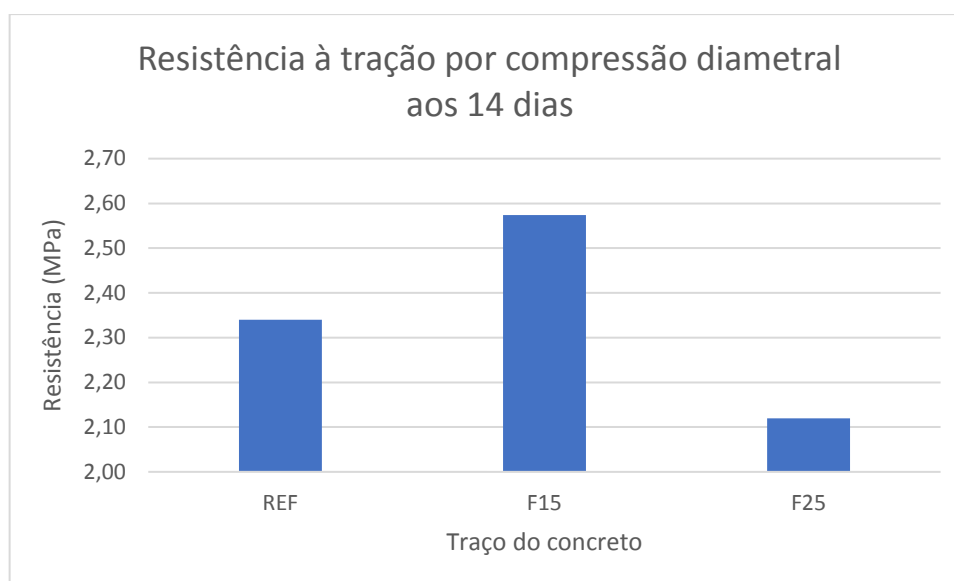
Fonte: Autoria própria (2021).

Observa-se que aos 7 dias o traço F15 teve um resultado inferior ao traço de referência de 3,5%, enquanto que o traço F25 obteve um melhor resultado de aproximadamente 6%, comparado ao traço de referência.

Tabela 16: Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral aos 14 dias.

Traço	Tração por Compressão Diametral (MPa)			Média
	Resistência do corpo de prova			
	1	2	3	
REF	1,85	2,52	2,65	2,34
F15	2,47	2,72	2,53	2,57
F25	2,21	2,01	2,14	2,12

Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 8: Resistência à tração por compressão diametral aos 14 dias.

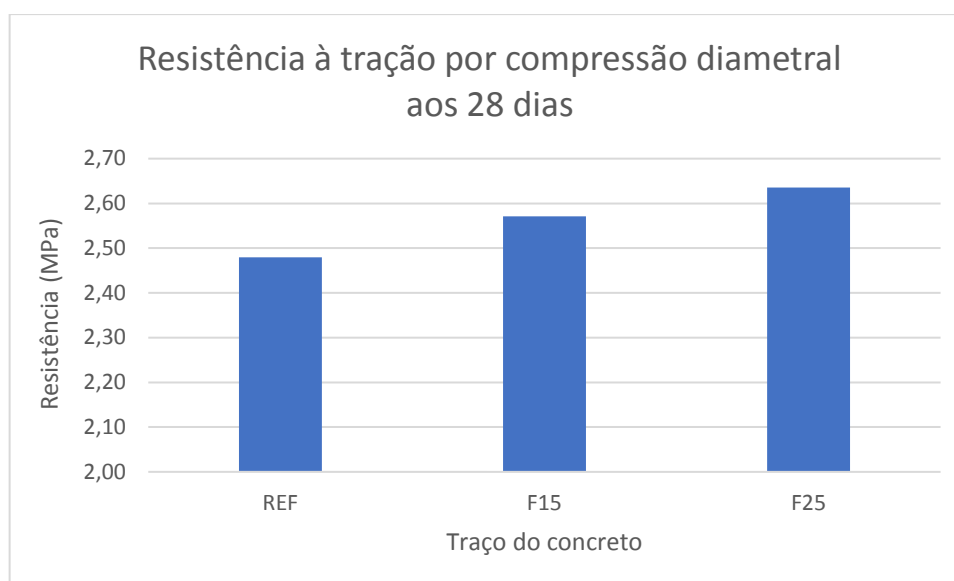
Fonte: Autoria própria (2021).

Já aos 14 dias, o traço F15 que apresentou melhor resultado em relação ao traço de referência, com uma melhora de quase 10%, e o traço F25 obteve um resultado inferior ao traço de referência de aproximadamente 10%.

Tabela 17: Resultados dos ensaios de tração por compressão diametral aos 28 dias.

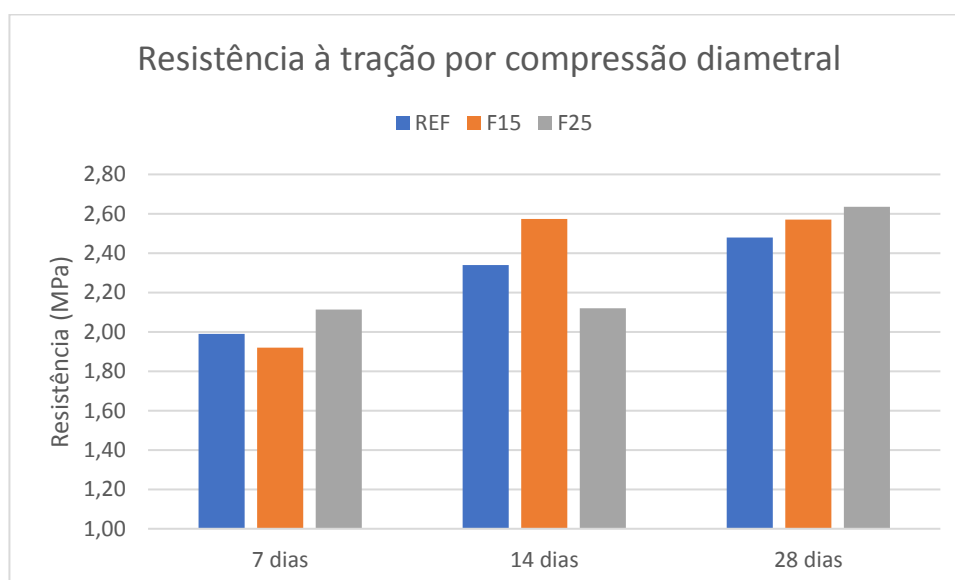
Traço	Tração por Compressão Diametral (MPa)			
	Resistência do corpo de prova			Média
	1	2	3	
REF	2,62	2,37	2,45	2,48
F15	2,27	2,80	2,64	2,57
F25	2,53	2,83	2,54	2,64

Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 9: Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

Fonte: Autoria própria (2021).

Por fim, aos 28 dias os traços F15 e F25 obtiveram resultados superiores ao traço de referência, sendo respectivamente uma melhora de aproximadamente 3,6% e 6,5%.

Gráfico 10: Comparativo de resistência à tração por compressão diametral.

Fonte: Autoria própria (2021).

Comparando a outros estudos, foi possível identificar que em relação a testes de resistência à tração por compressão diametral há um ganho de resistência, na

maioria das vezes, quando adicionado as fibras de aço. Conforme Colpo (2011), que utilizou fibras de aço fabricadas pela Maccaferri com adição de 15 kg, 25 kg e 35 kg por m³ de concreto, obteve melhores resistências na proporção de 8,59%, 39,47% e 45,83%. E de acordo com Barbosa (2019), que utilizou fibras de aço de pneus inservíveis com adição de 1%, 2% e 3%, obteve melhores resistências quando adicionado 1% e 2% na proporção de 12,5% e 5,4% de melhora, porém para adição de 3% obteve resistência inferior de 1,66%.

5.6 COMPORTAMENTO DO CONCRETO PÓS FISSURAÇÃO

Pode-se observar que o concreto convencional (sem adição de fibras de aço) possui característica frágil, tendo em vista que ao submetê-los às cargas ele sofre uma fratura após pouca deformação, acontecendo um rompimento brusco no ensaio de resistência à tração por compressão diametral (Figura 24). Quanto ao ensaio de compressão axial, ocorreu inúmeras fissuras no concreto quando submetido a cargas de compressão (Figura 24).

Figura 24: Comportamento do concreto pós fissuração sem adição de fibras de aço.



Fonte: Autoria própria (2021).

Já quando é adicionado fibras de aço é alterado o comportamento do concreto, pois ele deixa de agir como frágil e age como dúctil. As fibras tem a função de retardar a propagação de fissuras quando o concreto está submetido às tensões, nos ensaios

de resistência à tração por compressão diametral as fibras evitaram que o concreto se rompesse bruscamente (Figura 25). Em relação ao ensaio de resistência à compressão axial foi possível notar a diminuição de fissuras no corpo de prova.

Figura 25: Comportamento do concreto pós fissuração com adição de fibras de aço.



Fonte: Autoria própria (2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como estudo as propriedades mecânicas do concreto comum com a adição de fibras de aço de pneus deteriorados. Assim, pode-se observar que a utilização de fibras de aço retarda a propagação de fissuras no concreto, tendo em vista que altera seu comportamento de frágil para dúctil.

O concreto obtido se identifica com consistência na classe S10 em todos os traços utilizados. Foi observado que a consistência varia de acordo com o teor de fibras de aço utilizadas, sendo que quanto maior o teor, menor foi o abatimento.

Pode-se observar que em relação a compressão axial, o concreto com traços F15 e F25 apresentaram melhores resistências nos primeiros dias de cura, comparados ao traço de referência. Mas ao longo dos dias o traço de referência foi melhorando sua resistência e apresentou o melhor resultado após os 28 dias de cura com uma resistência média de 19,54 MPa.

Quanto a resistência à tração por compressão diametral houve uma variação nos resultados para cada traço em relação ao período de cura. Sendo que nos primeiros dias o traço F25 apresentou melhor resistência, já aos 14 dias o traço F15 apresentou um melhor resultado, e por fim, aos 28 dias de cura o traço F25 obteve o melhor resultado com uma resistência média de 2,64 MPa.

Portanto, no decorrer do trabalho, percebeu-se a necessidade de novas pesquisas, sendo assim, segue as seguintes sugestões de novos estudos:

- Utilizar fibras de aço de pneus em concreto convencional com um traço de referência diferente;
- Inserir diferentes teores de fibras de aço;
- Utilizar tamanhos diversos das fibras de aço
- Realizar testes de resistência à tração na flexão para corpos de prova prismáticos.

7 REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 544.1R-96**: State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. Michigan (EUA): ACI Committee 544, 1996.
- ALVES, J.D. **Manual de Tecnologia do Concreto**. 3º ed. Goiânia, Editora UFG, 1993.
- ALVES, J.D. **Materiais de construção**. 2º ed. Goiânia: Editora Universidade Federal de Goiás, 1987.
- ANDRIOLO, F.R. **Construção de concreto, manual de práticas para controle e execução**. São Paulo: PINI, 1984.
- AOKI, Jorge. Fibras para concreto. **Cimento Itambé**, 2010. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/fibras-para-concreto/>>. Acesso em: 05/12/20.
- ARAÚJO, J, M. **Modelos de previsão da fluência e da retração do concreto**. Número 4. Rio Grande, RS: Dunas, 2002
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: 2014.
- 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: 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8224**: Concreto endurecido — Determinação da fluência — Método de ensaio. Rio de Janeiro: 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: Fibras de aço para concreto — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: 1998.

BARBOSA, A. B. **Propriedades mecânicas de concreto convencional com incorporação de fibras de aço de pneus inservíveis**. Monografia (Graduação), Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Angicos-RN, 2019.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BENTUR, A., MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. New York, NY, USA, Taylor e Francis, 2007.

BERTOLLO, S. A. M; JÚNIOR, J. K. F; VILLAVERDE, R. B; FILHO, D. M. **Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados**. Revista Limpeza Pública, n. 54. Associação Brasileira de Limpeza Pública – ABPL, 2000

CALLISTER JR, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução**. 5 ed. LTC, 2002.

Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartados por ano no Brasil. **SEST SENAT**, 2019. Disponível em: < <https://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>>. Acesso em: 06/12/20.

CHENKUI, H.; GUOFAN, Z. **Properties of steel fibre reinforced concrete containing larger coarse aggregate**. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 17. 1995.

COLPO, G. B. **Uso de fibras de aço em concreto para pavimentos**. TCC (Graduação), Universidade Federal do Pampa, Alegrete-RS, 2011.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 416, de 01 de outubro de 2009. Resoluções.

FIBRAS DE POPROPILENO. **NTC Brasil**, 2016. Disponível em: <<https://www.ntcbrasil.com.br/blog/fibras-de-polipropileno/>>. Acesso em: 05/12/20.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras**. Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações. IBRACON. São Paulo, 2005.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FUSCO, P. B.; ONISHI, M. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. Editora Cengage, São Paulo, 2017.

- GUIMARÃES, D. **Avaliação das propriedades de concretos reforçados com fibras de aço para utilização em pisos industriais**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- GUIMARÃES, A.T.C. **Propriedades do Concreto Fresco**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.C.Isaia. IBRACON São Paulo, 2005.
- LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. **Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil**. Polímeros: Ciência e tecnologia, v. 18, n. 2, 2008.
- LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1ª edição. São Paulo, Blucher, 2006.
- LISBOA, E. S.; ALVES, E. D.; MELO, G. H. A. G. **Materiais de construção: concreto e argamassa**. 2ª Edição, Editora SAGAH, Porto Alegre, 2017.
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. PINI, 1994.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- MOSCATELLI, Ivo. **Fibras de aço em concreto de cimento Portland aplicados a pavimento**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas – SP, 2011.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2ª Edição, Editora Bookman, Porto Alegre, 2013.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª Edição, Editora Bookman, Porto Alegre, 2016.
- NUNES, Nelson L. **Contribuição para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em elementos de superfície restringidos**. Tese. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006. 253f.
- PARIZOTTO, L. **Concreto armado**. 1ª Edição, Editora Sagah, Porto Alegre, 2017.
- PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.
- VASCONCELOS, R. E. **Fratura do concreto reforçado com fibras de aço e de polipropileno em meios normal e agressivo**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.



RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

DISCENTE: Frankciel Cesar da Silva

CURSO: Engenharia Civil

DATA DE ANÁLISE: 24.08.2021

RESULTADO DA ANÁLISE

Estatísticas

Suspeitas na Internet: **6,88%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet ⚠️

Suspeitas confirmadas: **3,73%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados ⚠️

Texto analisado: **83,6%**

Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).

Sucesso da análise: **100%**

Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.4.11
terça-feira, 24 de agosto de 2021 17:24

PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente **FRANKCIEL CESAR DA SILVA**, n. de matrícula **28312**, do curso de Engenharia Civil, foi **APROVADO** na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 6,88%, devendo o aluno fazer as correções necessárias.

HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO

Bibliotecária CRB 1114/11

Biblioteca Júlio Bordignon

Faculdade de Educação e Meio Ambiente