

CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE RESÍDUO TÊXTIL ORIUNDO DA PRODUÇÃO DE PNEU

REINFORCED CONCRETE WITH
TEXTILE FIBER FROM ORIGIN OF
TIRE PRODUCTION

Letícia Andreolli Dias *leticia.dias.nh@hotmail.com*

Graduanda de Engenharia Civil na
Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

Daiana Cristina Metz Arnold *daim@feevale.br*

Mestra em Engenharia Civil pela Universidade
do Vale do Rio dos Sinos (São Leopoldo/Brasil).
Professora na Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

Fernanda Boll Birck *nanda.birck@hotmail.com*

Graduanda de Engenharia Civil na
Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

Adriana Teresinha Silva *adrianat@feevale.br*

Mestra em Engenharia Civil pela
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (São Leopoldo/Brasil).
Professora na Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

RT&T | a. 10 | n. 1 | p. 107-131 | jan./jun. 2019

Recebido em: 01 de novembro de 2017 | Aprovado em: 03 de fevereiro de 2018

Sistema de Avaliação: Double Blind Review | DOI: <https://doi.org/10.25112/rt&t.v10i1.1509>

RESUMO

A construção civil está em busca constante de materiais alternativos que supram as solicitações exigidas nas estruturas das edificações. Nesse contexto, as fibras têxteis residuais podem ser uma alternativa para as matrizes cimentícias como reforço estrutural contra a fissuração localizada, uma vez que o concreto armado é incapaz de absorvê-las. Por sua vez, a indústria de pneus gera grandes quantidades de resíduos têxteis que são destinados aos aterros sanitários, causando graves impactos ao meio ambiente. Nesse sentido, esta pesquisa buscou avaliar a viabilidade da incorporação de resíduo têxtil em forma de fibras, em concretos, visando aumentar a capacidade de deformação e o controle da fissuração. Para tanto, confeccionou-se um traço 1:2,21:3,21 (cimento:areia:brita) e incorporou-se as fibras nos teores de 2,7 e 3,6 Kg/m³ sobre o volume do concreto. Para caracterização das fibras foi verificada a geometria, o comprimento, o fator de forma e o diâmetro médio. No estado fresco do concreto, analisou-se a influência das fibras quanto a trabalhabilidade e a massa específica. Após, no estado endurecido, avaliou-se a densidade de massa, a resistência à compressão, a resistência à tração por compressão diametral e a resistência ao impacto. Além disso, verificou-se a forma de aderência e de ruptura da fibra na matriz cimentícia através do microscópio óptico. Deste modo, os resultados apontam viabilidade da incorporação de fibra têxtil em matrizes cimentícias, visto que estas diminuíram a fissuração localizada e auxiliaram na absorção de impactos no concreto, porém por se tratar de um assunto inovador, deve-se realizar mais estudos para que o compósito possa ser efetivamente utilizado na construção civil.

Palavras-chave: Concreto. Resíduo têxtil. Fissuras localizadas.

ABSTRACT

The civil construction is constantly seeking for alternative materials that meet the requirements of the buildings structures. In this context, residual textile fibers may be an option for cement matrix as a structural reinforcement against the localized cracking, considering that the reinforced concrete is unable to absorb them. With regard, the tire industry generates substantial amounts of textile waste that is destined for landfill sites, causing massive impacts to the environment. In this sense, this research sought to evaluate the feasibility of the incorporation of textile waste in the fibers form, in concrete, aiming to increase the deformation capacity and the control of cracking. In order to do so, the trace 1: 2,21: 3,21 (cement: sand: gravel) was made and the fibers were incorporated in the contents of 2.7 and 3.6 kg / m³ on the volume of the concrete. For characterization of the fibers, the geometry, length, shape factor and average diameter were verified. In the fresh state of the concrete, it was analyzed the influence of the fibers on the workability and the specific mass. Later, in the hardened state, the mass density, compressive strength, diametral compression tensile strength and impact strength were evaluated. In addition to that, the adhesion and rupture of the fiber in the cementitious matrix were checked through the optical microscope. Thus, the results indicate the feasibility of the incorporation of textile fiber in cementitious matrixes, since these reduced the localized cracking and helped in the absorption of impacts in the concrete; however, since it is an innovative subject, more studies may be done so that the composite can be used in civil construction.

Keywords: Concrete. Textile residue. Localized cracks.

1 INTRODUÇÃO

Com base no progresso tecnológico e na alta resistência que vem se mostrando necessária no concreto, por décadas foram realizadas pesquisas significativas para melhorar os materiais aglutinantes e adesivos, no entanto tais concretos perdem sua capacidade de carga depois de atingir certo pico de força compressiva, se mostrando frágeis quando se trata de resistência à tração (DINH; CHOI; KIM, 2016).

Para compensar este fator, incorpora-se barras de aço como reforço, a fim de aumentar a capacidade de deformação das estruturas, contudo as armaduras são incapazes de controlar as fissurações localizadas. Este fator é melhorado com o uso de fibras distribuídas no concreto, agindo como reforço para evitar as fissuras (PEREIRA; JUNIOR; FINEZA, 2017; WEI; MEYER, 2014).

A incorporação de fibras, como as de aço, vidro, polipropileno e de outros materiais poliméricos, são amplamente conhecidas por melhorarem as características de ruptura e fissuração do concreto, resultando em melhorias na tenacidade do material e durabilidade das estruturas (GIACCIO et al., 2015). Em controvérsia algumas delas possuem algumas desvantagens, como seu alto custo ou a presença de alguma substância química que pode ser prejudicial a saúde, ao meio ambiente e até mesmo ao concreto (WEI; MEYER, 2014).

Desta forma, a presente pesquisa buscou incorporar resíduo têxtil oriundo da produção de pneus como fibras em concretos, podendo se tornar uma alternativa promissora ao se tratar de tecnologias sustentáveis na construção civil. O resíduo utilizado no estudo foi obtido em uma indústria que produz banda de rodagem de pneus. O tecido aplicado na superfície como forma para a banda de rodagem, após o processo de vulcanização, é retirado, gerando grande quantidade de rejeito que atualmente é descartado em aterros sanitários, causando impactos negativos ao meio ambiente.

Para o presente artigo, foram realizadas análises sobre a influência da incorporação de fibra têxtil nos compósitos através da trabalhabilidade, massa específica no estado fresco e densidade de massa, resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência ao impacto e análise de microscopia no estado endurecido. Ao adicionar as fibras na mistura, obteve-se um aumento considerável na resistência ao impacto, e também foi possível visualizar através do microscópio óptico que as fibras possuem aderência ao concreto.

Os teores incorporados e o traço adotado foram definidos através de pesquisas do referencial teórico, tendo como base o trabalho de Bernardi et al. (2003), o qual incorporou diferentes tipos e teores de fibras em concretos. No entanto como a fibra têxtil não é utilizada atualmente em matrizes cimentícias, este estudo buscou uma análise preliminar para verificar a possibilidade de utilização da mesma na construção civil, havendo necessidade de realizar mais estudos para determinar seu uso efetivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Devido a grande utilização do concreto armado nas construções atuais, este tem se mostrado cada vez mais importante para a vida humana (NIA et al., 2012). Porém, os materiais cimentícios são frágeis por natureza, apresentando baixa capacidade de deformação e pouca resistência à tração (PAKRAVAN; LATIFI; JAMSHIDI, 2017). Tanto concretos convencionais, quanto de alta resistência apresentam um alto grau de fragilidade, que aumenta na medida em que sua resistência recebe um incremento (AKTURK; YUZER; KABAY, 2018).

As fibras foram inicialmente utilizadas como material de construção em concretos há cerca de 50 anos e alguns pesquisadores tem as utilizado atualmente em diferentes formas de estudos (SERIN et al., 2012). É conhecido que as propriedades mecânicas dos concretos podem ser melhoradas através da adição de diversos tipos de fibras na mistura, que uniformemente distribuídas reduzem as taxas de propagação de fissuras e largura das fendas, melhorando a resistência à tração, resistência à flexão e a resistência aos impactos (BORDELON; ROESLER, 2014; PAKRAVAN; LATIFI; JAMSHIDI, 2017; KHAN; ALI, 2016).

Quando as fissuras são iniciadas, as fibras têm a função de suportar as cargas aplicadas, então, quando essas cargas aumentam, as fibras tendem a transmitir as tensões excessivas para a matriz. Caso as tensões excedam a força de ligação, o processo de fissuração inicia-se, podendo levar ao arrancamento das fibras e raramente à ruptura delas, por este motivo, concretos reforçados com fibras são mais resistentes que concretos sem este material (NIA et al., 2012).

Desta forma as fibras tem um destaque especial quando relacionadas a materiais de incorporação em concretos, uma vez que as mesmas tem indicado potencial para melhorar problemas de fissuração, além das melhorias estruturais do concreto. Neste contexto, o uso deste material vem sendo adotado em lajes de concreto onde camadas de malha de aço podem ser substituídas por fibras, garantindo uma resposta estrutural semelhante ou melhor, com uma redução de custos e tempo de execução (PEREIRA; JUNIOR; FINEZA, 2017; AHMED et al., 2016).

O desempenho estrutural é afetado pela fração de volume total das fibras em relação à mistura do concreto (BORDELON; ROESLER, 2014), onde as alterações na orientação de distribuição e técnica de adição tem grande influência no resultado final para superar os problemas de fragilidade, resistência e fissuração (PAKRAVAN; LATIFI; JAMSHIDI, 2017; CENTONZE; LEONE; AIELLO, 2012). Investigações sobre a dispersão das fibras tem ajudado na determinação do volume a ser utilizado, onde amostras endurecidas são fisicamente cortadas em fatias ou seções para serem analisadas (BORDELON; ROESLER, 2014).

Apesar do conhecimento de que a dispersão das fibras no concreto permite melhorias notáveis nas propriedades mecânicas (CENTONZE; LEONE; AIELLO, 2012), há necessidade de um estudo particular para verificação de sua utilização em cada caso e material específico (PEREIRA; JUNIOR; FINEZA, 2017).

Portanto, neste estudo verificou-se o potencial do concreto reforçado com resíduo de fibra têxtil oriundo da produção de pneu.

3 METODOLOGIA

A descrição metodológica desta pesquisa está organizada em uma exposição breve do protocolo experimental proposto, seguido da apresentação e detalhamento das operações, análises físicas e mecânicas envolvidas, as quais foram executadas na Universidade Feevale.

3.1 MATERIAIS E CARACTERIZAÇÃO

Para realização do programa experimental foi utilizado cimento Portland CP-V (ARI) com massa específica de $3,0 \text{ g/cm}^3$. O agregado miúdo selecionado para o traço é de origem quartzosa com dimensão máxima de 4,8mm e o agregado graúdo adotado é de origem basáltica, tendo dimensão máxima 19 mm.

Devido à incorporação de fibras, utilizou-se aditivo plastificante para conservar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e assim, não prejudicar à resistência mecânica no estado endurecido. O mesmo foi incorporado em teores de 0,30% sobre a massa de cimento nos traços com incorporação de resíduo, baseando-se no trabalho de Bernardi (2006). O produto apresenta massa específica de $1,2 \text{ g/cm}^3$ e é isento de cloretos. A água utilizada é de poço artesiano da cidade de Novo Hamburgo – RS.

Utilizou-se resíduo têxtil, oriundo de empresa da região do Vale dos Sinos – RS e o processo de geração do mesmo está representado na Figura 1. Com o objetivo de caracterizar as fibras e analisar o comportamento dos rejeitos introduzidos na matriz cimentícia, tanto no estado fresco como no endurecido, foi desenvolvido o programa experimental descrito na sequência.

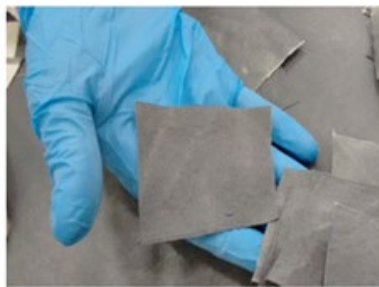
Figura 1 – Processo de geração do resíduo têxtil



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Para caracterização do resíduo têxtil, cortou-se em seções de 36 cm², posteriormente foi desfiado (Figuras 2 e 3), apresentando o formato final para utilização nos compósitos, possibilitando a caracterização e análise de suas propriedades.

Figura 2 – Tecido cortado



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figura 3 – Tecido desfiado



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA

O comportamento da interação fibra/matriz depende de vários fatores físicos e químicos dos seus constituintes e cada caso deve ser estudado individualmente (PEREIRA; JUNIOR; FINEZA, 2017). Dentre as propriedades físicas das fibras, o comprimento médio do fio, fator de forma e as características de superfície são os parâmetros geométricos de maior importância. Neste item, serão abordadas algumas propriedades específicas das fibras têxteis que são fundamentais para a avaliação de seu comportamento sob o ponto de vista do presente estudo.

3.2.1 Geometria das fibras

A geometria das fibras é de fundamental importância para garantir ou não uma boa aderência da fibra aos compósitos, sendo que esse fator se relaciona diretamente com a forma de ruptura das fibras nas matrizes. As seções transversais desses materiais podem variar, porém normalmente apresentam geometria circular. No presente estudo, as fibras têxteis apresentam seções transversais retangulares.

3.2.2 Diâmetro médio do fio

O resíduo têxtil analisado no estudo apresenta seção transversal retangular, Barros (1996) recomenda que, em casos em que a fibra não dispor de seção circular, adote-se o diâmetro de uma seção circular de mesma área da seção real da fibra. Assim, como as fibras apresentam arestas médias de 0,11 mm e 0,22 mm, encontrou-se uma área média de 0,024mm². Com isso, foi calculado o diâmetro equivalente de 0,17mm, para as fibras utilizadas no estudo. Para fins de comparação, o Quadro 1 apresenta os diâmetros das fibras com maior utilização como reforço estrutural e da fibra têxtil utilizada na pesquisa.

Quadro 1 – Diâmetro médio de fibras utilizadas como reforço estrutural

Fibra	Diâmetro (mm)
Fibra de vidro	0,005 a 0,015
Fibra de polipropileno	0,018
Fibra de aço	0,005 a 0,5
Fibra de resíduo têxtil utilizada	0,017

Fonte: elaborado pelos autores (2017)

Observa-se que o diâmetro das fibras residuais têxteis adotadas no presente estudo, apresentam semelhanças com os diâmetros das demais fibras utilizadas como reforço estrutural, salientando a possibilidade da viabilidade da incorporação, visto que os diâmetros são similares.

3.2.3 Comprimento das fibras

O comprimento médio das fibras é um dos parâmetros mais importantes na avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos. Normalmente o comprimento das fibras varia entre 10 e 60 mm. Contudo, Quinino (2015) ressalta que é recomendado utilizar fibras de comprimento igual ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado graúdo empregado na mistura. Portanto no presente trabalho optou-se por utilizar o comprimento da fibra 3 vezes maior que a dimensão máxima do agregado adotado, para uma melhor aderência das fibras ao compósito, sendo assim, o comprimento médio foi de 60mm (Figura 4).

Figura 4 – Comprimento médio das fibras



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

3.2.4 Fator de forma

O fator de forma ou também chamado de coeficiente de aspecto, é definido como a razão entre o comprimento e o diâmetro. Essa variável é importante, já que frequentemente é utilizada como parâmetro numérico para descrever e diferenciar as fibras. Segundo a Master Chemicals (2002), quanto maior o fator de forma, maior será a quantidade de fibras presentes em 1kg de material, gerando um melhor reforço ao compósito. Para o cálculo do fator de forma neste estudo, foi utilizado o diâmetro equivalente para uma seção circular de mesma área, com isso chegou-se a um fator de forma de 341, o Quadro 2 apresenta o fator de forma das fibras mais utilizadas como reforço em concretos em comparação com a fibra têxtil utilizada nesse estudo.

Quadro 2 – Fator de forma de fibras utilizadas como reforço estrutural

Fibra	Fator de forma
Fibra de aço	80
Fibra de polipropileno	500
Fibra de carbono	2500
Fibra de resíduo têxtil	341

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Ao comparar o fator de forma das fibras já comercializadas com o da fibra têxtil, nota-se que a fibra em estudo apresenta o fator de forma dentro da média das fibras já utilizadas na construção civil. Portanto, conclui-se que a fibra têxtil tem potencial de ser utilizada como reforço nos compósitos.

3.3 MÉTODO

Na Figura 5 são apresentados os ensaios e análises realizadas na presente pesquisa para avaliação das características das fibras e da influência de sua incorporação em concretos tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Figura 5 – Fluxograma das etapas do programa experimental



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Para a escolha do traço adotado na pesquisa, estudou-se trabalhos que avaliaram a incorporação de fibras em concretos, determinando como base para o trabalho, o estudo de Bernardi (2006). O traço definido foi 1:2,21:3,21 (cimento:agregado miúdo:agregado graúdo), em massa, com uma relação água/cimento de 0,52 e um teor de aditivo plastificante de 0,3% sobre a massa do cimento.

As propriedades mecânicas dos compósitos são dependentes do teor de fibras presente no material, visto que estas formam o componente estrutural. Em princípio, quanto maior o teor de fibras, melhor será o desempenho, pois maior será o número de fibras que intercepta cada microfissura, evitando a propagação das mesmas. Contudo, o exagero na quantidade de fibras pode vir a prejudicar o concreto, visto que estas poderão se aglomerar na mistura. Para a incorporação das fibras no traço de concreto, foram analisados dois teores além do traço referência sem a utilização de fibras, visando possibilitar a análise do desempenho de cada teor, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Traços utilizados

Cimento:Areia: Brita	Relação água/aglomerante	Teor de fibras (kg/m³)	Aditivo (%)
1:2,21:3,21	0,52	0	0
1:2,21:3,21	0,52	2,7	0,3
1:2,21:3,21	0,52	3,6	0,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

3.3.1 Abatimento de tronco de cone

O ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado para os teores de 0, 2,7 e 3,6 Kg/m³, seguindo as prescrições da NBR NM 67 (ABNT, 1998).

3.3.2 Massa específica no estado fresco

Para a análise da massa específica no estado fresco, foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10x20 cm (diâmetro x comprimento), para os teores de 0, 2,7 e 3,6 Kg/m³ de fibras. A realização desse ensaio foi baseada no estudo de Bernardi (2006), que pesou os moldes vazios e posteriormente preenchidos com as misturas, após, foi subtraído o valor do molde vazio do cheio e dividido pelo volume do corpo de prova, chegando assim a massa específica final no estado fresco.

3.3.3 Densidade de massa estado endurecido

O ensaio de densidade de massa compreendeu-se na pesagem dos corpos de prova no estado endurecido após desmoldagem realizada depois de 24 horas de cura e, dividido a massa pelo volume do corpo de prova, sendo que esse ensaio foi realizado conforme estudos de Bernardi (2006).

3.3.4 Resistência à compressão

Executou-se o ensaio de resistência a compressão para os teores de 0, 2,7 e 3,6 Kg/m³, na idade de 28 dias de cura, sendo que foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço, conforme NBR 7215 (1997).

3.3.5 Resistência à tração por compressão diametral

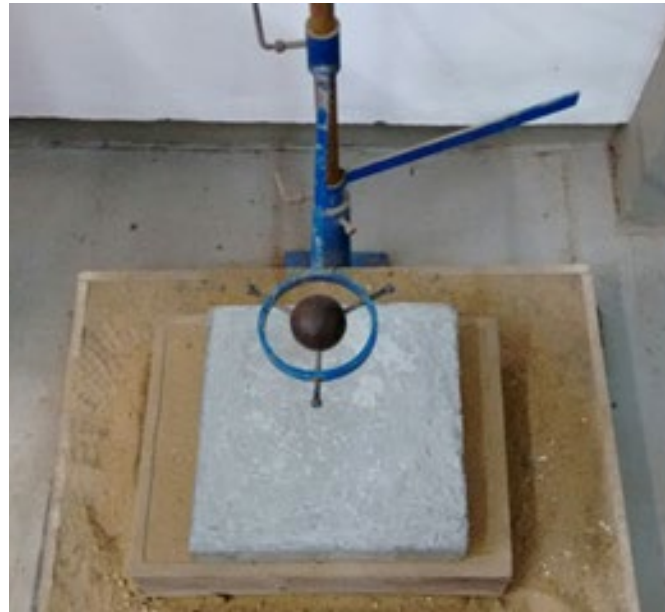
O ensaio foi realizado aos 28 dias, onde foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço, sendo eles 0, 2,7 e 3,6 Kg/m³, conforme NBR 7222 (2011).

3.3.6 Resistência à impactos

O ensaio de resistência a impactos foi realizado em placas de concreto moldadas com as dimensões de 30x30x6 cm, baseados no trabalho de Garcez (2005) e Bernardi et al. (2003), que explicam que a menor espessura adotada no molde para avaliação do impacto deve ser relacionada ao diâmetro máximo do agregado utilizado, assim sendo a menor dimensão do corpo de prova deve ser três vezes superior ao diâmetro máximo do agregado graúdo utilizado, portanto, como o diâmetro máximo do agregado adotado é de 19 mm, a menor espessura do corpo de prova está dentro do indicado pelos autores. Foram moldados dois corpos de prova para cada teor incorporado de resíduo e os ensaios ocorreram aos 7 dias de idade, visto que esse período para a ruptura foi adotado devido ao cimento utilizado, já que o mesmo possui alta resistência inicial.

O ensaio baseou-se nos procedimentos apresentados no anexo Q da norma NBR 13818 (ABNT, 1997), com algumas adaptações como os tamanhos dos moldes e materiais utilizados, visto que os ensaios da norma são para placas cerâmicas de revestimento com tamanho de 75x75 cm. O procedimento experimental consiste em submeter as placas à queda de uma esfera de peso padronizado (Figura 6), estabelecendo uma comparação direta entre os resultados obtidos pelos teores variados. Os estudos indicam a utilização de uma esfera de aço cromo com peso padronizado de 1 kg, porém, foi necessário adaptar, sendo utilizado uma esfera de peso menor, de aproximadamente 0,65 kg.

Figura 6 – Ensaio de resistência ao impacto



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

3.3.7 Análise no microscópio óptico

Para melhor visualização da distribuição, aderência e forma de ruptura da fibra na matriz cimentícia, analisou-se cada traço no microscópio óptico, baseando-se no estudo de Bernardi et al. (2003).

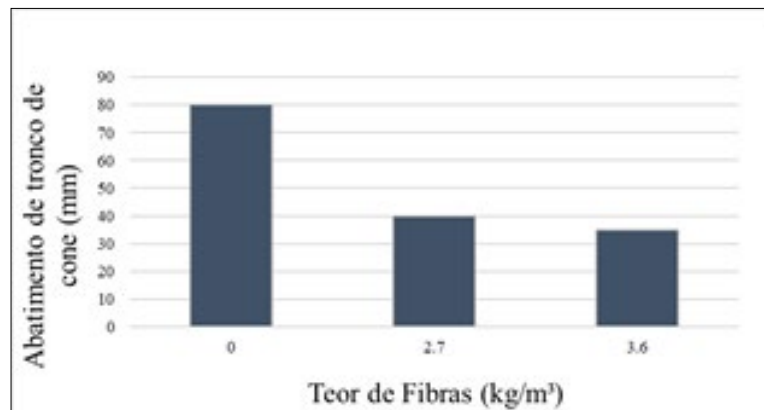
4 RESULTADOS

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos no protocolo experimental do presente estudo.

4.1 ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE

Ao incorporar fibras a mistura, ocorreu uma queda na trabalhabilidade do concreto (Figura 7), mesmo com a inserção de aditivos plastificantes. Está constatação também foi realizada no estudo de Bernardi et al. (2003) e Afroughsabe, Biolzi e Ozbakkaloglu (2016), que ao incorporar diferentes teores de fibras a mistura, apontaram queda na trabalhabilidade por conta da aglomeração das mesmas.

Figura 7 – Abatimento de tronco de cone



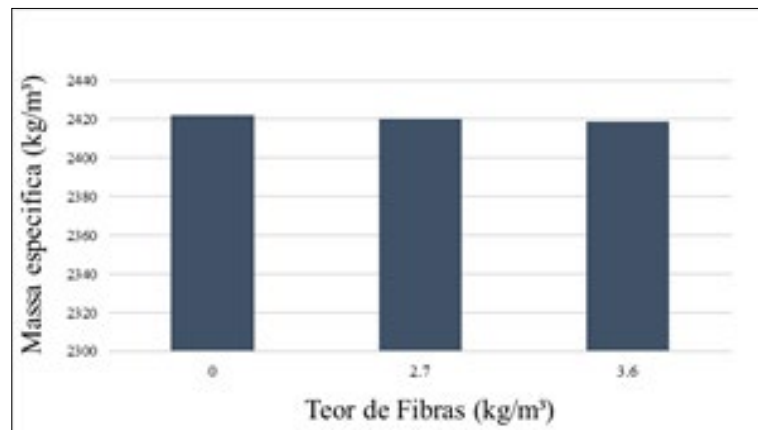
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Contudo, a utilização de aditivo plastificante não melhorou a trabalhabilidade do concreto, pois o mesmo reage com o cimento, fazendo a dispersão dos grãos, e no estudo o teor de cimento foi fixo em todos os traços, então, a dispersão das fibras através do aditivo, não foi eficiente, pois as fibras apresentaram tendência a coesão natural, influenciando na homogeneidade da mistura.

4.2 MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO

A massa específica no estado fresco não apresentou alterações com o aumento do teor de fibras (Figura 8).

Figura 8 – Massa específica estado fresco

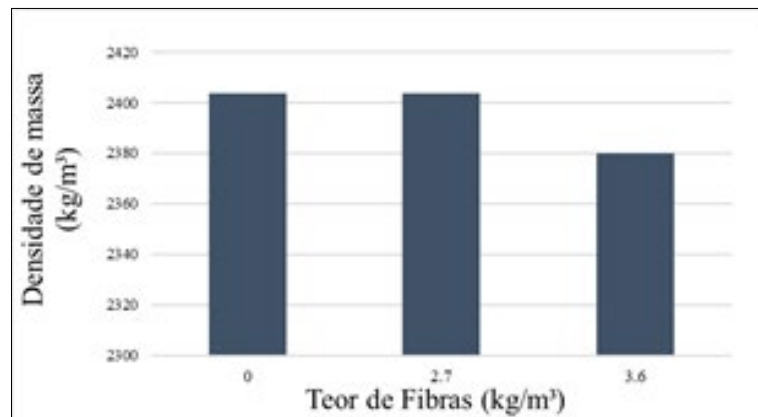


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

4.3 DENSIDADE DE MASSA ESTADO ENDURECIDO

Conforme se aumentou o teor de fibras incorporadas ao concreto, houve queda na densidade de massa (Figura 9), devido à baixa massa específica das fibras e também pela aglomeração das mesmas, causando vazios nos concretos, conforme já constatado por García, Contreras e Partl (2014) e Akand, Yang e Wang (2018).

Figura 9 – Densidade de massa



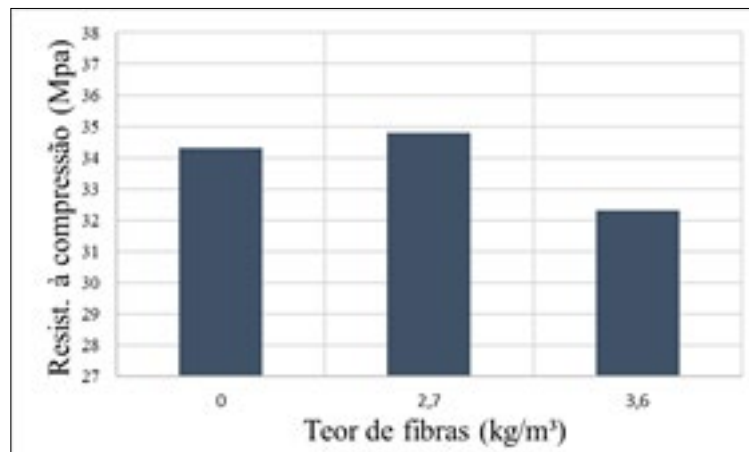
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O traço que apresentou o melhor desempenho na resistência à compressão foi o de 2,7 Kg/m³ (Figura 10), quando comparado ao traço referência, comprovando o estudo de Khan e Ali (2016), que fala que fibras incorporadas no teor correto e bem distribuídas melhoram as propriedades do concreto.

Já para o traço com teor de 3,6 Kg/m³ supõe-se que houve maior aglomeração das fibras, por apresentar maior dificuldade de homogeneização, com menor trabalhabilidade, formando corpos de prova com maior incidência de vazios, conforme já constatado por Akand, Yang e Wang (2018) e Afroughsabe, Biolzi e Ozbakkaloglu (2016) que uma maior quantidade de aglomerados de fibras geram uma quantidade considerável de ar resultando em um efeito adverso sobre as propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras.

Figura 10 – Resistência à compressão

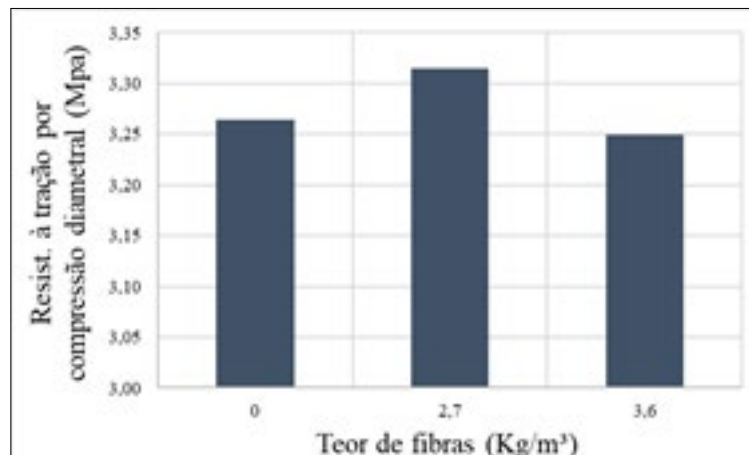


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

4.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral apresentou a mesma tendência de comportamento que o ensaio de compressão (Figura 11), fato que ocorre, pois, o ensaio analisa a capacidade de deformação do concreto à compressão no sentido transversal, conforme Quinino (2015) explica. O traço de 2,7Kg/m³ teve a melhor resistência e o de 3,6 Kg/m³ obteve a pior, devido a incorporação de ar e baixa trabalhabilidade da mistura, causada pela aglomeração das fibras no momento da moldagem dos corpos de prova. Nia et al. (2012) e Pakravan, Latifi e Jamshidi (2017), afirmam que ao incorporar as fibras na matriz cimentícia ocorre um aumento na resistência a tração por compressão diametral, conforme resultado do teor de 2,7 Kg/m³ que apresentou melhor homogeneidade da mistura e conseqüente aumento na resistência mecânica.

Figura 11 – Resistência à tração por compressão diametral

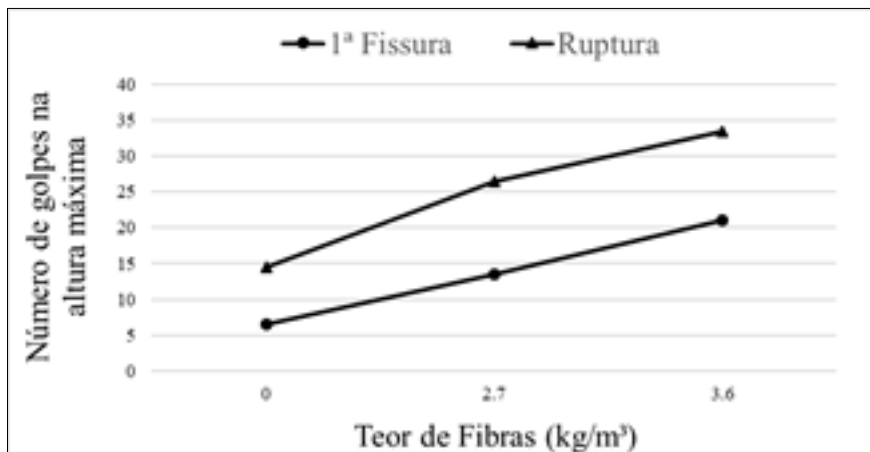


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

4.6 RESISTÊNCIA AO IMPACTO

Ocorreu aumento significativo no número de golpes necessários para o aparecimento da primeira fissura e para o rompimento das placas ao se incorporar as fibras (Figura 12). Assim, percebe-se que as fibras ajudaram a aumentar a absorção de energia de impacto, fato já constatado por outros autores como Bernardi et al. (2003) e Junior (2000), onde a adição de fibras ao concreto chegou a triplicar a sua capacidade de absorção de energia no ensaio de impacto.

Figura 12 – Resistência ao impacto



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Em termos de resistência ao impacto, o traço mais efetivo foi obtido com adição de 3,6 kg/m³, neste caso a ruptura ocorreu para uma altura de queda de 220 cm, sendo necessários 33 lançamentos em média para ruptura, resultado que confirma o estudo de Afroughsabe, Biolzi e Ozbakkaloglu (2016), que ao aumentar o teor de fibras na mistura, constatou melhora na capacidade de suporte de cargas do concreto. Em relação a fissuração, a amostra apresentou um aumento de 223% no número de golpes para surgimento da primeira fissura, em comparação ao traço referência, fato já afirmado por Bordelon e Roesler (2014) e Ahmed et al. (2016), onde explicam que a fissuração é afetada pela quantidade de fibras que são adicionadas no compósito, reafirmando o resultado do presente trabalho. Centonze, Leone e Aiello (2012), concluíram que o aumento de resistência na fissuração é dependente da capacidade das fibras de controlar a abertura das fissuras e da boa ligação entre fibra e compósito.

Visto que este era o principal ensaio do programa experimental, optou-se por realizar uma análise de variância (ANOVA), apresentada no Quadro 4, afim de verificar se os resultados para cada teor fibra diferem significativamente entre si, tanto no surgimento da primeira fissura como também na ruptura.

Quadro 4 – Análise de Variância (ANOVA) – Fator único, efeito de diferentes teores de fibras na resistência a impacto dos concretos

Fator	GDL	MQ	Fcal	F0,05	Significância*
1ª Fissura	2	277	123,11	5,14	S
Ruptura	2	157,75	79,71	5,14	S

GDL: Grau de liberdade

MQ: Média quadrática

Fcal: Valor calculado de F

F0,05: Valor tabelado para F para nível de significância de 95%

S: Significativo

NS: Não significativo

* significância: $F_{cal} > F_{0,05} = S$

$F_{cal} < F_{0,05} = NS$

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Após a análise do Quadro 4, percebe-se que há variação significativa, superior a 0,05%, nas resistências ao impacto, sendo possível constatar que os diferentes teores de fibras influenciam diretamente nesta propriedade.

4.7 ANÁLISE NO MICROSCÓPIO ÓPTICO

Após a realização dos ensaios desta pesquisa, adotou-se a análise no microscópio óptico para verificar a forma de ruptura e a aderência das fibras no compósito. Os teores de 0, 2,7 e 3,6 Kg/m³ estão apresentados nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.

Figura 13 – Análise no microscópio óptico traço 0 Kg/m³



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Figuras 14 – Análise no microscópio óptico traço 2,7 Kg/m³

a) Fissura



Fonte: Autor (2017)

b) Forma de ruptura



Fonte: Autor (2017)

Figuras 15 – Análise no microscópio óptico traço 3,6 Kg/m³

a) Aderência fibra/matriz



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

b) Forma de ruptura



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A figura 13 mostra o traço referência, sem a incorporação das fibras, apenas com os constituintes do concreto e alguns poros. Analisando a figura 14.b nota-se que a fibra está orientada na posição incorreta, gerando uma zona frágil onde ocorreu a ruptura da matriz, o que confirma a constatação de Bordelon e Roesler (2014) que fala sobre a importância na técnica de colocação das fibras, para que fiquem na orientação e distribuição correta. Na figura 15.a é possível verificar que a fibra sofre um desfibramento ao ser incorporada ao compósito, esse fato pode ajudar na aderência, porém pode prejudicar a durabilidade da mesma dentro do concreto. Deste modo, é possível concluir que as fibras romperam por cisalhamento ou escoamento, resultado também encontrado no estudo de Richardson, Boussoffara e Coventry (2013) com fibras sintéticas, o que eles destacam como sendo um ponto positivo da incorporação, ao visualizar as figuras 14.b e 15.b, é confirmada a boa aderência da fibra a matriz cimentícia, pois não ocorreu o arrancamento da mesma do compósito. Podemos relacionar a boa aderência da fibra a sua geometria, já que segundo Denardi (2016), as fibras achatadas apresentam melhor aderência e a fibra em estudo tem seção retangular, comprovando essa teoria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, pode-se deduzir as seguintes conclusões:

- Ao incorporar as fibras no concreto estado fresco, ocorreu uma queda na trabalhabilidade e aumento do teor de vazios, fato que está relacionado à dispersão das fibras, sendo que as

mesmas formaram aglomerados ao passo em que se aumentou o teor de incorporação do resíduo, dificultando o processo de homogeneização do concreto.

- A massa específica no estado fresco não apresentou diferenças em relação ao traço referência. Porém, é necessário a incorporação de mais teores para uma melhor análise da influência das fibras na massa específica do compósito.
- Os resultados da densidade de massa apontaram uma queda para incorporações maiores que 2,7 kg/m³, entretanto a diferença foi pequena. O aumento de ar incorporado e consequente diminuição da trabalhabilidade podem ter sido determinantes para esses resultados.
- A resistência à compressão e a resistência à tração por compressão diametral obtiveram a mesma tendência nos resultados, apresentando o traço de 2,7 Kg/m³ com o melhor desempenho. O teor de 3,6 Kg/m³ sofreu queda na resistência, devido a aglomeração das fibras no estado fresco e consequente incorporação de ar nos corpos de prova.
- Em relação ao impacto, os desempenhos dos compósitos com adição de fibra têxtil se mostraram eficientes quanto ao surgimento da primeira fissura e em relação a ruptura. As mesmas apresentaram maior capacidade de controle da fissuração inicial e foram capazes de incrementar a absorção de energia do compósito, apresentando aumento de 131% no número de quedas para a ruptura da amostra no teor de 3,6 kg/m³, quando comparado ao compósito de referência.
- Ao analisar os corpos de prova no microscópio óptico, observa-se que as fibras não ficaram bem dispersas ou orientadas na posição correta, formando zonas frágeis no corpo de prova, porém constatou-se a boa aderência da fibra na matriz cimentícia, já que não houve o arrancamento das fibras nos ensaios realizados, fato que se relaciona com a geometria e com o desfibramento que estas sofrem dentro do concreto.
- Salienta-se que estas tendências de comportamento são válidas para os compósitos estudados nessa pesquisa. Como o assunto é inovador, é necessária uma investigação complementar mais abrangente sobre o desempenho dos compósitos de matriz cimentícia reforçados com fibra têxtil, e também expandir os testes para outros teores e comprimentos de fibras. Ou seja, este trabalho inicial aponta para a viabilidade de utilização da fibra têxtil, porém estabelece a demanda por pesquisas complementares.

REFERÊNCIAS

AFROUGHSAKET, V.; BIOLZI, L.; OZBAKKALOGLU, T. High-performance fiber-reinforced concrete: a review. **J Mater Sci**, v. 51, p. 6517-6551, mar. 2016.

AHMED, M.; ABDEL-RAHMAN; NASR, Z. H.; ADEL, M. S. Punching shear behavior of reinforced concrete slabs using steel fibers in the mix. **Housing and Building National Research Center**, dec. 2016.

AKAND, L.; YANG, M.; WANG, X. Effectiveness of chemical treatment on polypropylene fibers as reinforcement in pervious concrete. **Construction and Building Materials** v. 163, p. 32-39, feb. 2018.

AKTURK, B.; YUZER, N.; KABAY, N. Usability of raw rice husk instead of polypropylene fibers in high-strength concrete under high temperature. **American Society of Civil Engineers** v. 28, jan. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7222**: 2011. Concreto e Argamassa- Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

_____. ABNT. **NBR 7215**: 1997. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. ABNT. **NBR 13818**: 1997. Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 1997.

_____. ABNT. **NBR NM 67**: 1998. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BARROS, J.A.O. Estado-da-arte dos betões reforçados com fibras. **Engenharia Civil**, Universidade do Minho, n. 3, p. 29-47, 1996b.

BERNARDI, S. T.; CAETANO, L. F.; GRAEFF, A. G.; CAMPAGNOLO, J. L.; SILVA FILHO, L. C. P. Análise do comportamento de concretos reforçados com fibras quando submetidos ao impacto. In: XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia, 2003, Itajaí. **Anais...** 2003.

BERNARDI, S. T.; SILVA FILHO, L. C. P. Perspectivas de utilização da fibra de aramida kevlar em estruturas de concreto. In: VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2006, São Paulo. **Anais...** VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2006.

BORDELON, A. C.; ROESLER, J. R. Spatial distribution of synthetic fibers in concrete with X-ray computed tomography. **Cement and Concrete Composites**, v. 53, p. 35-43, out. 2014.

CENTONZE, G.; LEONE, M.; AIELLO, M. A. Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: A mechanical characterization. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 46-57, nov. 2012.

DENARDI, A. **Concreto têxtil**: uma revisão bibliográfica sobre desenvolvimentos, aplicações e perspectivas de estudos e empregos no Brasil. 2016. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2016.

DINH, N.; CHOI, K.; KIM, H. Mechanical properties and modeling of amorphous metallic fiber-reinforced concrete in compression. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 10, n. 2, p. 221-236, jun. 2016.

GARCEZ, E. O. **Análise teórico-experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço submetidos a cargas de impacto.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2005.

GARCÍA, A.; CONTRERAS, J. N.; PARTL, M. N. A parametric study on the of steel wool fibers in dense asphalt concrete. **Materials and Structures**, v. 47, p. 1559-1571, jul. 2014.

GIACCIO, G.; BOSSIO, M. E.; TORRIJOS, M. C.; ZERBINO, R. Contribution of fiber reinforcement in concrete affected by alkali-silica reaction.. **Cement and Concrete Research**, v. 67, p. 310-317, jan. 2015.

JUNIOR, H. S. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

KHAN, M.; ALI, M. Use of glass and nylon fibers in concrete for controlling early age micro cracking in bridge decks. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 800-808, out. 2016.

MASTER CHEMICALS. **Boletim técnico.** Disponível em: <<http://www.mastercompanyltd.com.br/download/fibras-deaco.zip>> Acesso em: 30 out. 2017.

NIA, A. A.; HEDAYATIAN, M.; NILI, M.; SABET, V. A. An experimental and numerical study on how steel and polypropylene fibers affect the impact resistance in fiber-reinforced concrete. **International Journal of Impact Engineering**, v. 46, p. 62-73, ago. 2012.

PAKRAVAN, H. R.; LATIFI, M.; JAMSHIDI, M. Hybrid short fiber reinforcement system in concrete: A review. **Construction and Building Materials**, v. 142, p. 280-294, jul. 2017.

PEREIRA, E. L.; JUNIOR, A. L. O.; FINEZA, A. G. Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete. **Construction and Building Materials**, v. 149, p. 837-848, set. 2017.

QUININO, U. C. M. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2015.

RICHARDSON, A. E.; BOUSSOFFARA, R.; COVENTRY, K. A. Performance of dovetailed synthetic fibers in concrete. **Emerging Materials Research**, v. 3, p. 52-66, nov. 2013.

SERIN, S.; MOROVA, N.; SALTAN, M.; TERZI, S. Investigation of usability of steel fibers in asphalt concrete mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 238-244, nov. 2012.

WEI, J.; MEYER, C. Improving degradation resistance of sisal fiber in concrete through fiber surface treatment. **Applied Surface Science**, v. 289, p. 511-523, jan. 2014.