

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL EDUARDO HERKERT BEAL

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO
COM ADIÇÃO DE RESÍDUO METÁLICO DE TORNO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2018

RAFAEL EDUARDO HERKERT BEAL

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO
COM ADIÇÃO DE RESÍDUO METÁLICO DE TORNO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 176

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO METÁLICO DE TORNO.

por

Rafael Eduardo Herkert Beal

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11:10h do dia **06 de novembro de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra

(UTFPR – TD)

Prof^a. Dr^a. Lucia Bressiani

(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

BEAL, Rafael E. H. **Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com adição de resíduo metálico de torno.** 2018. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

Este trabalho analisa o comportamento mecânico do concreto com adição de resíduo de aço SAE 1045, proveniente do processo de fabricação de peças do setor metal mecânico. O resíduo foi cortado com o tamanho de 35 mm, similar a fibras de aço curtas industrializadas, sendo adicionado nas frações volumétricas de 0,5 e 1,0% do volume de concreto para cada mistura. Foram moldados setenta corpos de prova, sendo determinada a massa específica do concreto no estado endurecido e realizados os ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral. Os resultados obtidos não demonstraram vantagens na adição do resíduo metálico de torno ao concreto em termos de resistência à compressão e tração, tendo influenciado somente no comportamento pós-fissuração do concreto, resultando em um material mais dúctil.

Palavras-chave: Resíduo de Aço, Sustentabilidade, Concreto Reforçado, Fibras Adição.

ABSTRACT

BEAL, Rafael E. H. **Evaluation of the mechanical properties of concrete with addition of steel residue.** 2018. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

This work analyzes the mechanical behavior of concrete with the addition of SAE 1045 steel residue, obtained from the process of manufacturing parts of the metal mechanical industry. The residue was cut to size 35 mm, similar to industrialized short steel fibers, and was added in the volumetric fractions of 0.5 and 1.0% of concrete volume. Seventy cylindrical specimens were molded and used to determine the specific mass of the concrete at hardened state and the axial compression strength and tension strength by diametral compression. The results obtained did not demonstrate advantages in the addition of the metallic residue to the concrete in terms of compressive and tensile strength, having influenced only the post-cracking behavior of the concrete, resulting in a more ductile material.

Keywords: Steel Residue, Sustainability, Reinforced Concrete, Fibers Addition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentração de tensões no concreto sem fibras (a) e com fibras (b).	12
Figura 2. Compatibilidade do agregado graúdo com as fibras: (a) Não compatibilidade; (b) compatibilidade entre ambos.	13
Figura 3. Formação do cavaco de torno.....	16
Figura 4. Caracterização das fibras: a) diâmetro; b) largura; c) espessura.....	20
Figura 5. Tipos de resíduos- a) espirais longas; b) espirais curtas e c) filetes retos.	21
Figura 6 - Resultados obtidos de trabalhabilidade: (a) Concreto sem fibras (C0); (b) Concreto com 0,5% de resíduo (C20); e (c) Concreto com 1,0% de resíduo (C40)..	21
Figura 7 - Resistência média à compressão e desvio padrão das misturas avaliadas.	23
Figura 8 - Resistência média à tração por compressão diametral e desvio padrão. .	24
Figura 9 - Corpo de prova, após ensaio de compressão diametral: (a) Concreto sem fibras (C0); (b) Concreto com 0,5% de resíduo (C20); e (c) Concreto com 1,0% de resíduo (C40).	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipo de fibras industrializadas.	14
Tabela 2 - Tipos de aço utilizados no setor metal-mecânico e suas propriedades ...	16
Tabela 3 - Quantidade de material para produção de 40 litros de concreto.	19
Tabela 4. Massa específica das misturas de concreto estudadas.	22
Tabela A1 - Tabela completa massa específica.....	29
Tabela B1 - Resistência a Compressão axial concreto simples (C0).....	30
Tabela B2 - Resistência a Compressão axial concreto com acréscimo de 0,5% de resíduo metálico (C20).	30
Tabela B3 - Resistência a Compressão axial concreto com acréscimo de 1% de resíduo metálico (C40).	31
Tabela C1 - Resistência tração por compressão diametral.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	JUSTIFICATIVA	9
1.2	OBJETIVOS	9
1.2.1	Objetivo geral	9
1.2.2	Objetivos específicos.....	9
1.3	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Fibras de Aço	11
2.1.1	Interações Matriz-Fibra.....	11
2.1.2	Tipos de Fibras.....	13
2.1.3	Características do concreto reforçado com fibras de aço.....	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Materiais empregados	18
3.2	Produção do concreto	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
4.1	Caracterizações dos agregados	20
4.2	Caracterização do resíduo de aço.....	20
4.3	Propriedades do concreto no estado fresco	21
4.4	Propriedades do concreto no estado endurecido	22
5	CONCLUSÃO	25
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	25
	REFERÊNCIAS	26
	Apêndice A – Massa Específica	29
	Apêndice B – Compressão Axial	30
	Apêndice C – Compressão diametral	32

1 INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos gerados por atividades industriais é um ato indispensável para a preservação do meio ambiente. Apesar de não resolver os problemas ambientais, ela colabora significativamente na diminuição dos seus impactos, haja vista que quando um resíduo é reutilizado acaba diminuindo a necessidade de explorações de novas fontes de matéria prima.

O setor metal mecânico consiste, em sua grande maioria, de pequenas indústrias, espalhadas por cidades de médio a pequeno porte, que geram resíduos, não possuindo um controle adequado de gestão dos resíduos.

O resíduo gerado pode ser de vários metais, desde aço, ferro e bronze, até compósitos utilizados em peças de aeronaves. O que difere a fabricação de peças específicas das peças produzidas em larga escala, são as máquinas utilizadas. Para produção de peças em série são utilizadas máquinas sofisticadas, que possuem programação computadorizada e uma grande quantidade de ferramentais, enquanto para produções de uma determinada peça em específico, em geral elas são trabalhadas em máquinas manuais, no qual um operador troca o ferramental e controla o avanço e a rotação da máquina.

Cada matéria prima usinada, dependendo da função e do meio que a peça irá trabalhar, necessita um ferramental específico, gerando resíduos diferentes. Resíduos de aço apresentam formatos contínuos e espirais, com espessura e largura variáveis, definidos pela ferramenta utilizada na usinagem e o avanço da máquina na peça, não havendo um padrão.

Alguns estudos com a utilização deste tipo de resíduo em concretos são apresentados na literatura, porém, não há um banco de dados suficiente para validar seus efeitos.

Há duas maneiras de emprego dos resíduos de aço no concreto, dependendo do comprimento da fibra. Fibras com comprimento inferior a 4,8 mm podem ser utilizadas como agregado miúdo, assim fazendo a substituição da areia pelo resíduo. Quando o resíduo sai de forma contínua é possível sua utilização como adição, devido à sua semelhança com fibras industrializadas, que apresentam tamanhos de 3,5 a 6 cm.

Neste sentido, este estudo avalia a utilização do resíduo de aço gerado em tornos de uma indústria de metalurgia como adição de fibras de aço concreto, através da comparação das propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido com um concreto de referência sem fibras.

1.1 JUSTIFICATIVA

Hoje em dia o que nos deparamos é com um apelo social muito forte em relação ao meio ambiente, e nesse contexto, as indústrias vem implementando novas medidas por meio das quais buscam um reaproveitamento de matérias que antes eram descartadas.

Nessa vertente, percebemos a importância da construção civil, não só por buscar o reaproveitamento de seus resíduos, mas por empregar técnicas nas quais utiliza o descarte de outros segmentos econômicos.

Um segmento da indústria, que na maioria das vezes não possui uma destinação correta dos seus resíduos, é a indústria metal mecânica que acaba gerando e descartando uma grande quantidade de resíduo de aço, que é gerado no processo de fabricação de novas peças.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a utilização do resíduo de aço proveniente da usinagem da indústria metalúrgica como adição de fibras de aço no concreto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir um padrão para utilização do resíduo de torno como fibra metálica no concreto;
- Avaliar o efeito de adição destes resíduos na trabalhabilidade do concreto;
- Avaliar o efeito de adição destes resíduos na massa específica do concreto no estado endurecido;
- Avaliar o efeito de adição destes resíduos nas resistências à tração e compressão do concreto.

1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa se limita ao estudo de concretos com resistência à compressão próxima a 40 MPa produzidos com adição de 0,5% até 1% do volume total de resíduo de aço oriundo de tornearia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fibras de Aço

O concreto convencional é um dos materiais mais utilizados na construção civil atualmente, principalmente devido à sua capacidade no estado fresco de moldagem de peças com formatos variados e ao seu baixo custo, possuindo algumas deficiências como a baixa ductilidade, massa específica elevada e baixa resistência à tração, que levaram pesquisadores a estudar concretos especiais ao longo dos últimos anos (BRAZ E NASCIMENTO, 2015).

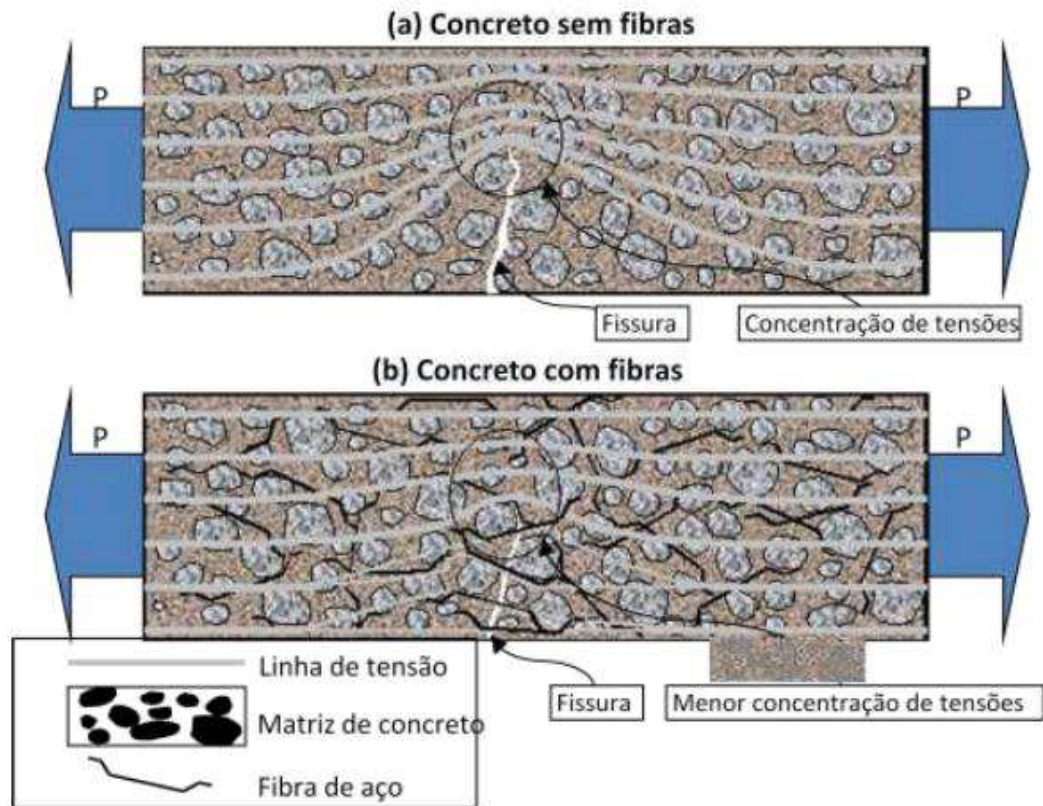
Dentre os avanços tecnológicos destaca-se o Concreto Reforçado com Fibras de Aço (CRFA), que é uma mistura heterogênea, denominada de compósito, o qual consiste na adição de fibras de aço a uma matriz de concreto, resultando em um material que combina as características em ambos. Os parâmetros fundamentais que influenciam as propriedades do concreto reforçado com fibras é o tipo de fibra empregada (material constituinte, geometria e propriedades de interface com matriz) e sua fração volumétrica (SALVADOR E FIGUEIREDO, 2013).

As fibras de aço são as mais utilizadas em aplicação estrutural, pois apresentam um aumento considerável na resistência à tração do concreto (BRAZ E NASCIMENTO, 2015). A presença de fibras pode reduzir a formação de fissuras e transformar uma ruptura frágil em dúctil, evitando a ruína por punção (VARGAS, 1997).

2.1.1. Interações Matriz-Fibra

Levando em consideração que o concreto simples é um material que apresenta um comportamento frágil, geralmente na zona de transição entre a matriz e agregado graúdo ocorre a formação de microfissuras (GOIS, 2010). Essas fissuras formam uma barreira de propagação de tensões, gerando o acúmulo de tensões, podendo levar a um rompimento abrupto do material quando a força mecânica vencer a resistência do material (BARROS, 2009). No caso do concreto com fibras, as fibras acabam, servindo como ponte para transferência de tensões, minimizando, desse modo, as concentrações das tensões nas extremidades das trincas (SCOARIS, BARBOSA E PINTO, 2005), como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Concentração de tensões no concreto sem fibras (a) e com fibras (b).



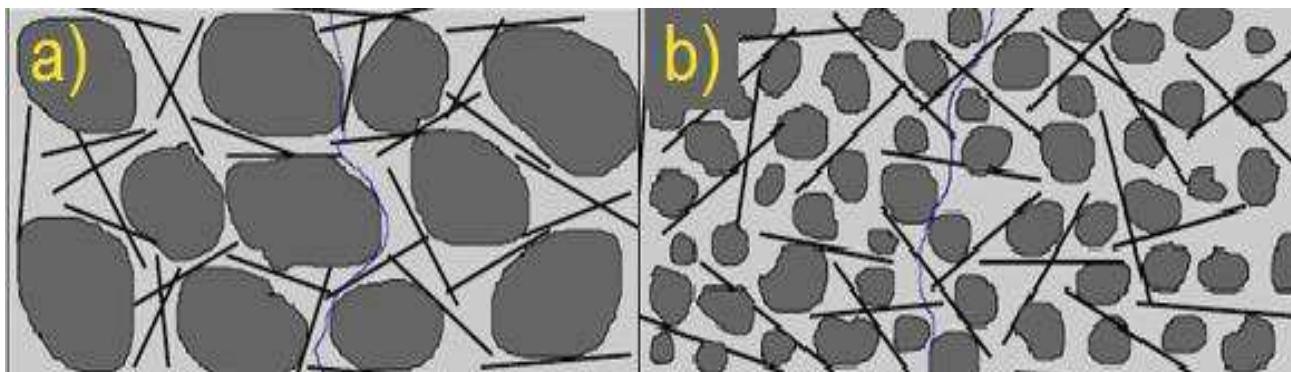
Fonte: Figueiredo, 2000.

Com relação ao acréscimo de fibras, é possível afirmar que:

Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em bastante quantidade, elas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras. Permitirão ao CRFA resistir a tensões de tração bem elevadas, com uma grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração (WATANABE, 2008).

Segundo Figueiredo (2000), quando mais direcionadas as fibras estiverem em sentido à tensão principal de tração, melhor será o desempenho do composto. Assim, se recomenda que os comprimentos das fibras sejam iguais ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado, pois desse modo o concreto apresenta uma compatibilidade dimensional entre a fibra e o agregado, o que não ocorre quando o agregado e a fibra têm tamanhos similares, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2. Compatibilidade do agregado graúdo com as fibras: (a) Não compatibilidade; (b) compatibilidade entre ambos.










Fonte: Figueiredo, 2000.

2.1.2 Tipos de Fibras

A fim de estabelecer um padrão de qualidade em relação às fibras de aço na construção civil, a ABNT, publicou em 2007 a primeira norma brasileira sobre fibras de aço: NBR 15530 – fibras de aço para concreto. Esta norma estabelece parâmetros de classificação para fibras de aço de baixo teor de carbono, como requisitos mínimos de forma geométrica, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento.

A NBR 15530 (ABNT, 2007), classifica as fibras em duas vertentes, sua composição geométrica e a sua origem, considerando que a geometria das fibras é dividida em três tipos: Tipo A, que apresentam ancoragem nas extremidades; Tipo C, corrugadas e Tipo R, retas, cuja origem é dividida em três classes: classe I, oriundas de arames trefilados a frio; Classe II, provindas de chapas laminadas cortadas a frio e Classe III, derivadas de arames trefilados e escarificado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Tipo de fibras industrializadas.

Tipo (geometria)	Classe de fibras	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
	I	
R	II	

Fonte: adaptado de FIGUEIREDO; CHAMA NETO; FARIA (2008)

2.1.3 Características do concreto reforçado com fibras de aço

Devido à adição de fibras de aço ao concreto, algumas de suas propriedades são alteradas, tanto no seu estado fresco com no endurecido. A adição de fibras altera as condições de consistência do concreto, ou seja, a sua trabalhabilidade, principalmente pelo fato de que quando adicionada a fibra ao concreto, esta aumenta a área superficial que demanda de água de molhagem, tendo em vista que quanto maior o tamanho da fibra, menor trabalhabilidade terá o concreto (FIGUEIREDO, 2000). A baixa trabalhabilidade pode ocasionar alguns problemas, como a formação de ouriços, que são bolas formadas por fibras aglomeradas, produzindo pontos porosos no concreto e, conseqüentemente, diminuindo o teor de fibras homogeneamente distribuídas.

No estado endurecido as fibras trazem alterações nas suas resistências à tração e compressão, e um aumento na ductilidade do concreto. De modo geral, quando utilizado baixo teor de fibras, ocorre um aumento na resistência à compressão, de no máximo 25% (BENTUR E MINDESS, 1990, BALAGURU E SHAH, 1992), porém, tende a diminuir quando o volume de fibras é maior que 3%, devido à dificuldade de incorporação das fibras à mistura, gerando grandes bolsões de ar no concreto.

No estudo realizado por Silva et al. (2009), foram utilizados dois tamanhos de fibras de aço, 35 mm e 60 mm, e dois percentuais de adição de fibras, 1% e 2% por volume de concreto, ocorrendo a redução da resistência à compressão devido à concentração das fibras em alguns pontos da mistura.

Segundo Armelin (1992), as fibras de aço não têm como objetivo principal alterar a resistência à compressão. Se as fibras apresentarem alguma forma de ancoragem, isto é, uma boa aderência da fibra em relação ao concreto, a argamassa terá uma zona de transição fibra-matriz mais eficiente, aumentando assim a resistência à tração e suportando uma maior energia até a ruptura (Silva et al., 2009).

O aumento mais significativo nas propriedades mecânicas se dá na resistência à tração na flexão, sendo comuns aumentos superiores de 100%. Estudo realizado por Bentur e Minsdess (1990) demonstrou que os principais fatores que interferem na resistência à flexão em um concreto reforçado com fibras são o fator de forma e o volume de fibras adicionadas. Em teores usados na prática, inferiores a 2% do volume de concreto, há um aumento na resistência à tração direta de até 20%, entretanto, para adições acima de 5% a resistência à tração com fibras dispostas aleatoriamente chega a 60%, e com fibras alinhadas pode chegar a 130%.

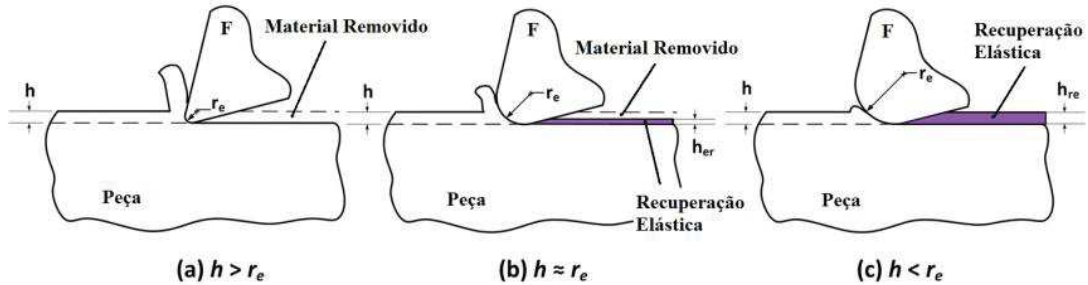
2.2 Resíduos Metálicos

O aço é um dos materiais metálicos mais utilizados na indústria mecânica, usado em fabricação de peças em geral. E suas principais características são a boa usinagem e poder ser trabalhado de várias formas, como dobrado, curvado, forjado, soldado ou laminado sem perder as suas características (SENAI, 1998).

O resíduo proveniente da usinagem de material metálico é gerado por uma ferramenta que penetra um tarugo de aço, fazendo com que uma fração de matéria

se desprenda. A matéria cortada é denominada de cavaco e o processo de formação deste material no torno é apresentado na Figura 3.

Figura 3. Formação do cavaco de torno.



Fonte: ASSIS, (2013).

Os aços mais corriqueiros de serem encontrados no setor metal-mecânico são os apresentados na Tabela 2, com suas respectivas propriedades e seus usos.

Tabela 2 - Tipos de aço utilizados no setor metal-mecânico e suas propriedades

Aço	Teor de carbono (%)	Resistência a ruptura (kg/mm ²)	Têmpera	Solda	Uso
1006 a 1010	0,05 a 0,15	35 a 45	Não adquire	Muito fácil	Tubos esticadores, produtos de caldeira...
1020 a 1030	0,15 a 0,30	45 a 55	Não adquire	Fácil	Barras laminadas, peças comuns de mecânica...
1030 a 1040	0,30 a 0,40	55 a 65	Adquire um pouco	Difícil	Ferramentas para a agricultura, peças especiais de máquinas e motores...
1040 a 1060	0,40 a 0,60	65 a 75	Boa	Muito difícil	Ferramenta de corte molas, trilhos...
Maior 1060	0,6 a 1,50	75 a 100	Muito boa	Não solda	Molas, cabos, cutelaria...

Fonte: SENAI, 1996.

2.2.1 Estudos realizados com concreto reforçado com resíduo metal-mecânico

2.2.1.1 Estudo realizado por Freitas et al. (2013)

Freitas et al. (2013) realizaram um estudo com 60 corpos de prova de concreto com resistência próxima a 20 MPa comparando três misturas de concreto: uma sem adição de resíduos de aço e outras duas com adição de resíduos de aço. O resíduo foi submetido a processo de lavagem com solvente para retirar resíduos de óleo e graxa, e posteriormente cortados em tiras com 2cm de comprimento. Os resultados demonstraram uma redução da trabalhabilidade do concreto com a adição de resíduos, entretanto, observaram o aumento da resistência à compressão de 5,65 e 9,91 % nos concretos com resíduo.

2.2.2.2 Estudo realizado por Cunha et al. (2016)

Cunha et al. (2016) avaliaram as propriedades mecânicas do concreto simples com três misturas utilizando diferentes tipos de fibras: fibras de aço com 3,8cm, fibras sintéticas com 4cm e resíduo de metalurgia com 3,5cm.

Os resultados demonstraram que as fibras de aço apresentaram aumento de resistência à compressão, em torno de 12%, e o resíduo de metalurgia apresentou aumento não expressivo de 2,15%, enquanto a adição de fibras sintéticas resultou em redução de 4% nesta propriedade.

Na resistência à tração, as fibras de aço e sintéticas apresentaram um aumento de aproximadamente 23% enquanto o resíduo metálico apresentou aumento de 15,17%.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais empregados

Neste trabalho foi utilizado o traço de concreto avaliado por Costa (2017), por empregar materiais disponíveis na região de Toledo-PR, com proporção em volume de 1:1,87:1,43 (cimento:areia:brita), com relação água/cimento igual a 0,58, tendo apresentado resistência à compressão axial média de 40 MPa.

Como aglomerante foi utilizado cimento Portland do tipo CP V de Alta Resistência Inicial (ARI), como agregado miúdo utilizou-se areia natural proveniente da extração do Rio Paraná e como agregado graúdo pedra britada de origem basáltica com dimensão máxima característica igual a 19mm. Os agregados foram submetidos aos ensaios de granulometria e massa específica seguindo as normas NBR NM 248 (2001), NBR NM 52 (2003) e NBR NM 53 (2003).

O resíduo empregado foi obtido no setor de usinagem da empresa Ignis, localizada na cidade de Toledo-PR, e tem como origem o aço SAE 1045. Para garantir um padrão nos resíduos de aço, estes foram submetidos a um processo manual de estiramento por tração e corte com 35mm de comprimento.

3.2 Produção do concreto

O concreto utilizado foi misturado em uma betoneira com volume 220 litros, sendo produzidas três misturas utilizando o traço de concreto convencional sem adição de fibras (Referência) e com duas frações de resíduo de usinagem (0,5% e 1% do volume do concreto). Os concretos foram identificados com a letra C seguida da massa ao resíduo adicionado por metro cúbico, iguais a 20 kg/m³ e 40 kg/m³, correspondentes às frações de 0,5% e 1,0%, respectivamente.

Para cada mistura foram produzidos 40 litros de concreto, conforme quantidades de materiais apresentadas na Tabela 3. Após a mistura foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, com o intuito de medir a trabalhabilidade do concreto, seguindo as recomendações da NBR NM 67 (ABNT, 1998).

Tabela 3 - Quantidade de material para produção de 40 litros de concreto.

Materiais	Unidade	C0	C20	C40
Cimento	kg	14,885	14,885	14,855
Água	kg	8,485	8,485	8,485
Areia	kg	32,745	32,745	32,745
Brita (DMC = 19 mm)	kg	40,190	40,190	40,190
Fibra	kg	0,00	1,60	3,20

Fonte: O autor.

Para a realização dos ensaios em estado endurecido foram moldados 24 corpos de prova cilíndricos, com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, seguindo a determinação da norma NBR 5738 (ABNT, 2015). Após um dia de moldagem os corpos de provas foram desmoldados e submetidos à cura submersos em água.

As massas específicas das misturas de concreto foram determinadas pesando os corpos de prova cilíndricos, assim determinado a sua massa em estado natural e com o auxílio da balança hidrostática determinamos a massa submersa. Utilizando a formula (1), determinado as massas específicas:

$$\mu = \frac{\text{massa natural}}{(\text{massa submersa} - \text{massa natural})} \quad (1)$$

Onde:

μ = massa específica (g/ cm ³)

Massa natural e massa submersa dado em g

Aos 28 dias de idade os corpos de prova foram retificados e submetidos aos ensaios de caracterização mecânica: compressão axial, conforme NBR 5739 (ABNT, 2007) e tração por compressão diametral, conforme NBR 7222 (ABNT, 2011).

Os resultados obtidos foram comparados entre os tratamentos utilizando teste T de comparação de médias no programa de análise estatística R.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

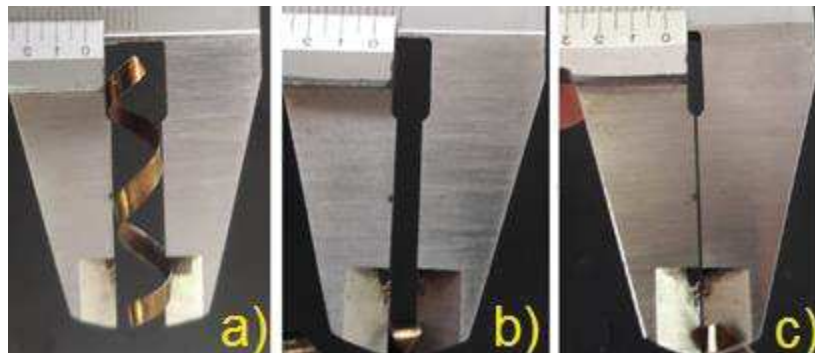
4.1 Caracterizações dos agregados

O agregado miúdo pôde ser classificado como uma areia média, por apresentar módulo de finura igual a 2,98, com massa específica igual a 2,63 kg/dm³. O agregado graúdo de origem basáltica apresentou dimensão máxima característica de 19,0mm e massa específica igual a 2,95 kg/dm³, sendo classificado comercialmente como brita 1.

4.2 Caracterização do resíduo de aço

Para realização deste estudo foram coletados 4,80kg de resíduo de aço, submetidos ao um processo de estiramento manual e corte mecânico com comprimento de 35mm, tamanho semelhante ao da fibras curtas industrializadas. O resíduo foi caracterizado considerando a largura, espessura e diâmetro determinados, utilizando paquímetro, como pode ser observado na Figura 4.

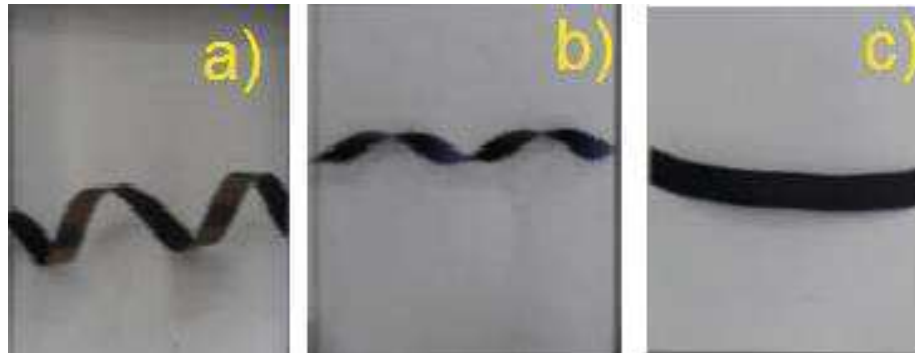
Figura 4. Caracterização das fibras: a) diâmetro; b) largura; c) espessura.



Fonte: O autor.

Durante a etapa de classificação do resíduo utilizado no concreto foram observados três formatos: Espirais longas, espirais curtas e filetes retos, apresentados na Figura 5, havendo variações em suas espessuras entre 0,1 e 1mm e larguras de 0,15 a 5mm.

Figura 5. Tipos de resíduos- a) espirais longas; b) espirais curtas e c) filetes retos.

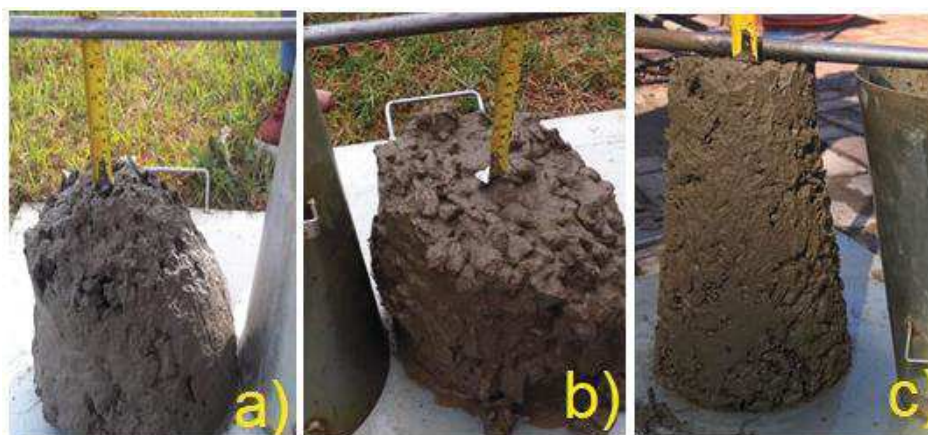


Fonte: O autor

4.3 Propriedades do concreto no estado fresco

No estado fresco os concretos foram avaliados quanto à trabalhabilidade, utilizando ensaio de abatimento de tronco de cone, resultando em valores iguais a 120 mm, 140 mm e 0 mm para os concretos C0, C20 e C40, respectivamente, conforme apresentado na Figura 6. Observou-se neste ensaio que a mistura do concreto C20 apresentou maior trabalhabilidade que o concreto de referência (C0), sendo atribuída a uma maior umidade do agregado graúdo, no qual se apresentava seco na superfície porém com umidade na parte inferior do recipiente. Após esta constatação o material foi submetido à secagem e recalculado o fator água cimento do concreto C20, resultando em 0,60.

Figura 6 - Resultados obtidos de trabalhabilidade: (a) Concreto sem fibras (C0); (b) Concreto com 0,5% de resíduo (C20); e (c) Concreto com 1,0% de resíduo (C40).



Fonte: O autor.

O concreto C40 não apresentou abatimento durante o ensaio, devido a grande quantidade de fibras e ao preenchimento das espirais das fibras com argamassa. Com o intuito de aumentar a trabalhabilidade deste concreto utilizou-se o aditivo superplastificante Adiment, da marca Otto Baumgart. Contudo, mesmo após a adição de 70g de aditivo, correspondente a 0,47% da massa de cimento, o concreto continuou com abatimento nulo, sendo cessado o uso de aditivos visto que o concreto começou a apresentar sinais de exsudação.

4.4 Propriedades do concreto no estado endurecido

No estado endurecido o concreto foi caracterizado quanto a sua massa específica, resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, determinados aos 28 dias de idade. Na Tabela 4, são apresentados os valores médios de massa específica dos concretos estudados. Os valores medidos para todos os corpos de prova são apresentados no apêndice A.

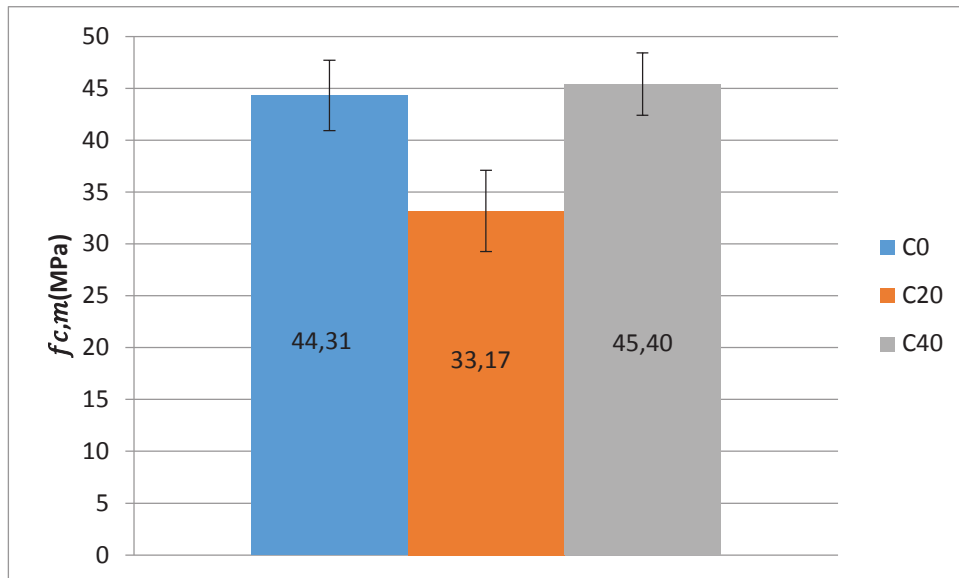
Tabela 4. Massa específica das misturas de concreto estudadas.

Composição	C0	C20	C40
Massa específica média (kg/m ³)	2.439,31	2.354,90	2.523,60
Desvio padrão (kg/m ³)	13,06	27,07	17,46
Coefficiente de Variação (%)	0,54	1,15	6,91

Realizando o teste T para comparação das médias de massa específica, utilizando o programa de análise estatística R, o p-valor comparando as misturas C0xC20, C20xC40 e C0xC40 resultou sempre inferior a 0,05, permitindo concluir que as massas específicas médias são significativamente diferentes.

Na Figura 7 são apresentadas as médias e os desvios padrão das resistências à compressão axial dos concretos estudados. Os resultados obtidos nos corpos de prova são apresentados na Tabela B1, B2 e B3 do Apêndice B.

Figura 7 - Resistência média à compressão e desvio padrão das misturas avaliadas.

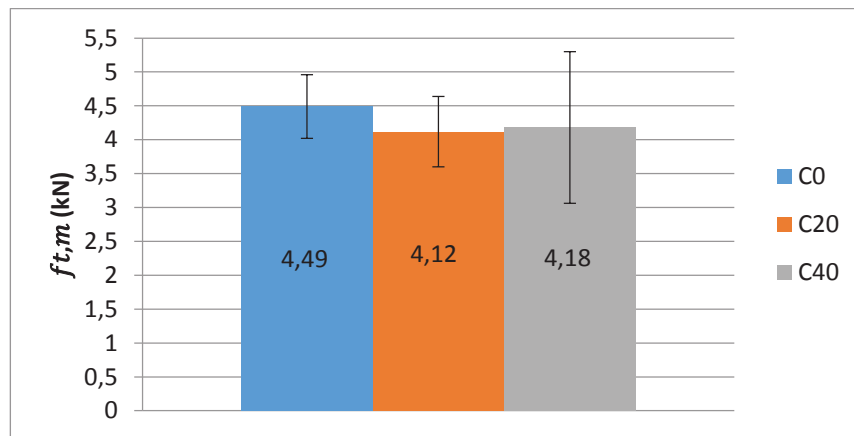


Analisando os resultados obtidos verifica-se que a resistência à compressão média apresentou valores próximos entre as misturas C0 e C40, com variação de 2,46%, e grande variação entre as misturas C0 e C40 em relação à C20, com redução de aproximadamente 25%. Realizando o teste T no programa R obteve-se os P-valores iguais a $1,056e-8$, $1,19e-10$ e $0,3738$ para as comparações C0xC20, C20xC40 e C0xC40, respectivamente, comprovando a similaridade das médias entre C0xC40 uma vez que o p-valor foi superior a 0,05.

A grande redução da resistência à compressão na mistura C20 associada à redução da massa específica apresentada por esta mistura indica o aprisionamento de ar no concreto devido à adição das fibras, podendo a argamassa não ter preenchido completamente as espirais formadas pelas fibras.

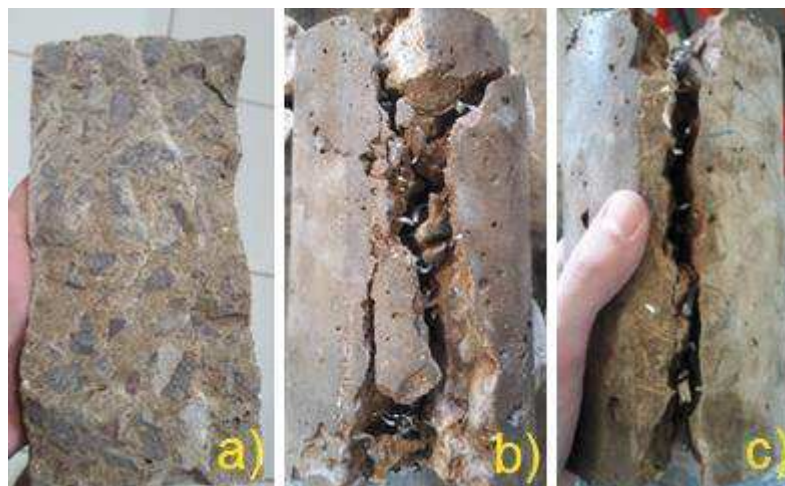
A resistência à tração por compressão diametral foi determinada utilizando 8 corpos de prova para cada mistura do concreto, sendo os valores médios e o desvio padrão apresentados na Figura 8, os valores para cada corpo de prova são apresentados na apêndice C.

Figura 8 - Resistência média à tração por compressão diametral e desvio padrão.



Apesar da pequena variação na resistência à compressão por tração diametral verifica-se através do teste T que as diferenças das médias não são significativas, pois as comparações entre as misturas resultaram em p-valor similar a 0,05. Entretanto, verificou-se uma alteração no comportamento do concreto pós-ruptura, no qual os corpos de prova da mistura C0 se romperam em pedaços enquanto nas misturas C20 e C40 as partes ficaram interligadas pelo resíduo metálico, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 9 - Corpo de prova, após ensaio de compressão diametral: (a) Concreto sem fibras (C0); (b) Concreto com 0,5% de resíduo (C20); e (c) Concreto com 1,0% de resíduo (C40).



Fonte: O autor

5 CONCLUSÃO

Após a realização de um programa experimental para avaliar a utilização de resíduo de aço gerado por tornearias como adição de fibras no concreto, podem ser estabelecidas as seguintes conclusões:

- A trabalhabilidade do concreto foi afetada consideravelmente com a adição de fibras, chegando a ser nulo, mesmo com a adição de superplastificante;
- A adição de fibra apresentou um aumento não significativo na resistência à compressão, de 2,46%, semelhante ao estudo de Cunha et al. 2016.
- A massa específica do concreto pode ser reduzida quando a mistura não garante o preenchimento das espirais das fibras, resultando em redução da resistência à compressão axial;
- A adição de fibras não aumentou a resistência à tração do concreto, como ocorre com a adição de fibras industrializadas;
- O comportamento pós-fissuração do concreto foi alterado pela adição de fibras;
- No que diz respeito à adição do resíduo de aço de tornearia no concreto, este não se apresentou como uma solução viável.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguindo a mesma linha de pesquisa propõe-se a análise do módulo de elasticidade e a tenacidade do concreto com adição de resíduo de tornearia e a utilização de outros resíduos metálicos, tais como o resíduo de ferro fundido, bronze e alumínio, como substituição ao agregado miúdo no concreto.

REFERÊNCIAS

- ARMELIN, H.S. **Contribuição ao estudo do concreto projetado por via seca com fibras de aço destinado ao revestimento de tuneis NATM**. São Paulo, 1992. 145p. Dissertação (Mestrado). Escola Politênica, Universidade de São Paulo.
- ASSIS, C. L, F. de. et al. **Efeito do raio de aresta na usinagem de um aço dual-fase**. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, ABCM, 2013.
- 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, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade a compressão. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento. 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, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 15530**: Fibras de aço para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.
- BALAGURU, P.N.; SHAH S.P. **Fiber Reinforced Cement Composites**. USA McGraw-Hill International Editions. 1992

BARROS, A. R. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço.** 2009. 155p. Dissertação (Pos-graduação) – Universidade Federal de Alagoas, 2009.

BENTUR, A; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites.** United Kingdom Barking, Elsevier Science publishers LTD. 1990.

BRAZ, M. C. De A; NASCIMENTO, Felipe B. C. **Concreto reforçado com fibras de aço:** Ciências exatas e tecnológicas, Maceió, v 3, n 1, p.43-56, Nov 2015.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DUBETON. **CEB-FIP Mode Code 1990.** Londo, Thomas Telford, 1993.

COSTA, J. D. M. **Avaliação da resistência ao cisalhamento direto em peças de concreto reforçadas com fibras de aço.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2017.

CUNHA, W. R. et al. **Análise comparativa entre concreto reforçado com resíduo metálico e fibras industrializadas.** 58º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, 2016.

FERREIRA, V. dos S. B. et al. **Análise de concretos fibrosos com diferentes tipos de fibras de aço.** 51º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, 2009.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto armado com fibras de aço:** em São Paulo. 2000. 69 f. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras.** Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, v. 2, capítulo 39, p. 1195-1225, 2005.

FIGUEIREDO, A. D.; CHAMA NETO, Pedro J.; FARIA, Hernado M. **A nova normalização brasileira sobre fibras de aço.** Revista Concreto & Construções, São Paulo, v. 36, n. 50, p. 67-76, abril/maio/junho 2008.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras.** 2011. 248p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil II. São Paulo, 2010.

FREITAS, G. H. M.; VIOLIN, R. Y. T.; SILVA J. R. R. **Concreto com adição de resíduos de indústria metal mecânica para fins de peças pré-moldadas sem função estrutural.** 8º Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, CESUMAR, 2013.

GÓIS, F. A. P. **Avaliação experimental do comportamento de fluido reforçado com fibras de aço: Influencia do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto.** 2010. 156p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2010.

SALVADOR, R. P.; FIGUEIREDO, A. D. **Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço**: Revista Matéria, São Paulo, v 18, n 2, p.1273-1285, Jun 2013.

SCOARIS, M. R.; BARBOSA, M. P.; PINTO JR., N. O. **Avaliação da resistência e rigidez de concretos reforçados com fibras submetidas à cura térmica pelo método da maturidade**, e-Mat – Revista de ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, Vol. 2, pp 127-141, novembro, 2005.

SENAI /CST. **Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção, Materiais Metálicos e Não Metálicos**, Vitória, 1996.

SILVA, E. B. et al. **Obtenção de concreto auto-adensável com fibras de aço a partir de parâmetros de influência de comportamento no estado fresco e endurecido de argamassa fluida**. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, 2009.

TORALLES-CARBONARI, B. M.; PAES L; SCHIAVENATTO R. **Concreto de alto desempenho auto-adensável com adição de fibras de aço: tenacidade e módulo de elasticidade**. 50º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, 2008.

VARGAS, E. Z. **Punção em lajes-cogumelo de concreto de alta resistência reforçado com fibras de aço**: em estudo em São Carlos. 1997. 223 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1997.

WATANABE, P. S. **Concretos especiais: propriedades, materiais e aplicações**. Relatório final de pesquisa (Bolsa de Inscrição Científica FAPESP) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, fevereiro 2008,192p.

Apêndice A – Massa específica

Tabela A1 - Tabela completa massa específica

Corpo de prova	C0			C20			C40		
	Massa Natural (g)	Massa Submersa (g)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Natural (g)	Massa submersa (g)	Massa Específica (kg/m ³)	Massa Natural (g)	Massa submersa (g)	Massa Específica (kg/m ³)
1	3816,1	2256,3	2446,53	3605,8	2075,3	2355,96	3954,7	2388,6	2525,19
2	3720	2201,5	2449,79	3713,4	2152	2378,25	3936,9	2378,2	2525,76
3	3784,6	2227	2429,76	3617,9	2111,9	2402,32	3967,5	2396,4	2525,30
4	3814,9	2254,9	2445,45	3694,5	2128,5	2359,20	3891,6	2358,8	2538,88
5	3765,7	2225,4	2444,78	3581,5	2046,4	2333,07	3867,9	2342,9	2536,33
6	3776,7	2227,9	2438,47	3599,4	2057,9	2335,00	3890,2	2341,2	2511,43
7	3802,6	2243,4	2438,81	3598	2083,3	2375,39	3925,1	2382,5	2544,47
8	3755,4	2219,7	2445,40	3667,3	2122,2	2373,50	3964,9	2406,4	2544,05
9	3818,5	2262,2	2453,58	3560,9	2031,8	2328,76	3946,7	2387,0	2530,42
10	3790,7	2237,8	2441,05	3711,7	2164,9	2399,60	3933,7	2376,9	2526,79
11	3812,3	2250,4	2440,81	3633,9	2098,9	2367,36	3931,4	2367,9	2514,49
12	3722,9	2197,4	2440,45	3767	2197,9	2400,74	3892,7	2348,8	2521,34
13	3778,5	2220,3	2424,91	3524,9	2016,5	2336,85	3986,1	2417,5	2541,18
14	3862,5	2291	2457,84	3578,2	2036,2	2320,49	3936,9	2392,7	2549,48
15	3861,7	2282,9	2445,97	3669,3	2098,2	2335,50	3893,9	2350,6	2523,10
16	3769,2	2228,9	2447,06	3742,8	2185,1	2402,77	3836,7	2283,1	2469,55
17	3727,8	2198	2436,79	3628,8	2085,5	2351,33	3883,2	2333,5	2505,78
18	3801,2	2245,4	2443,24	3564,4	2032	2326,02	3890,5	2350,6	2526,46
19	3751,2	2211,8	2436,79	3663,1	2114,9	2366,04	3918	2357,9	2511,38
20	3547,2	2063,4	2390,62	3624,2	2071,7	2334,43	3874,9	2336,5	2518,79
21	3741,5	2207,4	2438,89	3565,9	2026,4	2316,27	3869,1	2326,0	2507,36
22	3725,8	2191,2	2427,86	3658,9	2105,8	2355,87	3964,4	2408,9	2548,63
23	*	*	*	3637,3	2079,9	2335,50	3911,7	2358,0	2517,67
24	*	*	*	3586,1	2045,3	2327,43	3962,2	2379,0	2502,65

Apêndice B – Compressão Axial

Tabela B1 - Resistência a Compressão axial concreto simples (C0)

Corpo de prova	Força máxima (kN)	f_c (MPa)	S (MPa)	Variância	$f_{c,m}$ (MPa)
1	379,60	47,38			
2	318,25	40,52			
3	394,95	48,33			
4	346,95	40,84			
5	370,45	47,17			
6	367,95	46,85			
7	350,35	42,88			
8	329,85	42,00	3,38	11,46	44,31
9	346,40	44,11			
10	402,15	47,34			
11	366,90	45,79			
12	310,70	36,92			
13	386,20	48,20			
14	330,05	42,02			

Tabela B2 - Resistência a Compressão axial concreto com acréscimo de 0,5% de resíduo metálico (C20).

Corpo de prova	Força máxima (kN)	f_c (MPa)	S (MPa)	Variância	$f_{c,m}$ (MPa)
1	284,85	36,27			
2	198,10	25,22			
3	221,65	28,22			
4	277,20	35,29			
5	277,55	35,34			
6	273,25	34,79			
7	252,50	32,15			
8	281,15	35,80			
9	258,10	32,86	3,91	15,35	33,17
10	275,35	35,06			
11	290,05	36,93			
12	280,00	35,65			
13	219,6	27,96			
14	294,55	37,50			
15	280,90	35,77			
16	203,90	25,96			

Tabela B3 - Resistência a Compressão axial concreto com acréscimo de 1% de resíduo metálico (C40).

Corpo de prova	Força máxima (kN)	f_c (MPa)	S (MPa)	Variância	$f_{c,m}$ (MPa)
1	378,40	48,18			
2	359,30	45,75			
3	392,40	49,96			
4	317,55	40,43			
5	368,20	46,88			
6	375,00	47,75			
7	329,20	41,92			
8	377,10	48,01	3,00	9,02	45,40
9	363,10	46,23			
10	336,35	42,83			
11	301,85	38,43			
12	358,95	45,70			
13	375,30	47,78			
14	364,90	46,46			
15	347,50	44,25			
16	360,25	45,87			

Apêndice C – Compressão diametral

Tabela C1 - Resistência tração por compressão diametral

Composição	Corpo de provas	Força máxima (kN)	f_t (MPa)	S (MPa)	Variância	$f_{t,m}$ (MPa)
C0	1	125,95	4,24	0,4717	0,2225	4,49
	2	129,50	4,33			
	3	129,70	4,37			
	4	139,05	4,68			
	5	163,75	5,49			
	6	144,35	4,83			
	7	121,40	4,09			
	8	114,70	3,88			
C20	1	110,70	3,75	0,5227	0,2732	4,12
	2	129,00	4,34			
	3	103,15	3,49			
	4	98,40	3,36			
	5	145,30	4,91			
	6	138,70	4,67			
	7	131,35	4,40			
	8	118,45	4,01			
C40	1	104,25	3,53	1,1190	1,2522	4,18
	2	99,85	3,41			
	3	93,30	3,19			
	4	83,60	2,85			
	5	144,05	4,90			
	6	120,30	4,09			
	7	187,70	6,42			
	8	147,55	5,04			