

# ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE MACROFIBRAS ESTRUTURAIS SINTÉTICAS E MICROFIBRAS DE VIDRO ANTI-CRACK AR EM PISOS

## Analysis of the application of concrete addicted with macro synthetic structural fibers and micro AR glass fibers on floor

Caroline Marção Wolf de Goes <sup>1</sup>, Patrícia Stella Pucharelli Fontanini <sup>2</sup>, Lia Lorena Pimentel <sup>3</sup>, Ana Elisabete Paganelli G. de Avila Jacintho <sup>4</sup>

Recebido em 27 de fevereiro de 2016; recebido para revisão em 03 de abril de 2016; aceito em 30 de maio de 2016; disponível on-line em 15 de junho de 2016.



### PALAVRAS CHAVE:

FRP (Fiber Reinforced Plastic);  
 Concreto com fibras;  
 Fissuras do concreto;  
 Microfibras estruturais sintéticas;  
 Microfibra de vidro.

### KEYWORDS:

FRP (Fiber Reinforced Plastic);  
 Concrete with Fibers;  
 Concrete Cracks;  
 Macrosynthetic Structural Fibers;  
 MicroAR glass Fibers.

**RESUMO:** As fibras vêm sendo muito utilizadas para reforçar o concreto, e hoje, existe uma grande variedade delas, por exemplo, fibras de polipropileno, fibras sintéticas, fibras com baixo teor de carbono, e fibras de polietileno. O emprego das fibras nas misturas cimentícias promove diversas melhorias ao concreto armado, como, aumento da resistência à fadiga e ao impacto; tenacidade à flexão; aumento da capacidade de absorção de energia, que transferem tensões através de fissuras, fazendo com que reduza sua propagação e expansão; e maior ductilidade, pois em concretos não reforçados, após a primeira fissura, o concreto se torna deficiente. Nesta pesquisa foram apresentadas as principais vantagens da adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro ao concreto em pisos para redução de fissuras. O presente trabalho tem o objetivo de apresentar um Estudo de Caso e propor dois novos traços de concreto com adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro como reforço de pisos e um traço referência sem adição de fibras. Foram analisadas as resistências à compressão axial, diametral, tração na flexão, impacto e módulo de elasticidade, dos novos traços e do concreto utilizado no Estudo de Caso, bem como, foram apresentadas as vantagens e desvantagens dessa mistura em relação ao concreto convencional.

**ABSTRACT:** The fibers have been widely used for reinforcing concrete, and today, there are a plenty of them, like, polypropylene fibers, synthetic fibers, fibers with low carbon content and polyethylene fibers. The use of fibers in cementitious mixtures promotes several improvements to the concrete, as, increased resistance to fatigue and impact, flexural toughness, increased capacity of energy absorption, that transfer stresses through the cracks, reducing the propagation and expansion, and more ductility, because unreinforced concrete, after the first fissure, the concrete becomes disabled. This research will analyze the main advantages of the application of macro synthetic structural fibers and micro AR glass fibers to concrete floors to reduce cracks. This paper aims to present a case study and two new features have been proposed using macro synthetic structural fibers and micro AR glass fibers addition on reinforced concrete on floors and one feature without fibers. Resistance to axial compression, diametrical compression, flexural toughness, impact resistance and elasticity module were analyzed of the new features and the concrete used at case study, as well as the advantages and disadvantages of this mixture comparing to conventional concrete.

### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: caroline.marcao@gmail.com (C. Marção)

Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCAMP.

<sup>2</sup> e-mail: pspucha@gmail.com (P. S. P. Fontanini)

Professora Doutora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

<sup>3</sup> e-mail: liapl@puc-campinas.edu.br (L. L. Pimentel)

Professora Doutora da Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCAMP.

<sup>4</sup> e-mail: anajacintho@puc-campinas.edu.br (A. E. P. G. A. Jacintho)

Professora Doutora da Faculdade de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCAMP.

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos elementos mais antigos da humanidade, mesmo assim, ele ainda apresenta alguns problemas e preocupações aos seus usuários, como, fissurações. Por isso, nos últimos anos, tem-se estudado a adição de materiais novos ao concreto para evitar problemas, como, fibras, aditivos, entre outros.

Em 2003, formou-se a Instituição Internacional para Reforço de Fibras Poliméricas na Construção Civil, com o objetivo de avançar o estudo e aplicação deste tipo de fibras nos compósitos da construção civil. Para as fibras poliméricas já existem muitos estudos a respeito das suas aplicações na construção civil (MEIER, 2002 apud GARCEZ, 2007), tais como, reforços para concreto de lajes ou vigas ou pilares, atribuição dos limites de aplicação de FRP em reparos, garantia de grande resistência à tração, porém, ainda há muito a ser feito. Espera-se uma inovação de combinações de FRP com materiais da construção civil, que produzirá novos elementos estruturais e formas, que serão de alto desempenho e estruturas sustentáveis.

Entretanto, para as macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro não há tantos estudos e nem normas no Brasil. Suas principais funções quando adicionadas ao concreto são: aumento da capacidade de absorção de energia ao concreto com a adição das macrofibras estruturais sintéticas, e combate a retração plástica com a adição das microfibras de vidro. Por isso, este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento das macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro em reforço de concreto para pisos.

## 2. OBJETIVO

O intuito deste trabalho é propor traços de concreto com a adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro, que minimizem as fissuras pós-concretagem. Além do objetivo principal, o trabalho apresenta como objetivos secundários:

- Estudo das características de pisos de concreto com adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro quanto a sua resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade e resistência ao impacto.
- Apresentar dois novos traços e compará-los com um traço referência e um traço desenvolvido no Estudo de Caso aplicado.

## 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas pesquisas em campo, sendo estas, divididas em duas etapas, como segue abaixo:

- Realização do Estudo de Caso, que contemplou a coleta de dados de uma obra a qual utilizou o concreto reforçado com macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro para execução de piso.
- Desenvolvimento de dois novos traços de concreto com a adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro e um traço referência sem adição de fibras para estabelecimento de comparação. Sendo que esta etapa foi dividida em: moldagem do concreto, realização de testes de resistências do concreto, e, comparação dos resultados obtidos entre o concreto do Estudo de Caso e o concreto dos novos traços.

### 3.1 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS TRAÇOS

Foram propostos dois novos traços de concreto com adição de fibras e novas dosagens de fibras, a fim de aumentar a resistência que temos, a partir do Estudo de Caso, e proposto um traço como referência sem a adição de fibras. Para cada traço foram moldados quatro corpos-de-prova para cada tipo de ensaio, e os corpos-de-prova foram mantidos na câmara úmida durante a sua cura e rompidos aos 28 dias de idade, a fim de descobrir uma solução que minimizasse ainda mais a fissuração pós-concretagem de pisos. Antes de iniciar os ensaios, os corpos-de-prova foram limpos, retificados e secos, a fim de regularizar a superfície e garantir um melhor resultado.

No primeiro traço, estabelecido como referência, foi determinada como 1: 2 : 3, a/c 0,40, sendo 383,14 kg de cimento, 766,28 kg de areia, 1149,42 kg de brita 1, e 153,26 kg de água. O segundo traço foi determinado como 1: 2: 3, a/c 0,40, sendo 383,14 kg de cimento, 766,28 kg de areia, 1149,42 kg de brita 1, e 153,26 kg de água. Neste traço, foram utilizadas macrofibras estruturais sintéticas Forta Ferro 54 e microfibras de vidro anti-crack AR (Álcali-Resistente), sendo que as quantidades foram 3,83 kg para cada tipo de fibra. O terceiro traço foi definido como 1: 2: 3, a/c 0,40, sendo 383,14 kg de cimento, 766,28 kg de areia, 1149,42 kg de brita 1, e 153,26 kg de água. Neste traço, foram utilizadas macrofibras estruturais sintéticas Forta Ferro 54 e microfibras de vidro anti-crack AR (Álcali-Resistente), sendo que as quantidades foram 7,66 kg e 3,83 kg, respectivamente. Para estes três traços, houve o acréscimo de aditivo plastificante, 1,92 kg, sendo que a dosagem do mesmo era de 0,50% em relação ao peso do cimento em quilos (kg).

### 3.2 ENSAIOS

No laboratório universitário, foram realizados os ensaios de Resistência à Compressão Axial, Resistência à Tração por Compressão Diametral, Resistência à Tração na Flexão, Resistência ao Impacto de e Módulo de Elasticidade para todos os traços (referência sem adição de fibras; com adição de 1,0% de cada tipo de fibra; e com adição de 2,0% de macrofibras estruturais sintéticas e de 1,0% de microfibras de vidro),

inclusive o concreto do Estudo de Caso. Os corpos-de-prova foram executados conforme a norma vigente NBR 5738 (ABNT, 2003). Os materiais foram separados e pesados, conforme Figura 1.

#### 3.2.1 Resistência à Compressão Axial

Para este ensaio, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos de  $\varnothing$  10 cm e altura 20 cm. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2007) e utilizou-se a prensa Pruf und Mess – MFL Systeme (Figura 2) com capacidade de 100 t. Os corpos-de-prova foram posicionados verticalmente sobre o prato inferior da prensa, de maneira que seu eixo coincidisse com o eixo da máquina, a fim de serem submetidos aos esforços de compressão. O acionamento da máquina através de fonte estável de energia propiciou uma aplicação de força contínua e isenta de choques. A velocidade de carregamento foi entre  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s, e só cessou após a ocorrência da queda de força, indicando a ruptura do corpo-de-prova.

A Resistência à Compressão Axial deve ser calculada conforme Equação 1 (NBR 5739, ABNT 2007):

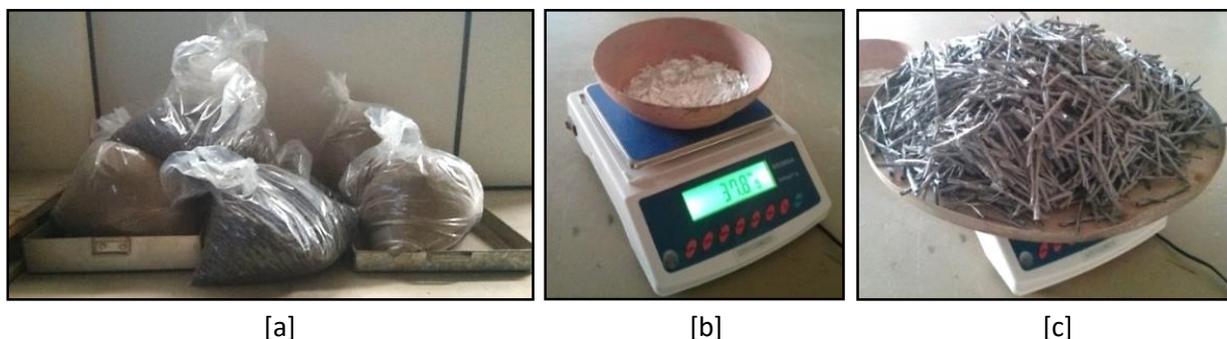
$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

**F<sub>c</sub>**: é a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);

**F**: é a força máxima alcançada, expressa em Newtons (N);

**D**: é o diâmetro do corpo-de-prova, expresso em milímetros (mm).



**FIGURA 1:** Separação dos materiais. (a) Pesagem das fibras (b) Vidro W70 (c) Macrofibra sintética estrutural FF54.

**FONTE:** Marção (2014).



**FIGURA2:** PrensaPruf und Mess – MFL Systeme.

**FONTE:** Marção (2014).

### 3.2.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Para este ensaio, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos de  $\varnothing$  10 cm e altura 20 cm. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 7222 (2011). A norma estabelece que a relação entre o comprimento e o diâmetro do corpo-de-prova deve estar entre um e dois. Para este trabalho, a relação foi igual a dois. Também, utilizou-se a prensa Pruf und Mess – MFL Systeme. Para a execução do ensaio, os corpos-de-prova foram posicionados horizontalmente sobre o prato da prensa, conforme Figura 3, de modo que ficassem em repouso, e coincidissem com o eixo de aplicação da carga, a fim de serem submetidos aos esforços de tração por compressão diametral. Além disso, foram utilizadas duas tiras de chapa dura, de fibras de madeira, isentas de defeitos, com comprimento maior ao comprimento do corpo-de-prova, para auxiliar no posicionamento do corpo-de-prova. A carga aplicada foi contínua e sem choques, com um crescimento constante da tensão de tração, e com uma velocidade de  $0,05 \pm 0,02$  MPa/s até ocorrer a ruptura do corpo-de-prova.



**FIGURA 3:** Corpo-de-prova submetido ao Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.

**FONTE:** Marção (2014).

A Resistência à Tração por Compressão Diametral deve ser calculada conforme Equação 2 (ABNT NBR 7222, 2011):

$$f_{ct, sp} = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times \ell} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

**f<sub>ct,sp</sub>:** é a resistência à tração por compressão diametral, expressa em megapascals (MPa);

**F:** é a força máxima obtida no ensaio, expressa em Newtons (N);

**D:** é o diâmetro do corpo-de-prova, expresso em milímetros (mm);

**ℓ:** é o comprimento do corpo-de-prova, expresso em milímetros (mm).

### 3.2.3 Resistência à Tração na Flexão

Para este ensaio, foram moldados corpos-de-prova prismáticos de 10 x 10 x 40 cm. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 12142 (ABNT, 2010) e utilizou-se a prensa EMIC, modelo DL 3000, equipada com dois apoios e dois pontos de aplicação, e as distâncias entre eles permaneceram constantes durante todo o ensaio. A força foi aplicada à superfície do corpo-de-prova, para evitar excentricidade, e de forma gradual e uniforme, para evitar choque, e a tensão de carregamento foi de 2,0 mm/min. Os corpos-de-prova foram posicionados horizontalmente na prensa, presos por quatro cutelos, sendo dois apoios e dois pontos de aplicação, a fim de determinar a resistência à tração na flexão. Como os corpos-de-prova foram moldados, as faces laterais em relação à moldagem ficaram em contato com os elementos de aplicação de força e apoios. Os cutelos inferiores (apoios) estavam distanciados em 30 cm, e os cutelos superiores (pontos de aplicação) estavam distanciados em 10 cm. Na face de rasamento e na face oposta (fundo da forma), foram traçadas linhas que facilitassem a centralização do corpo-de-prova na prensa. Após a ruptura do corpo-de-prova, obteve-se a resistência do concreto à tração na flexão. Na Figura 4a, pode-se observar o corpo-de-prova submetido ao ensaio de Tração na Flexão e na Figura 4b, observa-se fissura gerada no corpo-de-prova após a ruptura.

A Resistência à Tração na Flexão deve ser calculada de acordo com a Equação 3 (NBR 12142, ABNT, 2010):

$$f_{ct}, f = \frac{F \times \ell}{b \times h^2} \quad \text{Eq. [3]}$$

Porém, caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5,0 % de  $\ell$ , a resistência à tração na flexão deve ser calculada conforme Equação 4:

$$f_{ct}, f = \frac{3 \times F \times a}{b \times h^2} \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

**f<sub>ct</sub>, f**: é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

**F**: é a força máxima obtida na máquina de ensaio, expressa em Newtons (N);

**b**: é a largura média do corpo-de-prova, expressa em milímetros (mm);

**ℓ**: é a dimensão do vão entre os apoios, expressa em milímetros (mm);

**h**: é a altura média do corpo-de-prova, expressa em milímetros (mm);

**a**: é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, expressa em milímetros (mm).

Neste trabalho, **b** era 100 mm, **ℓ** era igual a 300 mm e **h** era igual a 100 mm.

### 3.2.4 Módulo de elasticidade

Para este ensaio, foram moldados

corpos-de-prova cilíndricos de  $\varnothing$  10 cm e altura 20 cm. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 8522 (ABNT, 2008). Utilizou-se, também, a prensa EMIC, modelo DL 3000, e os corpos-de-prova foram posicionados verticalmente na prensa, para a determinação o módulo de elasticidade. O corpo-de-prova foi centralizado nos pratos da máquina de ensaio, conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2007), conforme Figura 5. O carregamento e o descarregamento teve sua velocidade entre  $0,45 \pm 0,15$  MPa/s. A metodologia utilizada para este ensaio foi por tensão fixa, e consistiu na realização das seguintes etapas:

- Primeiramente, o corpo-de-prova foi carregado até 1/3 da carga de ruptura por 60 segundos. Em seguida, foi descarregado até uma força de 0,5 MPa durante 60 segundos.
- Esse procedimento foi realizado durante sete minutos, sendo que foram realizados quatro carregamentos e três descarregamentos, conforme a norma NBR 8522 (ABNT, 2008), e todas as deformações foram registradas durante todo o ensaio.
- E por fim, o corpo-de-prova foi submetido aos esforços de compressão até a ocorrência da sua completa ruptura, obtendo-se, então, a sua resistência à compressão axial, conforme a norma NBR 8522 (ABNT, 2008).

A carga de ruptura utilizada para a metodologia foi desenvolvida a partir da média das cargas de ruptura do ensaio de Resistência à Compressão Axial realizado anteriormente.

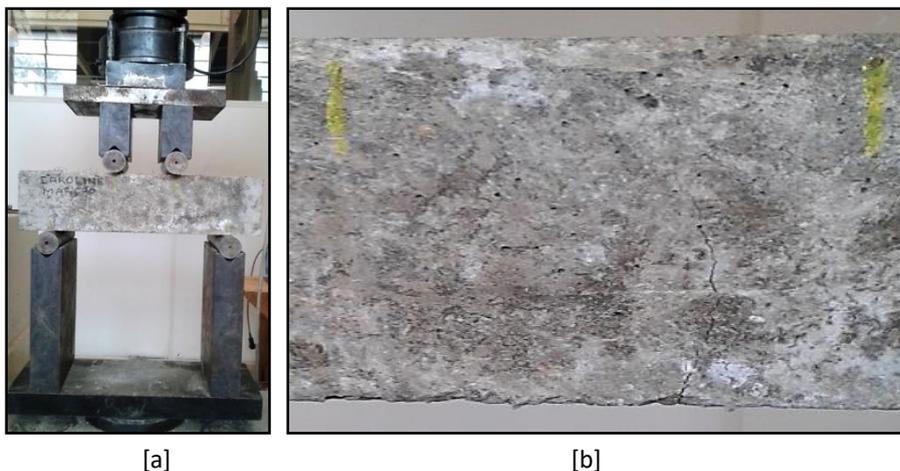


FIGURA 4: [a] Corpo-de-prova posicionado na prensa DL3000; [b] Ruptura do corpo-de-prova.

FONTE: Marção (2014).

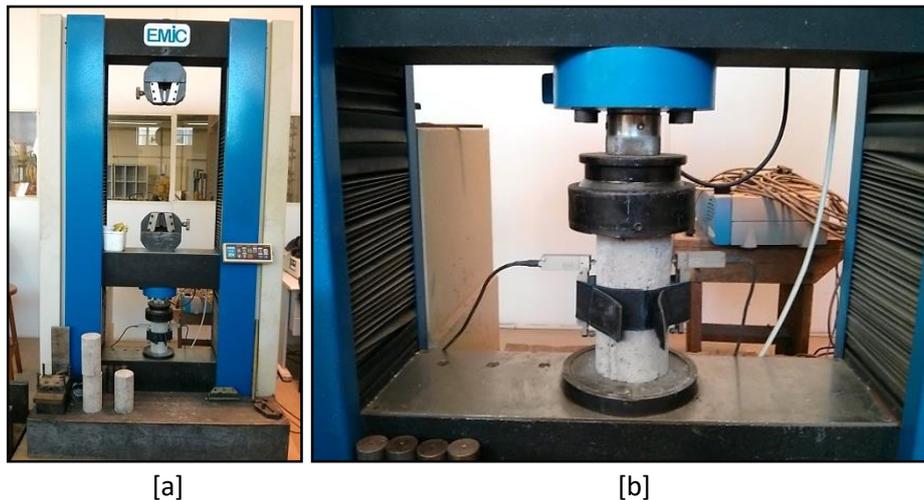


FIGURA 5: [a] Prensa EMIC – DL3000; [b] Corpo-de-prova submetido ao ensaio de módulo de elasticidade.

FONTE: Marção (2014).

O valor do módulo de elasticidade pode ser calculado pela seguinte Equação 5 (NBR 8522, ABNT, 2008):

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma \times 10^{-3}}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_b - 0,5 \times 10^{-3}}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \quad \text{Eq. [5]}$$

Em que:

**$\sigma_b$** : é a tensão máxima ( $\sigma_b = 0,3 \times f_c$ ), expressa em megapascals (MPa);

**0,5**: é a tensão básica, expressa em megapascals (MPa);

**$\varepsilon_b$** : é a deformação específica média ( $\varepsilon = \Delta L / L$ ) dos corpos-de-prova sob a tensão maior;

**$\varepsilon_a$** : é a deformação específica média dos corpos-de-prova sob a tensão básica (0,5 Mpa).

### 3.2.5 Resistência ao Impacto

Para este ensaio, foram moldados corpos-de-prova retangulares de 5 x 25 x 35 cm. O ensaio de resistência ao impacto foi realizado adaptado da norma NBR 9474 (ABNT, 2011) e da mesma forma que Kobayashi, 2010. Foram utilizados os seguintes materiais: um tubo guia de plástico de 4,20 m de altura (Figura 6a), o qual possuía marcações transversais distanciadas a cada 20 cm, e um peso de 1,50 kg (Figura 6b), sendo que esta era solta em queda livre sobre um corpo-de-prova disposto em um tapete de borracha.

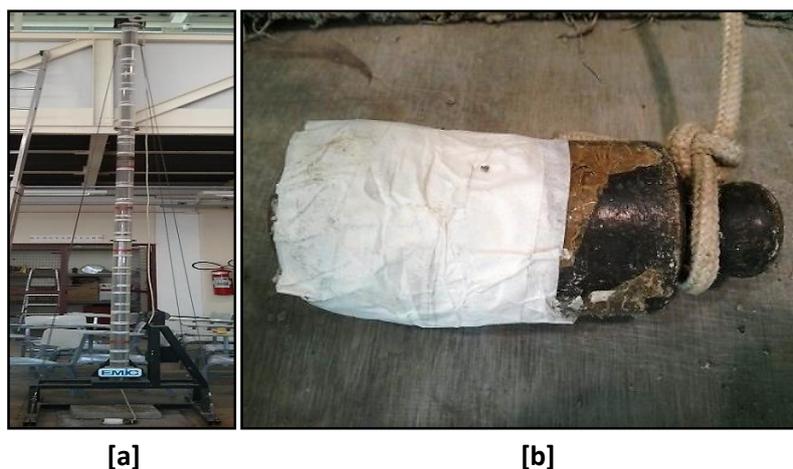


FIGURA 6: [a] Tubo guia de 4,20 m de altura; [b] Esfera de 1,5 kg.

FONTE: Marção. (2014).

A partir deste método, a resistência ao impacto foi determinada em função da somatória da energia necessária para ocasionar a primeira fissura na face superior do corpo-de-prova, calculada conforme a Equação 6. Na Figura 7, observa-se a fissura gerada no corpo-de-prova retangular para o ensaio de resistência ao Impacto.

$$E_i = h \times m \times a \quad \text{Eq. [6]}$$

Em que:

**E<sub>i</sub>:** é a energia de impacto (J);

**h:** é a altura de queda (h);

**m:** é a massa da esfera (kg);

**a:** é a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

Para este trabalho, **m** era igual a 1,50 kg e **a** era igual a 9,81 m/s<sup>2</sup>.



**FIGURA 7:** Corpo-de-prova após o surgimento da primeira fissura. **Fonte:** Marção. (2014).

### 3.3 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DO CONCRETO

#### 3.3.1 Cimento

O cimento utilizado neste trabalho foi o Cimento Portland, CP II-E-32, e foi escolhido por ser o mais próximo ao cimento utilizado na Obra, objeto

do Estudo de Caso. A Tabela 1 abaixo apresenta as características do cimento CP II-E-32, de acordo com o fabricante CAUÊ.

#### 3.3.2 Aditivo

Utilizou-se aditivo superplastificante, denominado ADVA CAST 525. Este aditivo apresenta densidade de 1,06 kg/dm<sup>3</sup> de cor amarelo claro. Segundo o fabricante, este aditivo tem como base policarboxilato, e foi desenvolvido para proporcionar excelente trabalhabilidade sem causar segregação ao concreto, além disso, reduz defeitos por cavidades superficiais por permitir boas características ao acabamento superficial, e conseqüentemente, reduz a necessidade de retoques.

#### 3.3.3 Agregados (Brita e Areia) e Água

O agregado graúdo utilizado nos traços experimentais foi a brita 1, de origem natural basáltica, e o agregado miúdo, de origem quartzosa natural, foi a areia média, ambos, armazenados em baias no campus universitário. A água utilizada era a mesma fornecida para o consumo da população. Ou seja, água corrente, limpa, e fornecida pelo Sistema Municipal de Abastecimento de Campinas (SANASA).

#### 3.3.4 Fibras

Nesta pesquisa foram utilizadas: Macrofibras Estruturais Sintéticas e Microfibras de Vidro Anti-Crack AR, para o controle das retrações na fase plástica. Todas as fibras utilizadas neste trabalho foram distribuídas pela empresa Construquímica.

**TABELA 1:** Características do cimento segundo fabricante.

Idades	Resistência à Compressão (MPa)			Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Início de pega (min)	Fim de pega (min)
	3 dias	7 dias	28 dias			
<b>ABNT NBR 11578, 1997</b>	≥ 10	≥ 20	≥ 32	≥ 2600	≥ 60	≤ 600
<b>CP II E 32 CAUÊ</b>	20*	29*	35*	3600*	185*	295*

\* Valores médios obtidos do Mapa da Qualidade do CII-E-32 da unidade de Ijaci/MG no período de janeiro a março de 2012.

**FONTE:** adaptado Cauê (2014).

### 3.3.4.1 Macrofibras estruturais sintéticas Forta Ferro 54

A Forta Ferro 54 é uma mistura de macrofibras estruturais sintéticas para uso em concretos à base de cimento tipo Portland. É produzida com 100% de copolímero virgem e polipropileno, e composta por macrofibras estruturais monofilamento em feixe trançado (“twist”) e microfibras tipo fibriladas (multifilamentos) (Figura 8). Este *blend* é produzido por uma empresa americana, Forta Corporation, a qual iniciou a sua produção após descobrir, ao longo de vários anos de pesquisas, que este *blend* é capaz de substituir em um nível muito alto a fibra de aço. (FORTA FERRO, 2014) Esta fibra pode ser adicionada ao concreto na fase de mistura ou diretamente na betoneira. Para garantir uma completa homogeneização, deve-se misturar os componentes durante um período de 1 minuto para cada m<sup>3</sup>.

Não são corrosíveis, nem magnéticas, não afloram na superfície, são totalmente resistentes aos álcalis presentes no concreto, de acordo com a norma ASTM C 1116/C 1116M-08a. Para avaliação do desempenho desta mistura, utiliza-se a norma ASTM C1609 ou JSCE SF-4, para determinar a resistência que a fibra proporciona ao concreto após a fissuração. A dosagem deve ser entre 3,0 a 9,0kg/m<sup>3</sup>, porém, deverá ser determinada por um projetista. Suas propriedades são: densidade igual 0,91 g/cm<sup>3</sup>; Resistência à Tração entre 570 a 660 MPa; Módulo de Elasticidade igual 5,0 GPa; comprimento igual a 54 mm; fator de forma (l/d): 158; Resistencia a álcali: Excelente; Absorção: Zero (CONSTRUQUÍMICA, 2014).



**FIGURA 8:** Mistura de macrofibras estruturais de monofilamento e microfibras tipo fibriladas.  
**FONTE:** Tamaki (2011).

### 3.3.4.2 Microfibras de Vidro Anti-Crack AR

As microfibras de vidro Anti-Crack AR são resistentes à alcalinidade do concreto, para isso, é adicionado na composição do vidro, óxido de zircônio (ZrO<sub>2</sub>) que não é encontrado em outros tipos de fibras de vidro. Quanto maior a quantidade de óxido de zircônio, melhor a resistência ao álcali. A microfibra de vidro anti-crack AR possui uma quantidade mínima de 19% de óxido zircônio, acima do estabelecido pela ASTM 1666 (Figura 9). Não são corrosíveis, são seguras e fáceis de utilizar. A mistura é homogênea, controla e previne as fissuras em concreto fresco, cerâmica, silicatos de cálcio e matrizes de gipsita. (OWENS CORNING, 2014) São os últimos componentes a serem adicionados à betoneira e devem ser misturados durante 3 minutos para garantir a homogeneização. No caso de pisos e pavimentos, devido ocorrência de retração plástica, a dosagem deve ser entre 0,30 a 1,20 kg/m<sup>3</sup>. Suas propriedades são: Densidade igual a 2,4 g/cm<sup>3</sup>; Diâmetro da fibra: 0,013 mm; Resistencia à Tração igual a 1.700 MPa; Módulo de Elasticidade: 72 GPa; Deformação: mais de 1,50%; Resistividade alcalina: Perda de massa: 0,85% (Taxa de perda de massa, mantida a 80°C por 200 horas em solução cimentícia), Retenção da resistência à tração: 75,0% (Taxa de retenção da resistência à tração, mantida a 50°C por 300 horas) (CONSTRUQUÍMICA, 2014). A empresa fabricante desta fibra é Nippon Electric Glass Co. Ltd., localizada no Japão. Além dessa fibra, a empresa produz muitos outros produtos, para construção civil, saúde e outras áreas.



**FIGURA 9:** Microfibras de vidro.  
**FONTE:** Marção (2014).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 ESTUDO DE CASO

#### 4.1.1 Coleta de dados da obra

A pesquisa foi desenvolvida a partir de um Estudo de Caso, exploratório, realizado em uma obra de salas comerciais, localizada na cidade de Campinas-SP. Foram analisados os seguintes itens: o traço do concreto, as dosagens de fibras utilizadas nesta obra, bem como, a resistência à compressão axial e diametral, tração na flexão, impacto e módulo de elasticidade deste concreto. O traço utilizado foi 1 : 2,02 : 0,67 : 0,60 : 2,42, a/c 0,56, sendo 330,0 kg de cimento, 666,0 kg de areia, 222,0 kg de pó de pedra, 199,0 kg de brita #0, 798,0 kg de brita #1, e 184,80 kg de água. Houve, também, o acréscimo de aditivo plastificante, sendo sua dosagem de 0,42% em relação ao peso do cimento em quilos (kg). Foram utilizados 3,0 kg/m<sup>3</sup> de macrofibras estruturais sintéticas *Forta Ferro 54* e 600,0 g/m<sup>3</sup> microfibras de vidro *Anti-Crack AR*. A resistência média à compressão é 39,54 MPa e a aplicação do concreto com fibras foi executada em pisos de subsolo, conforme Figura 10a. Para a realização dos ensaios para o Estudo de Caso, foi utilizado o concreto de apenas um caminhão betoneira, e foram moldados os corpos-de-prova para todos os ensaios, conforme Figura 10b, e os resultados foram comparados com os resultados obtidos dos concretos moldados em laboratório.

A Figura 11a, apresenta a concretagem de umas das etapas do piso, utilizando concreto com adição macrofibras estruturais sintéticas *Forta Ferro 54* e microfibras de vidro *Anti-Crack AR*. A

Figura 11b, apresenta o acabamento superficial de uma das etapas do piso, após um dia da execução da sua concretagem.

### 4.2 EXPERIMENTOS

A partir da produção dos dois novos traços de concreto reforçado com macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro e do traço referência, foram observadas e comparadas as suas propriedades em relação ao concreto reforçado com fibra do Estudo de Caso.

Para os ensaios de resistência à Tração por Compressão Diametral, resistência à Tração na Flexão, resistência à Compressão Axial e Módulo de Elasticidade, os resultados obtidos em 28 dias de idade foram representados utilizando-se do método de Desvio Relativo Máximo, expresso em MPa. Entende-se por Desvio Relativo Máximo (**DRM**) a diferença entre o valor (resistência ou módulo) extremo ( **$\sigma_{ext}$** ) do corpo-de-prova que mais se afasta da média, para mais ou para menos, e pelo valor (resistência ou módulo) médio ( **$\sigma_m$** ), dividindo-se este resultado pelo valor (resistência ou módulo) médio ( **$\sigma_m$** ) e multiplicando este quociente por 100, para expressar em porcentagem, conforme Equação 7. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo. O desvio relativo máximo não deve ser superior a 6,0 %. Caso o desvio relativo máximo seja superior a 6,0 %, repete-se o método, desprezando a resistência individual que mais se afastou, calculando a nova média e novo desvio relativo máximo.

$$DRM = \frac{\sigma_{ext} - \sigma_m}{\sigma_m} \times 100 \leq 6,0 \% \quad \text{Eq. [7]}$$

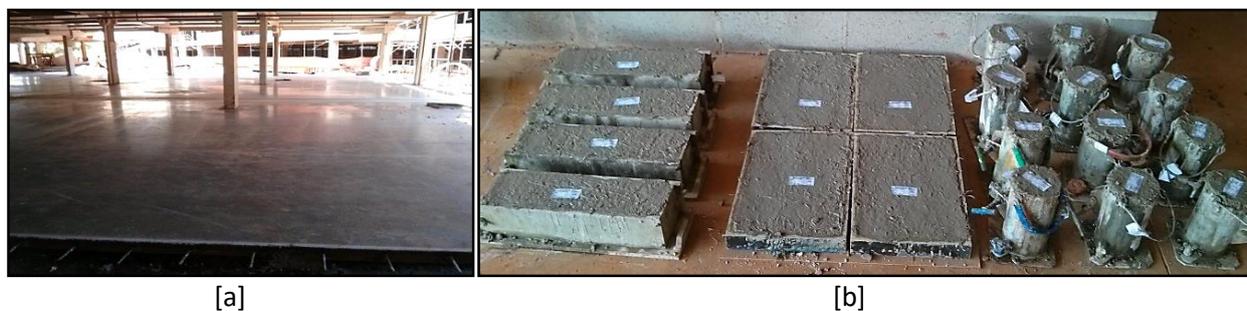


FIGURA 10: [a] Aplicação do concreto reforçado com fibras; [b] Concreto moldado do Estudo de Caso.

FONTE: Marção. (2014).



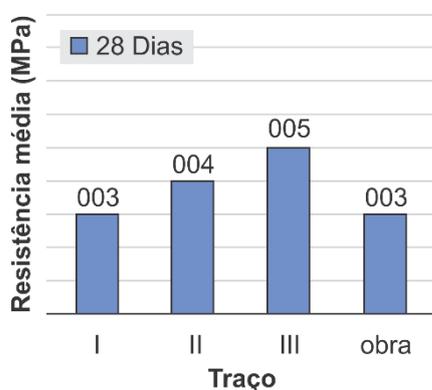
**FIGURA 11:** [a] Concretagem piso do Estudo de Caso. [b] Acabamento do piso após 01 dia da concretagem do piso do Estudo de Caso.

**FONTE:** Caroline Marção. (2014).

#### 4.2.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa)

No gráfico da Figura 12, estão apresentadas as resistências médias à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade dos traços propostos em laboratório e o traço utilizado no Estudo de Caso.

Pode-se observar um aumento da resistência à tração por compressão Diametral a partir da adição das macrofibras estruturais sintéticas e das microfibras de vidro, e conseqüente, aumento da porcentagem das fibras. No Traço II, houve um aumento de 35,25% em relação ao Traço I (referência), e no Traço III, o aumento foi de aproximadamente 55,40% em relação ao Traço I (referência). Assim, como o traço referência, o traço utilizado no Estudo de Caso, obteve um resultado muito inferior aos traços elaborados em laboratório com adição de fibras.

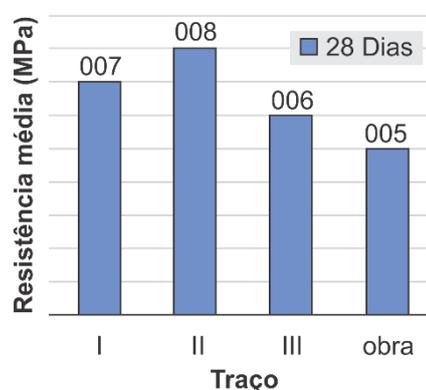


**FIGURA 12:** Resistência à Tração por Compressão Diametral aos 28 dias.  
**FONTE:** Marção (2014).

#### 4.2.2 Resistência à Tração na Flexão (kgf)

Neste trabalho, os corpos-de-prova prismáticos tiveram a ruptura no seu terço médio da distância entre os elementos de apoio. Por isso, a expressão utilizada para encontrar a resistência à tração na flexão foi conforme a Equação 3.

Na Figura 13, observa-se um aumento de aproximadamente 17,75% da resistência à tração na flexão do Traço II em relação ao Traço I (referência). Porém, houve uma redução de 14,25% do Traço III em relação ao Traço I (referência) quando se aumentou a porcentagem de macrofibras estruturais sintéticas. Os traços elaborados em laboratório obtiveram um resultado muito maior do que em relação ao traço utilizado no Estudo de Caso. A diferença entre os traços elaborados em laboratório e o traço do Estudo de Caso, foi de 77,0% para o Traço II e de 29,0% para o Traço III.



**FIGURA 13:** Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias.  
**FONTE:** Marção (2014).

#### 4.2.3 Módulo de Elasticidade (GPa)

O gráfico da figura 14 mostra um aumento do módulo de elasticidade entre o Traço I (referência) e o Traço II de 1,30%, e uma redução entre o Traço I (referência) e o Traço III de aproximadamente 17,75%. Entretanto, o resultado do traço do Estudo de Caso foi inferior ao Traço I em 11,0%, inferior ao Traço II em 9,92%, e em relação ao Traço III foi superior em 10,93%.

#### 4.2.4 Resistência à Compressão Axial (MPa)

Este ensaio foi realizado imediatamente ao ensaio de Módulo de Elasticidade, por isso, foram utilizados os mesmos corpos-de-prova do ensaio de módulo de elasticidade. Analisando o gráfico da Figura 15, é possível observar uma redução da resistência à compressão axial quando houve a adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro. Entretanto, os valores obtidos foram superiores a 32 MPa, valor recomendado para o tipo de cimento utilizado para os traços elaborados em laboratório. Porém, para o concreto utilizado no Estudo de Caso, o valor obtido não era esperado, o qual deveria ser igual ou maior que 30 MPa.

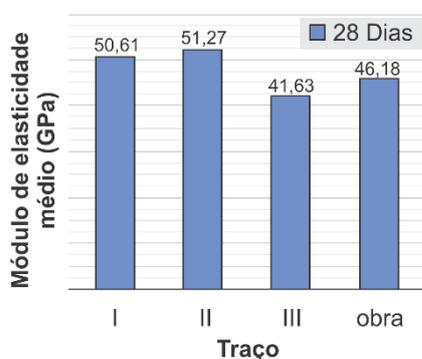


FIGURA 13: Módulo de Elasticidade aos 28 dias.  
FONTE: Marção (2014).

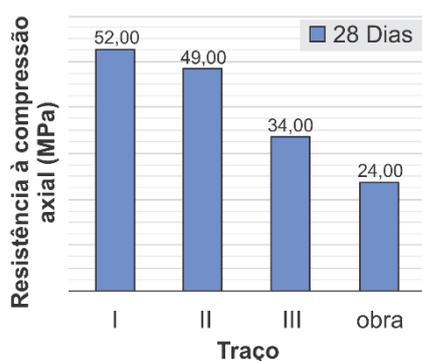


FIGURA 14: Resistência à Compressão Axial aos 28 dias.  
FONTE: Marção (2014)

#### 4.1.1 Resistência ao Impacto (J)

Através da análise do gráfico da figura 16, observa-se um aumento significativo da resistência ao impacto em relação ao traço referência e os traços com adição de fibras. Porém, uma significativa redução entre o concreto utilizado na obra do Estudo de Caso e os traços elaborados em laboratório. E entre os traços com adição de fibras elaborados no laboratório, também, houve uma redução com o aumento da porcentagem das macrofibras estruturais sintéticas. O aumento da resistência ao impacto em relação ao traço I e o traço II foi de aproximadamente 86,67%; e em relação ao traço III foi de 60,44%. A redução entre o traço II e o traço da obra do Estudo de Caso foi de 65,71% e entre o traço III e o traço da obra do Estudo de Caso foi de 60,11%. A redução entre os traços II e III foi de 14,05%.

Para encontrar os valores de resistência ao impacto, utilizou-se a fórmula representada na Equação 6. A tabela 2 apresenta as alturas de queda adquiridas durante a realização do ensaio e os valores médios da resistência ao impacto para cada traço.

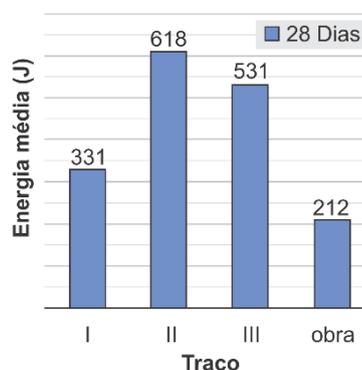


FIGURA 15: Resistência ao Impacto aos 28 dias.  
FONTE: Marção (2014).

**TABELA 2:** Resultados do ensaio de Resistência ao Impacto para cada traço.

Traço	Corpo-de-prova	Altura de Queda (cm)	Resistência ao Impacto (J)	Média (J)
I	I	300	353,16	<b>331,09</b>
	II	280	309,02	
III	I	400	618,03	<b>618,03</b>
	II	400	618,03	
III	I	360	503,25	<b>531,21</b>
	II	380	559,17	
Obra	I	240	229,55	<b>211,90</b>
	III	260	194,24	

FONTE: Marção (2014).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral é determinante para limitar a ruptura do concreto utilizado, principalmente, em estrutura e em pisos. Com os resultados dos ensaios realizados, é possível verificar que os dois novos traços elaborados em laboratório apresentaram melhores resultados do que o traço referência e o traço utilizado do Estudo de Caso. A utilização de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro proporcionaram ao concreto um bom desempenho mecânico, devido ao ganho da resistência, além disso, pode-se dizer que os dois novos traços propostos seriam melhores opções que o concreto utilizado no Estudo de Caso, em relação à força necessária para gerar a ruptura de tração, isso se deve ao fato dos traços elaborados em laboratório serem compostos com maior quantidade de cimento e menor relação água cimento.

Assim, como a Resistência à Tração por Compressão Diametral, a Resistência à Tração na Flexão, também, é uma característica limitante da ruptura da estrutura. Analisando os resultados dos ensaios, observa-se um aumento de resistência entre os Traços I e II, o qual era esperado, devido à adição de fibras. Entretanto, observa-se, uma redução em relação aos Traços I, III e o Estudo de Caso, e isso deve-se, possivelmente, ao não adensamento adequado do concreto e à mistura não uniforme das macrofibras estruturais sintéticas, estas podem ter formado ninhos, os quais

reduziram a resistência à tração na flexão, devido esta formação ser mais fácil de ocorrer em corpos-de-prova prismáticos.

No ensaio de Módulo de Elasticidade, os valores obtidos para os traços I e II não apresentaram grandes diferenças, porém, houve uma significativa redução dos valores entre os Traços I, III e o Estudo de Caso. Essa redução, também, pode ser observada no ensaio de resistência à Compressão Axial. Isso pode significar um processo de adensamento e/ou processo de cura não eficazes.

Observando os resultados do ensaio de Resistência à Compressão Axial, houve uma redução quando foram adicionadas fibras, sendo esta redução esperada. Para os traços elaborados em laboratório, mesmo com a redução, os valores da Resistência à Compressão foram superiores ao valor esperado (32 MPa). Porém, para o Estudo de Caso, o valor obtido foi abaixo do esperado (30 MPa), isso se deve, possivelmente, a maior utilização de água na produção do concreto, que aumenta a trabalhabilidade e reduz a resistência do concreto.

A partir da análise dos resultados do ensaio de Resistência ao Impacto, é possível concluir que os traços de concreto com adição de fibras elaborados em laboratório, apresentaram uma grande capacidade de absorção de energia, pois as fibras ajudam no controle da fissuração. Sendo assim, estes traços poderiam ser utilizados em obras, pois apresentaram resultados superiores ao Estudo de Caso. Entretanto, o traço III com maior porcentagem de fibras sofreu uma redução da

resistência ao impacto, provavelmente, devido à formação de ninhos através da não distribuição uniforme das macrofibras estruturais sintéticas.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, observa-se que os novos traços propostos com adição das macrofibras estruturais sintéticas e as microfibras de vidro no concreto, apresentaram melhores resultados em relação ao concreto do Estudo de Caso, permitindo um melhor desempenho mecânico, um bom acabamento superficial, um melhor controle de fissuração e uma melhor capacidade de absorção de energia. Portanto, os novos traços propostos apresentam como melhores opções para a utilização em pisos de concreto.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCAMP) pela possibilidade de utilização dos equipamentos e materiais que possibilitou a realização do experimento descrito.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GRACE, **Aditivos para Concreto**. Disponível em <[http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/grace/adva\\_cast525.pdf](http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/grace/adva_cast525.pdf)> Acesso em: 22 ago. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007. 9p.
- 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. 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2008. 16p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9474: Embalagem e acondicionamento – Determinação do desempenho em queda**. Rio de Janeiro, 2011. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578: Cimento Portland composto – Especificação**. Rio de Janeiro, 1997. 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto – determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010. 5p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1116/C 1116M-08a, Standard specification for Fiber-reinforced Concrete and Shotcrete**. Philadelphia, 2012. 8p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1609, Standard test method for flexural performance of fiber-reinforce concrete (using beam with third-point loading)**. Philadelphia, 2010a. 8 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1666 / C1666M-08, Standard Specification for Alkali Resistant (AR) Glass Fiber for GFRC and Fiber-Reinforced Concrete and Cement**. Philadelphia, 2008. 4p.
- FORTA CORPORATION. Disponível em <<http://www.forta-ferro.com>> Acesso em: 03 nov. 2014.
- FORTA FERRO. **Manufacturer**. Disponível em <<http://www.forta-ferro.com/pdfs/products/forta-ferro/data-sheets/ferro-fact-data-sheet.pdf>> Acesso em: 03 nov. 2014.
- GARCEZ, M. R. **Alternativas para melhoria no desempenho de estruturas de concreto armado reforçadas pela colagem de polímeros reforçados com fibras**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2007. 241f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- GRUPO CONSTRUQUÍMICA. Disponível em: <<http://construquimica.com.br/>> Acesso em: 18 abr. 2014.
- Intercement, **Cauê Uso Geral CP II E 32**. Disponível em: <<http://www.intercement.com/files/pdf/portugues-br/caue-usogeral-cplle32.pdf>> Acesso em: 10 set. 2014.
- JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **JSCE-SF-4, Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete**. Concrete library of JSCE. Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete, n.3, p.58-61, 1984.
- KOBAYASHI, A. G. **Avaliação da viabilidade técnica de concretos contendo borracha, aplicados à sinalização rodoviária**. In: Encontro de Iniciação Científica da PUC-Campinas, XV, 2010, Campinas, Anais. Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2010, 6f.
- MARÇÃO, C. **Análise da aplicação de concreto com adição de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro anti-crack AR em pisos**. Campinas, São Paulo, 2014. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). Faculdade de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2014.

**NIPPON ELECTRIC GLASS CO., LTD.** Disponível em:  
<<http://www.neg.co.jp/JP/>> Acesso em: 17 ago. 2015.

**OWENS CORNING.** Disponível em  
<[http://www.ocvreinforcements.com/pdf/library/CemFLL\\_AntiCrak\\_W70\\_ww\\_12\\_2010\\_Rev6\\_EN.pdf](http://www.ocvreinforcements.com/pdf/library/CemFLL_AntiCrak_W70_ww_12_2010_Rev6_EN.pdf)> Acesso em: 03 nov. 2014.

PIMENTEL, L. L., LINTZ, R. C. C. **Ensaio de Laboratório - Materiais de Construção Civil A.** Apostila: Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2013.

TAMAKI, L. **Reforço de fibras.** Revista Técnica, São Paulo, ed.170, p.3, 2011.