

CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE POLIPROPILENO

Thais da Silva Bras (IC) e Terezinha Jocelen Masson (Orientadora)

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto. O concreto pode ser considerado um produto compósito, de maior utilização na construção civil, a ser preparado na obra ou industrialmente, por meio de uma mistura íntima dos materiais tipo: aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Para elevar a qualidade do produto, pode-se adicionar ao concreto diversos tipos de fibras, como as fibras de aço e as poliméricas, como a fibra de polipropileno. A fibra de polipropileno pode proporcionar ao concreto melhor desempenho em serviço, pois proporciona uma boa maleabilidade, sendo fáceis de manipular e de dispersar. Além disso, essas fibras possuem excelente resistência química e mecânica, proporciona boa relação custo/benefício, evitando ou reduzindo a possibilidade do surgimento de fissuras no concreto e não causa danos à saúde. Para o presente estudo, foram realizados ensaios de ultrassom, de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e avaliada a tenacidade de corpos de prova confeccionados com concreto convencional (sem adição de fibras), concreto com adição de (macrofibras) fibras de polipropileno e concreto. A incorporação da fibra de polipropileno no concreto convencional aumentou proporcionalmente a sua resistência quando comparado à resistência do concreto convencional.

Palavras-chave: Concreto. Concreto-Polímero. Fibra de Polipropileno.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the influence of the addition of polymeric fibers on the mechanical properties of concrete. Concrete can be considered a composite product, of greater use in civil construction, to be prepared on site or industrially, by means of an intimate mixture of materials such as: binder, small aggregate, large aggregate and water. To increase the quality of the product, several types of fibers can be added to the concrete, such as steel fibers and polymeric fibers such as polypropylene. The polypropylene fiber can provide the concrete with better performance in service, because it provides good malleability, being easy to handle and disperse. Besides, these fibers have excellent chemical and mechanical resistance, provide good cost/benefit ratio, avoiding or reducing the possibility of cracks appearing in the concrete and do not cause health damages. For the present study, ultrasound, compression strength, bending strength and tenacity of proof bodies made of conventional concrete (without the addition of fibers), concrete with the addition of (macrofibers) polypropylene fibers and

concrete were evaluated. The incorporation of polypropylene fiber in conventional concrete has proportionally increased its strength when compared to conventional concrete.

Keywords: Concrete. Polymer Concrete. Polypropylene Fiber.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos concretos especiais objetiva reduzir ou sanar as deficiências dos concretos convencionais, ou incorporar propriedades não inerentes a esse tipo de material, facilitado pelo desenvolvimento de novos insumos poliméricos, materiais estes que conduziram a um grande avanço tecnológico na formulação de reforços para concretos.

A incorporação das fibras poliméricas ao concreto, tem como finalidade evitar ou reduzir a possibilidade do surgimento de fissuras no concreto, e apesar da sua crescente utilização, ainda não se conta com normalização técnica na área, o que realça a necessidade de desenvolvimento tecnológico e melhor compreensão do material. No Brasil já existe uma norma para as fibras de aço, a ABNT NBR 15530 (2007), mas não para as demais fibras, que são tão comuns como a de aço, como a de vidro e polipropileno. A criação de normas específicas pela ABNT normalizaria o comportamento/desempenho da adição de outros tipos de fibras na construção civil. As propriedades dos concretos com fibras dependem das características da matriz, das próprias fibras e da interação fibra-matriz. Dessa forma, esses aspectos devem ser mais bem discutidos.

Desde a antiguidade, observa-se a utilização de fibras como matéria prima para reforços na construção civil, mas seu estudo científico detalhando o seu comportamento só aconteceu na ocorreu na década de 1950, com a invenção das fibras de aço e vidro. O concreto reforçado com fibras (CRF) vem crescendo na construção civil incentivado pelas vantagens que o seu desempenho proporciona além do excelente custo/benefício. Existe vários tipos de fibras disponíveis comercialmente, cada uma com uma função específica e utilizada em diferentes tipos de concretagem. Segundo Figueiredo (2011, p.1) o concreto apresenta várias limitações, como a baixa relação resistência/peso e o fato de ter sua qualidade aferida apenas depois que a peça estrutural foi produzida.

Este trabalho vai analisar a incorporação de fibras de polipropileno no concreto. Existem dois tipos de fibras de polipropileno - a macrofibra e a microfibra - sendo que cada uma possui características quando misturadas com concreto, mas ambas possuem resistência química frente aos álcalis. A macrofibra ajuda na capacidade estrutural, substitui telas soldadas ou fibras de aço e possui maior produtividade na construção. E a microfibra ajuda no controle de segregação e exsudação, com facilidade de mistura no concreto, e é utilizada em concretos de tuneis, pisos industriais, pré-moldados e entre outros.

Pode-se definir o concreto reforçado com fibras poliméricas como um compósito constituído de duas fases: concreto e fibras, com características determinadas pelas propriedades do conjunto estrutural formado pelos seus componentes (CHODOUNSKY, VIECILI, 2007). A Introdução deve contemplar a contextualização e delimitação do tema de pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCRETO

O concreto é o material estrutural mais largamente empregado na construção civil, e que, comparativamente, mesmo não sendo tão tenaz quanto o aço, apresenta melhores condições de resistência à água, facilidade e variedade na execução de elementos estruturais, em diferentes formas e tamanhos, e mais econômico quanto à preparação, aplicação e manutenção. A sua utilização remonta a época dos romanos, já com qualidades surpreendentes, quando era utilizado um material semelhante, tendo, porém, como aglomerante, uma mistura de cal e cinza vulcânica, isto é, polozana natural (METHA, 1994, MECA, 2007). De uma forma geral, o concreto pode ser considerado um produto compósito, de maior utilização na construção civil, a ser preparado na obra ou industrialmente, por meio de uma mistura íntima dos materiais tipo: aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivos, ou seja, é uma mistura de cimento, areia, pedra britada ou cascalho e água.

A água e a pasta de cimento preenchem os espaços entre os grãos de areia e estes preenchem os espaços entre as pedras britadas. Depois de alguns dias, a pasta de cimento começa a endurecer, ou seja, inicia-se a pega do cimento. Ao final de quatro semanas, o concreto atinge a resistência máxima nominal, que pode ser equiparada à das pedras mais resistentes (SALVADORI, 2006). Os componentes desta mistura podem ser descritos como agregado, cimento, aditivos e água. A proporção com que são adicionados na mistura denomina-se traço, e é um fator fundamental para assegurar as características necessárias ao seu desempenho, tanto no estado fresco como no endurecido (METHA, 1994, p.9).

O traço do concreto depende (BOTELHO, 2006):

- a) das características dos ingredientes;
- b) das propriedades do concreto fresco, ou seja, do tipo de obra, da forma e das dimensões da peça a ser concretada;
- c) da natureza do trabalho, do método de lançamento do concreto endurecido que se pretende realizar;
- d) das propriedades do concreto endurecido, que basicamente são definidas pela: resistência; durabilidade; permeabilidade; textura; retração e estabilidade dimensional.

plástico, elevadas propriedades mecânicas (resistência e rigidez). Essas propriedades podem ser controladas através da distribuição e geometria das fibras. As fibras apresentam-se com pequenos diâmetros, arranjadas de diversas maneiras, gerando uma interface química que promove a aderência entre a mesma e o plástico que está reforçando. Entre as fibras de reforços citadas na literatura, encontram-se as fibras de vidro E, fibras de vidro S, fibras de vidro C, fibras de carbono (alto módulo e alta resistência), fibras de grafite, fibras de amianto, fibras de aramida, fibras vegetais e fibras de polietileno e fibras de polipropileno.

2.2.3 Fibra de Polipropileno

A Fibra de polipropileno é uma fibra sintética, quimicamente inerte, estável resistente ao meio alcalino. Não absorve água e não se oxida, melhora a estabilidade dimensional evitando as fissuras de retração, além de aumentar as resistências mecânicas do revestimento. Fornecido em embalagem hidrossolúvel (AMARAL, SILVA, MORAVIA, 2017).

As principais vantagens dessa fibra são a boa estabilidade térmica, boa resistência à fratura por flexão ou fadiga, alta resistência química e a solventes e o baixo preço do material. Em contrapartida suas desvantagens são sua baixa resistência ao fogo, sensibilidade à luz do sol e oxigênio, baixo módulo de elasticidade e fraca aderência com a matriz cimentícia (LUCENA, 2017). A fibra de polipropileno, conforme a Figura 2, possui baixa densidade quando comparada com os outros tipos de fibras. São filamentos muito finos e existem dois tipos de fibras de polipropileno: as microfibras e as macrofibras.

Figura 2: Fibras de Polipropileno



Fonte: Densa

As principais características das fibras de polipropileno (F_{PP}) são:

- Facilidade de dispersão e adição no concreto e na argamassa;
- Não altera o acabamento superficial e não deixa as fibras expostas;
- Evita a exsudação e a segregação do concreto;
- Inibe o aparecimento de fissuras por retração plástica;
- Melhoria na resistência ao impacto e à tração.

As principais aplicações da fibra de polipropileno são em pisos industriais, pavimentos de concreto e pisos decorativos, argamassa de revestimento, pré-moldados, reservatórios, canais e tanques, concreto projetado e concreto celular.

2.2.3.1 Macrofibra de Polipropileno (F_{PP})

As macrofibras de base polimérica surgiram no mercado internacional nos anos 1990. As primeiras aplicações ocorreram com o concreto projetado, especialmente na Austrália e no Canadá (MORGAN, RICH, 1996, apud FIGUEIREDO, 2011) e lentamente tal tecnologia começou a ser utilizada e chegou ao Brasil em anos mais recentes e atualmente, no mercado nacional, já existem fabricantes de diversos tipos de fibras poliméricas.

Ao contrário do que se espera das fibras de PP convencionais, as macrofibras de polipropileno são produzidas para se obter um reforço estrutural, nos mesmos moldes que uma fibra de aço.

É uma macrofibra estrutural sintética de polipropileno que proporciona ótimo desempenho em ambientes altamente corrosivos. O produto é indicado para utilização em pré-moldados, fundação de estruturas, entre outras aplicações. Em relação aos diferentes tipos de reforço para concreto, a macrofibra estrutural de polipropileno é uma das melhores alternativas para reforçar o concreto, porque consegue combinar capacidade estrutural com resistência química frente aos álcalis do concreto. É um material com potencialidade para substituir as fibras e aço e as telas soldadas com excelente custo/benefício, pois proporcionam um eficiente controle das fissuras (secundárias e de temperatura), não sendo corrosivas e nem magnéticas, sendo totalmente resistentes aos álcalis do concreto, além das melhorias nas propriedades do concreto, aumentando a ductilidade, as resistências ao impacto e a fadiga, entre outras. A sua utilização correta proporciona benefícios relacionados à estrutura do concreto, dentre os quais se destacam:

- O comportamento de ruptura do concreto deixa ser tipo frágil para tornar-se um compósito de ruptura do tipo dúctil;
- O concreto torna-se mais resistente ao impacto, fazendo com que não surjam fissuras ou outros tipos de danos provenientes de cargas dinâmicas ou cíclicas;
- Substitui telas soldadas ou fibras de aço, apresentando a vantagem - o menor impacto que as F_{PP} causam na trabalhabilidade do concreto, pois elas mais flexíveis que as fibras de aço. Com isto, as macrofibras dificultam menos a mobilidade relativa dos agregados, facilitando inclusive o bombeamento do material, para mesmos teores em volume. Isto é particularmente interessante para o caso do concreto projetado, onde as fibras poliméricas irão representar uma chance menor de entupimentos no processo.

O polipropileno, ao contrário das fibras de aço, não enferruja. Além disso o polipropileno é resistente aos álcalis; a macrofibra estrutural de polipropileno gera maior produtividade, acelerando o tempo de serviço; possui excelente relação custo/benefício, quando comparado a reforços tradicionais de aço. De acordo com Figueiredo (2011), “A utilização dos concretos reforçados com macrofibras poliméricas pode vir a ser uma excelente alternativa técnica para o mercado brasileiro, mas isto está condicionado ao estabelecimento de uma prática de controle de qualidade nas obras correntes”.

A Figura 3 apresenta as macrofibras poliméricas no mercado nacional, fornecidas soltas ou em sacos e a Figura 4 apresenta o concreto reforçado com macrofibras.

Figura 3 – Macrofibras Poliméricas no Mercado Brasileiro (Neomatrix)



Fonte: Neomatrix

Figura 4 – Concreto Reforçado com Macrofibras



Fonte: Neomatrix

2.3 CONCRETO COM POLÍMERO

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um concreto convencional no qual se adicionam fibras discretas e usualmente descontínuas como reforço primário ou secundário (MENDONÇA FILHO, SILVA JR., 2011). Segundo Shah (1984), apud Metha e Monteiro (2008). De acordo com Bonifácio e Godinho (2014):

“O compósito suportará cargas cada vez maiores após a primeira fissuração da matriz, caso a resistência das fibras de arrancamento na primeira fissura for maior que a carga na primeira fissuração; [...] em uma seção fissurada, a matriz não resiste a nenhuma tensão e as fibras suportam toda a carga do compósito. Com uma carga cada vez maior sobre o compósito, as fibras tendem a transferir a tensão adicional para a matriz através de tensões de aderência”.

Se as tensões de aderência não excederem a resistência de aderência, então pode haver uma fissuração adicional na matriz, e esse processo de fissuração múltipla, continuará até que haja o rompimento das fibras ou até que o escorregamento local acumulado leve ao arrancamento da fibra (RODRIGUES, 2002). O fator de forma, relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra, representa um índice de eficiência dessa fibra em função de sua geometria. Caso se mantenha o comprimento constante, o aumento no diâmetro representará uma diminuição no espaçamento das fibras, o que pode significar mais fibras atuando em uma

fissura (SALVADOR, 2013). Na situação contrária, aumento do comprimento com um diâmetro constante o fator de forma se elevará, porém o perigo de formação de aglomerados de fibras ou ouriços será maior (FIGUEIREDO, TANESI, NINCE, 2002). Um grande problema na adição de fibras, é que estas quase sempre causam decréscimo na trabalhabilidade da mistura, assim, o concreto ao redor da fibra não é tão homogêneo e compacto quanto em outras áreas, o que causa uma aderência menor a fibra (MARKOVIĆ, 2006).

A incorporação de componentes poliméricos na mistura de concreto tem como finalidade a melhoria das características e propriedades do concreto convencional e entre elas citam-se: durabilidade, resistência à flexão, resistência à compressão e à tração, entre outras (TEZUKA, 1988). Segundo Tezuka (1988), um processo mais efetivo é a introdução de polímeros em argamassas e em concreto de cimento Portland, que pode ser realizado de duas formas:

a) Impregnação de um concreto normal de cimento Portland endurecido por um monômero, seguido de polimerização, cujo resultado é o denominado concreto impregnado de polímero ou compósito concreto-polímero;

b) Introdução direta de um polímero ou monômero no concreto fresco durante a mistura, seguido de cura e/ou polimerização após a moldagem e o adensamento. É o concreto cimento e polímero, também denominado de concreto modificado por polímero.

Dessa composição, os concretos contendo polímeros podem ser classificados em três categorias (ROSSIGNOLO, AGNESINI, 2003):

1ª) Concreto de polímero (CP): que é formado pela polimerização de uma mistura de monômero e agregado, não contendo outro material aglomerante;

2ª) Concreto modificado com látex (CML), também conhecido como concreto polímero de cimento Portland (CPCP): concreto Portland convencional, normalmente obtido pela substituição de parte da água de amassamento por látex (emulsão de polímero);

3ª) Concreto impregnado com polímero (CIP): produzido pela impregnação ou infiltração em um concreto endurecido de cimento Portland por um monômero e posterior polimerização do monômero *in loco*. Um monômero pode ser definido como uma molécula orgânica, de baixa massa molar, capaz de combinar-se quimicamente com moléculas de mesma ou mais espécies para formar uma macromolécula, chamado de polímero ou resina sintética (TEZUKA, 1988). O concreto possui uma baixa resistência à tração e o uso de fibras de vidro ou de polipropileno em sua composição poderia melhorar tal condição e diminuir o fissuramento das estruturas. O uso de um concreto com fibras poderia reduzir a quantidade de aço usada nos concretos armados, uma vez que a função do aço é suprimir a falta de resistência à tração.

Quanto maior for a quantidade de fibras no concreto maior será a possibilidade da fibra interceptar uma fissura.

A grande aplicação das fibras estruturais está nos pisos industriais, pavimentos rígidos e também em estruturas de concreto de túneis (CHODOUNSKY; VIECILI, 2007).

3. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma pesquisa teórica em livros, sites, *papers*. Com essa base teórica, foram desenvolvidos os corpos de prova, desenvolvidos no Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia da UPM, que foram caracterizados para a avaliação Das propriedades:

a) Módulo e Elasticidade e Resistência à Compressão

Para avaliar o módulo de elasticidade e a resistência à compressão foi utilizado o método proposto pela norma NBR 8522 (2008). Foram confeccionados corpos de provas de acordo com a norma técnica para cada concreto avaliado: concreto convencional (sem fibras), concreto com fibras de PP. Os ensaios ocorrerão no Laboratório de Materiais de Construção da EE da UPM.

b) Resistência à Tração

O ensaio de resistência à tração foi realizado conforme a norma técnica NBR 12142 (2010). Após a ruptura, foram medidas todas as dimensões dos corpos de prova necessárias para o cálculo da resistência à tração. A saída de ensaio fornece a carga máxima para cada corpo de prova, e pela Equação (E.1) será calculada a resistência à tração do material.

$$\sigma_{ct} = \frac{p \times L}{b \times d^2}$$

Sendo:

σ_{ct} : resistência à tração na flexão (MPa);

P: carga máxima aplicada (N);

L: distância entre os cutelos de suporte (mm);

b: largura média do corpo de prova na seção de ruptura (mm);

d: altura média do corpo de prova, na seção de ruptura (mm).

c) Tenacidade

Para obter o valor da tenacidade dos concretos estudados neste trabalho, foi calculada a área abaixo da curva carga (kN) x deformação (mm) obtida no ensaio de resistência à tração na flexão;

d) Ensaio da Determinação da Consistência do Concreto - *Slump Test* :

O ensaio é descrito pela norma ABNT NM 67:1998 - Determinação da Consistência do Concreto pelo Abatimento do tronco de cone ou *slump test*. Esta Norma especifica o método para determinar a consistência do concreto fresco por meio da medida de seu assentamento, em laboratório e na obra. A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. O termo **consistência** está relacionado a características inerentes ao próprio concreto e está mais relacionado com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Conforme se modifica o grau de umidade que determina a consistência, as suas características de plasticidade são alteradas, permitindo maior ou menor deformação do concreto perante as solicitações. No ensaio de abatimento do concreto ou *slump test*, a massa de concreto é colocada no interior de uma forma tronco-cônica, em três camadas igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes. Retira-se o molde lentamente, levantando-o verticalmente e mede-se a diferença entre a altura do molde e a altura da massa de concreto depois de assentada, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Slump Test (sasolucoes)



A trabalhabilidade depende, além da consistência do concreto, de características da obra e dos métodos adotados para o transporte, lançamento e adensamento do concreto. A relação entre água e cimento é essencial para a resistência do concreto e não pode ser mudada.

O procedimento é o seguinte:

- coletar a amostra de concreto;
- colocar a fôrma tronco-cônica sobre uma placa metálica bem nivelada e apoiar os pés sobre as abas inferiores do cone;
- preencher o cone com a primeira camada de concreto e aplicar 25 golpes com a haste de socamento, atingindo a parte inferior do cone;
- preencher com mais duas camadas, cada uma golpeada 25 vezes e sem penetrar a camada inferior;
- após a compactação da última camada, retirar o excesso de concreto, alisar a superfície com uma régua metálica e em seguida retirar o cone;

– colocar a haste sobre o cone invertido e medir o abatimento (a distância entre o topo do molde e o ponto médio da altura do tronco de concreto moldado).

e) Ensaio de Ultrassom

Os ensaios de ultrassom, ensaios não destrutivos, devem estar de acordo com a norma técnica ABNT NBR 16616 (2017) e objetiva avaliar a qualidade das estruturas de concreto e determinar as suas características (juntas de concretagem, a incorporação de resinas, determinar a resistência à compressão do concreto, determinação do módulo de elasticidade estático da estrutura), localização de fissuras, presença de vazios e de regiões de heterogeneidades no concreto como espaços vazios no interior da estrutura onde o concreto fresco não alcançou, localização de armaduras de aço e seu tamanho, atividades de corrosão das armaduras, entre outras (SCHIAVON, 2015). O ensaio consiste em introduzir pulsos de ondas ultrassônicas no corpo de prova e obter o tempo de propagação e a velocidade destes pulsos ao percorrerem uma distância conhecida. De acordo com Medeiros (2007), a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas percorrendo um material sólido, homogêneo, isotrópico em meio infinito depende da densidade e das propriedades elásticas desse material. Segundo Schiavon (2015) é possível encontrar os danos no interior da estrutura de concreto e avaliar a sua resistência à compressão.

O aparelho de ultrassom consiste em um circuito gerador de pulsos, um circuito amplificador, um circuito de medição do tempo e uma unidade que exibe o tempo medido. É utilizado também um par de transdutores (emissor e receptor) ou apenas um transdutor (emissor e receptor ao mesmo tempo). No ensaio são introduzidos pulsos de ondas, obtendo-se o tempo de propagação e a velocidade destes pulsos ao percorrer uma distância pré-determinada (NAIK, MALHOTRA, 2004).

De acordo com Whitehurst (1966), Rincon e outros (1998), a relação entre os valores da velocidade da propagação de ondas ultrassônicas e a qualidade do concreto, está expressa na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação entre a Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas e a Qualificação do concreto

Velocidade de onda ultrassônica (m/s)	Qualidade do Concreto
$v > 4500$	Excelente
$3500 < v < 4500$	Ótimo
$3000 < v < 3500$	Bom
$2000 < v < 3000$	Regular
$v < 2000$	Ruim

A Figura 6 apresenta esquematicamente o ensaio de ultrassom, para determinar a velocidade ultrassônica no concreto convencional.

Figura 6 - Propagação de onda – Concreto Convencional com tempo de cura de 7 dias



Fonte: Acervo da autora

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova desenvolvidos no laboratório de Materiais de Construção Civil, da Escola de Engenharia da UPM, foram moldados conforme a norma NBR 5738, em formato prismático e cilíndrico com altura igual ao dobro do diâmetro.

Segundo Carraro (2018), as obras de responsabilidade com resistência provável de 254 kg/cm^2 , deve ter um traço em volume de 1:2:3, correspondente ao traço em massa de 1:2,17:2,34. O traço do concreto será 1,00:2,00:3,00:0,50. Os materiais utilizados no presente trabalho são constantes da Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de Materiais Utilizadas nos Corpos de Prova

Material	Unidade	Traço	Quantidade
Água	L	4,32	4,32
Areia Natural	kg	1,05	7,56
Areia Natural Fina	kg	1	7,56
Brita Natural	kg	2,9	20,88
Cimento	kg	1	7,2
Consumo de Cimento	kg/m^3		356,67
Índice de Consistência (<i>slump</i>)	mm		60 ± 10
Massa específica	kg/m^3		2,384
Relação água/cimento	1/kg		0,6
Prismas	unidade		6
Corpos de Prova	unidade		4a 6

3.1.1 Macrofibras de Polipropileno

A Figura 7 apresenta as macrofibras de polipropileno Densa.

Figura 7 – Macrofibras de Polipropileno



Fonte: Densa

As características das macrofibras de polipropileno são constantes da Tabela 3.

Tabela 3: Características das Macrofibras de Polipropileno

Fornecedor	Densa – Plasnil Indústria e Comércio de Máquinas Eirelli EPP (Americana – SP)
Densidade	0,91 g/cm ³
Filamentos /kg	500.000 fios
Resistência à tração	475 MPa
Módulo de elasticidade	> 9,0 GPa (Norma Técnica ASTM C1557/14)
Comprimento	54 mm ou conforme especificações de projeto
Massa utilizada	24,282 g (600 g/m ³ para 40 l de concreto)
	48,565 g (1200 g/m ³ para 40 l de concreto)

3.2 MÉTODO PARA OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram moldados em formas cilíndricas e prismáticas, e, de acordo com a norma técnica NBR 5738 (2008) – Concreto: Procedimento para moldagem em formas cilíndricas e cura dos corpos de prova, a altura deve ser o dobro do diâmetro. Portanto, o diâmetro deve ser de 10,0 cm, 15,0 cm, 20,0 cm, 30,0 cm e 45,0 cm. As medidas diametrais têm tolerância de 1% e a altura 2%. Os planos das bordas circulares extremas do molde devem ser perpendiculares ao eixo longitudinal do molde.

Antes da moldagem dos corpos de prova, as formas receberam uma camada de desmoldante para facilitar a retiradas dos corpos de prova; os agregados devem passar pelo processo de pesagem, assim como o aglomerante do concreto e as macrofibras de polipropileno. Após a mistura, será realizado o *slump test* inserindo o concreto em três camadas no tronco de cone e a cada camada será dado 25 golpes.

3.2.1 Corpos de Prova de Concreto Convencional (CC)

Foram moldados 15 corpos de provas de concreto convencional sendo eles 9 cilíndricos e 6 prismáticos com o uso do traço 1,00:2,00:3,00:0,64, moldados em 20/02/2020.

A Figura 8 apresenta os corpos de prova de Concreto Convencional para o ensaio Slump Test.

Figura 8 – Corpos de Prova de Concreto Convencional para o Slump teste



Fonte: Acervo da Autora



Fonte: Acervo do Autora

3.2.2 Corpos de Prova de Concreto com Fibra de Polipropileno (CC/PP)

Em 27/02/2020, foram moldados 12 corpos de provas de concreto reforçado com fibra de polipropileno sendo eles 6 cilíndricos e 6 prismáticos, com o uso do traço 1,00:2,00:3,00:0,81 e 600 g/m³ de fibra de polipropileno. Foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial, resistência à compressão diametral e propagação de ondas, para os corpos de prova com 7 dias de cura. A Figura 9 apresenta corpo de prova de concreto reforçado com fibra de polipropileno, para o ensaio slump test.

Figura 9 – Corpo de Prova de Concreto Reforçado com Fibra de Polipropileno (CC/PP)



Fonte: Acervo da Autora

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

A resistência à compressão foi avaliada de acordo com a norma NBR 8522 (2008).

4.1.1. Resistência à Compressão Axial do Concreto

A Figura 10 apresenta o corpo de prova do concreto convencional (CC) no ensaio de resistência à tração por compressão axial, com tempo de cura de 7 dias.

Figura 10 - Resistência à tração por Compressão Axial no Concreto Convencional (7 dias)



Fonte: Acervo da Autora

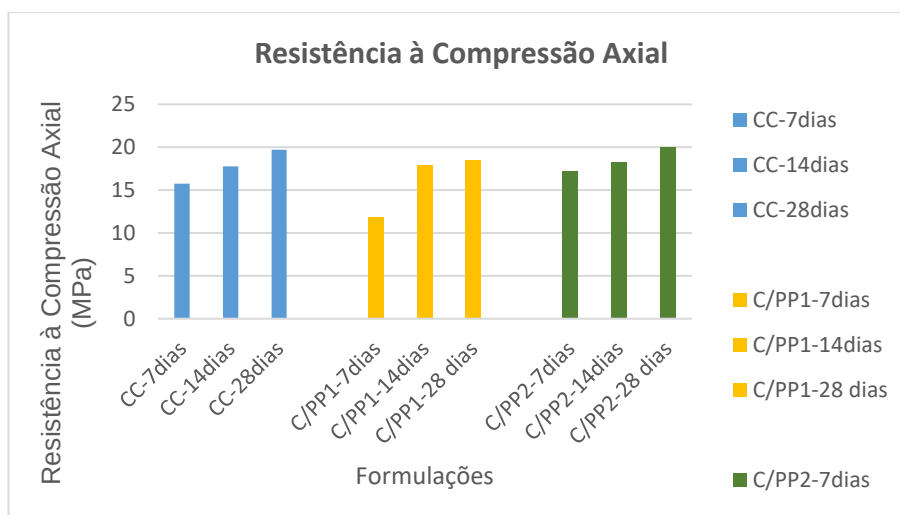
A Tabela 4 apresenta os valores médios dos ensaios de resistência à compressão axial do concreto convencional (CC), concreto com adição de 600 g/cm³ de fibra de polipropileno (PP₁) (CC/PP₁) e com 1200 g/cm³ de PP (CC/PP₂).

Tabela 4 – Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão Axial do Concreto Convencional, Concreto com Adição de 600g/cm³ de Fibra de PP e com 1200 g/cm³ de Fibra de PP

Valor Médio da Resistência Compressão Axial do Concreto Convencional (MPa)			Valor Médio da Resistência Compressão Axial do Concreto com 600g/cm ³ de Fibra de Polipropileno (MPa)			Valor Médio da Resistência Compressão Axial do Concreto com 1200g/cm ³ de Fibra de Polipropileno (MPa)		
CC 7 dias	CC 14 dias	CC 28 dias	CC/PP ₁ 7 dias	CC/PP ₁ 14 dias	CC/PP ₁ 28 dias	CC/PP ₂ 7 dias	CC/PP ₂ 14 dias	CC/PP ₂ 28 dias
15,77	17,75	19,71	11,89	17,94	18,49	17,15	18,28	19,98

A partir da Tabela 4, elaborou-se o Gráfico da Resistência à Tração por Compressão Axial do concreto convencional, concreto com adição de 600g/cm³ de fibra de PP e com 1200 g/cm³ de fibra de PP, conforme a Figura 11.

Figura 11 – Gráfico dos ensaios de Resistência à Compressão Axial do concreto convencional (CC), concreto com adição de 600g/cm³ de PP (CC/PP₁) e com 1200 g/cm³ de PP (CC/PP₂).



De acordo com a Tabela 4 e a Figura 11, observou-se que os valores da resistência à compressão axial:

- Para o concreto convencional (CC): para 14 dias foi aproximadamente 12% maior que para 7 dias e para 28 dias foi aproximadamente maior 25% maior que para 7 dias;
- Para o CC/PP₁: os valores para 14 dias foi aproximadamente 50% maior que para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 56% maior que para 7 dias;
- Para o CC/PP₂: os valores para 14 dias foi aproximadamente 6,6% maior que para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 4,8% maior que para 7 dias. A resistência para 28 dias, foi aproximadamente 1,6% superior ao obtido para 14 dias;
- Para 7 dias: os valores de CC/PP1 foram aproximadamente 24,6% inferior ao do CC e os valores do CC/PP2 foram 9% superiores aos valores do CC;
- Para 14 dias: os valores de CC/PP1 foram aproximadamente 1,1% superior ao do CC e os valores do CC/PP2 foram 3% superior aos valores do CC. Os valores de CC/PP2 foram aproximadamente 3% maior que os valores de CC/PP1;
- Para 28 dias: os valores de CC/PP1 foram aproximadamente 1,1% superior ao do CC e os valores do CC/PP2 foram 1,4% superior aos valores do CC. Os valores de CC/PP2 foram aproximadamente 8,1% maior que os valores de CC/PP1.

Nos ensaios de ultrassom, os valores obtidos para a velocidade ultrassônica nos corpos de prova foram na faixa de $3500 \text{ m/s} < v < 4500 \text{ m/s}$, e de acordo com a classificação da Tabela 1 (WHITEHURST, 1996 e RINCON et al,1998), o concreto apresentou uma ótima qualidade.

4.1.1. Resistência à Compressão Diametral do Concreto

A Figura 12 apresenta o corpo de prova no ensaio de resistência à compressão diametral (7 dias).

Figura 12 – Resistência à Compressão Diametral - Concreto Convencional com tempo de cura de 7 dias



Fonte: Acervo da autora.

Pelos valores da velocidade obtidos nos ensaios de ultrassom, o concreto apresentou uma ótima qualidade.

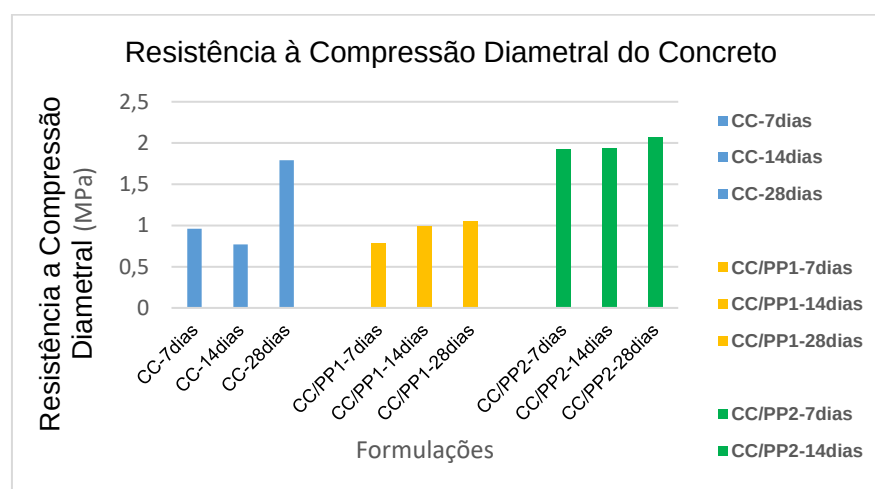
A Tabela 5 apresenta os valores obtidos nos ensaios de resistência à Compressão Diametral do concreto convencional (CC), concreto com adição de 600g/cm³ de fibra de PP (CC/PP₁) e com 1200 g/cm³ de fibra de PP (CC/PP₂).

Tabela 5 – Resultados dos Ensaio de Resistência à Compressão Diametral do concreto convencional (CC), concreto com adição de 600g/cm³ de PP (CC/PP₁) e com 1200 g/cm³ de PP (CC/PP₂).

Valor Médio da Resistência Compressão Diametral do Concreto Convencional (MPa)			Valor Médio da Resistência Compressão Diametral do Concreto com 600g/cm ³ de Fibra de Polipropileno (MPa)			Valor Médio da Resistência Compressão Diametral do Concreto com 1200g/cm ³ de Fibra de Polipropileno (MPa)		
CC 7 dias	CC 14 dias	CC 28 dias	CC/PP ₁ 7 dias	CC/PP ₁ 14 dias	CC/PP ₁ 28 dias	CC/PP ₂ 7 dias	CC/PP ₂ 14 dias	CC/PP ₂ 28 dias
0,96	0,77	1,79	0,78	0,99	1,05	1,92	1,93	2,07

A partir da Tabela 5, elaborou-se o Gráfico da Resistência à Tração por Compressão Diametral do concreto convencional (CC), concreto com adição de 600g/cm³ (CC/PP₁) de fibra de PP e com 1200 g/cm³ de fibra de PP (CC/PP₂), conforme Figura 13.

Figura 13 – Gráfico dos ensaios de Resistência à Compressão Diametral do concreto convencional (CC), concreto com adição de 600g/cm³ de PP (CC/PP₁) e com 1200 g/cm³ de PP (CC/PP₂).



De acordo com a Tabela 5 e a Figura 13, observou-se que os valores da resistência à compressão axial:

- Para o concreto convencional (CC): os valores para 14 dias foi aproximadamente 19,8% inferior que para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 86% maior que para 7 dias;
- Para o CC/PP₁: os valores para 14 dias foi aproximadamente 30% maior que para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 34,6% maior que para 7 dias. Os valores para de CC/PP1 para 28 dias foi aproximadamente 6% superior aos valores para 14 dias. Os valores obtidos para 28 dias foi 6% superior ao obtido para 14 dias.

- Para o CC/PP₂: os valores para 14 dias foi aproximadamente 0,5% maior que para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 4,8% maior que para 7 dias. A resistência para 28 dias, foi aproximadamente 44% superior ao obtido para 14 dias;

- Para 7 dias: os valores de CC/PP₁ foram aproximadamente 20% inferior ao do CC e os valores do CC/PP₂ foram 102% superiores aos valores do CC;

- Para 14 dias: os valores de CC/PP₁ foram aproximadamente 29% superior ao do CC e os valores do CC/PP₂ foram 150 % superior aos valores do CC;

- Para 28 dias: os valores de CC/PP₁ foram aproximadamente 41% inferior ao do CC e os valores do CC/PP₂ foram 16% superior aos valores do CC.

4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO

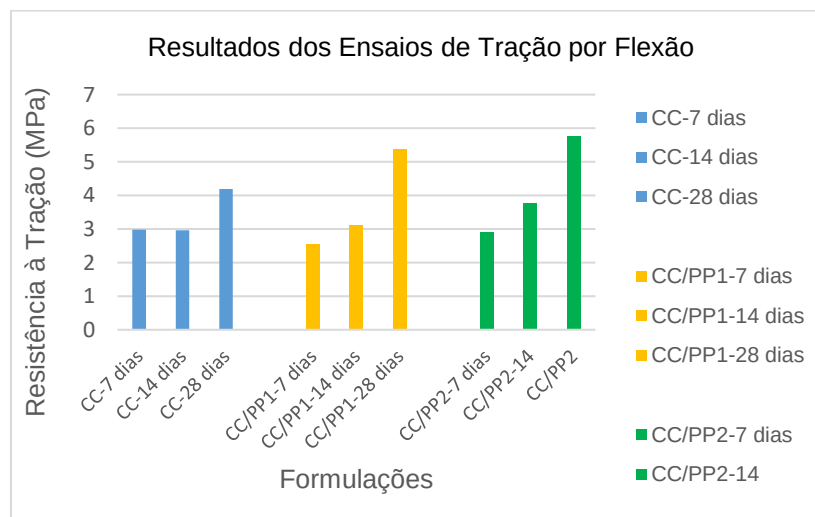
A Tabela 6 apresenta os valores dos ensaios de resistência à tração por flexão do concreto convencional, do concreto com a adição de 600 g/cm³ de fibra de polipropileno e do concreto com a adição de 1200 g/cm³ de fibra de polipropileno

Tabela 6 – Resultados dos Ensaios de Resistência à Tração por Flexão do Concreto Convencional, do concreto com a adição de 600 g/cm³ de fibra de polipropileno e do concreto com a adição de 1200 g/cm³ de fibra de polipropileno (corpo de prova prismático)

Valor Médio da Resistência a Tração do Concreto Convencional (MPa)			Valor Médio da Resistência a Tração do Concreto com 600g/cm ³ de Fibra de Polipropileno (MPa)			Valor Médio da Resistência à tração do Concreto com 1200g/cm ³ de Fibra de Polipropileno (MPa)		
CC 7 dias	CC 14 dias	CC 28 dias	CC/PP ₁ 7 dias	CC/PP ₁ 14 dias	CC/PP ₁ 28 dias	CC/PP ₂ 7 dias	CC/PP ₂ 14 dias	CC/PP ₂ 28 dias
2,98	2,96	4,25	2,65	3,12	5,38	2,90	3,78	5,76

A partir da Tabela 6, elaborou-se o Gráfico, conforme Figura 14, da resistência à tração por flexão, do concreto convencional (CC), concreto com a adição de 600 g/cm³ (C/PP₁) e concreto com a adição de 1200 g/cm³ (C/PP₂).

Figura 14 – Gráfico dos valores dos Ensaios Resistência à Tração por Flexão



De acordo com a Tabela 6 e a Figura 14, observou-se que os valores da resistência à compressão axial:

- Para o concreto convencional (CC): os valores para 14 dias foi aproximadamente 0,7% inferior aos valores para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 43% superior que para 7 dias;

- Para o CC/PP₁: os valores para 14 dias foi aproximadamente 17,7% superior aos valores para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 103% superior aos valores para 7 dias. Os valores para CC/PP₁ para 28 dias foi aproximadamente 72% superior aos valores obtidos para 14 dias.

- Para o CC/PP₂: os valores para 14 dias foi aproximadamente 30% superior aos valores obtidos para 7 dias e os valores para 28 dias foi aproximadamente 98,6% superior aos valores obtidos para 7 dias. A resistência à tração para 28 dias, foi aproximadamente 52% superior ao obtido para 14 dias;

- Para 7 dias: os valores de CC/PP₁ foram aproximadamente 11% inferior ao do CC e os valores do CC/PP₂ foram 2,7% inferior aos valores do CC. Os valores obtidos para CC/PP₂ foram aproximadamente 9,4% superior aos valores de CC/PP₁;

- Para 14 dias: os valores de CC/PP₁ foram aproximadamente 3,4% superior aos valores do CC e os valores do CC/PP₂ foram 27% superior aos valores obtidos para o CC. Os valores obtidos para CC/PP₂ foram aproximadamente 21% superior aos valores obtidos para o

- Para 28 dias: os valores obtidos para CC/PP₁ foram aproximadamente 26,6% superior aos valores obtidos para o CC e os valores obtidos para o CC/PP₂ foram 35,5% superior aos valores obtidos para o CC. Os valores obtidos para o CC/PP₂ foram aproximadamente 7% superiores aos valores obtidos para o CC/PP₁.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o controle da qualidade do concreto, os métodos utilizados devem refletir de forma adequada os resultados práticos estabelecidos em trabalho.

A resistência à compressão é a propriedade do concreto adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura, estando, portanto diretamente ligada com a segurança estrutural. Assim, o ensaio de resistência à compressão do concreto é o mais comum e também o mais importante, pois as características do concreto podem ser qualitativamente relacionadas à resistência, cuja análise é fundamental para projetos estruturais para controlar a aceitação do concreto, de acordo com as normas técnicas.

A resistência à tração do concreto auxilia no entendimento do comportamento do concreto mesmo quando o projeto não leva em conta de forma explícita a resistência à tração. Em algumas estruturas a resistência à tração é predominante, pois possibilita estimar qual é a carga, responsável pela fissuração.

Observou-se no presente trabalho, que a incorporação da fibra de polipropileno no concreto convencional aumentou proporcionalmente a sua resistência à tração quando comparado a resistência do concreto convencional. O maior valor foi observado para a formulação C/PP2 (concreto com adição de 1200 g/cm³ de PP).

Os valores da resistência à tração por compressão diametral aumentaram com o maior tempo de cura em todas as formulações. A incorporação da fibra de PP ocasionou um aumento dos valores da resistência à tração por compressão diametral, proporcionalmente as concentrações das fibras (600 g/cm³ e 1200 g/cm³).

A incorporação da fibra de polipropileno no concreto convencional aumentou proporcionalmente a sua resistência quando comparado à resistência do concreto convencional.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL JR. J.C., SILVA, L.C., MORAVIA, W.G., Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto Experimental, Revista Matéria nº 22, volume 1, ISSN 1517-7076 artigo e11780, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT NBR 15530 (2007).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8522: Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12142: Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NM 67:1998 - Determinação da Consistência do Concreto pelo Abatimento do tronco de cone ou slump test, São Paulo-SP, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16616. Ensaios Não Destrutivos, 2017

BINA, P.; TEIXEIRA, A. O. F. – **A arte dos pisos industriais – do sistema de danos ao protendido** – Ibracon – São Paulo – 2002.

BONIFÁCIO, J.R.; GODINHO, D. S. S.. Estudo do efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto. 2014. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unesc – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

BOTELHO, M. H. C. Concreto armado, eu te amo, para arquitetos. São Paulo-SP: Edgard Blucher, 2006, p. 34.

CALLISTER, W.D., RETHWISCH, D.G., Ciência Engenharia de Materiais - Uma Introdução. 8ª Ed., Editora LTC, 2012.

CARRARO, C.G., Tratamento de Fibras de Bambu para Utilização em Concreto Estrutural. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo-SP, 2018.

CHODOUNSKY, M. A., VIECILI, F. A. Pisos Industriais de Concreto: aspectos teóricos e construtivos. Ed. Reggenza, São Paulo-SP, 2007.

DENSA – Plasnil Indústria e Comércio de Máquinas Eirelli EPP - Macrofibra Sintética Estrutural de Polipropileno, Americana-SP.

FIGUEIREDO, A.D., O Concreto com Reforço de Macrofibras Poliméricas, **Revista Concreto & Construção** nº 59 (p. 39-43), 2011.

FIGUEIREDO, A. D., Concreto reforçado com fibras. 2011. 247 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, A.D., TANESI, J.; NINCE, A.A. Concreto com fibras de polipropileno. *Téchne*, v.10, n.66, p.48-51, São Paulo, 2002.

LEVY NETO, F., PARDINI, L. C., Compósitos Estruturais, Editora Pini Ltda. São Paulo, 2006.

LOPES, B.L.S, Polímeros Reforçados por Fibras Vegetais. Ed. Edgard Blucher, São Paulo-SP, 2017

LUCENA, J. C. T. Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MASSON, T. J., Desenvolvimento e Reciclagem do Polipropileno Modificado pela Presença De Cargas Híbridas. Tese. (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo – SP, 1998.

MECA, L.F.M., Resinas Epoxídicas na Construção Civil: Estudo de Pisos Epoxídicos. Trabalho de Final de Curso (Curso de Engenharia Civil), Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo-SP, 2007.

MEDEIROS, A. Aplicação do ultrassom na estimativa da profundidade de fendas superficiais e na avaliação da eficácia de injeções em elementos de concreto armado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis-SC, 2007.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. M. (1994). Concreto: estruturas, propriedades e materiais. São Paulo; Pini, p.573, 1994.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. IBRACON, São Paulo-SP, 2008.

MENDONÇA FILHO, F.F., SILVA JR., J.Z.R., Introdução de fibras no concreto autoadensável utilizando os materiais de Belém. IN: 53º Congresso Brasileiro do Concreto – CB C2011, Ibracon, Florianópolis, 2011.

MARKOVIC, I. High-performance hybrid-fibre concrete – Development and Utilisation. PhD thesis. Technische Universiteit Delft, Netherlands, 2006.

NAIK, T. R.; MALHOTRA, V. M.; POPOVICS, J. S., The Ultrasonic Pulse Velocity Method, CRC handbook on nondestructive testing of concrete, Tarun R. Naik and V M Malhotra eds, CRC Press, pp 169-189, 2004.

NEOMATEX - Fibras e Têxteis Técnicos para Engenharia

OLIVEIRA, J. L. Processamento e caracterização de compostos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira real australiana. 62f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda-RJ, 2015.

RINCÓN, O. T.; CARRUYO, C. A.; HELENE, P.; DÍAZ, I. Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion em estruturas de hormigon armado. DURAR: Red Temática XV. B Durabilidad de la Armadura – Programa Iberoamericano de Ciência y Tecnologia para el desarrollo, 1998.

RODRIGUES, P.P.F, A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. IN: Instituto Brasileiro do Concreto - 44º Congresso Brasileiro 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, MG, 2002.

ROSSIGNOLO, J.A.; AGNESINI, M.V.C.; MORAIS, J.A. Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. Cement & Concrete composites, v.25, 2003.

SALVADORI, M. Porque os edifícios ficam em pé? Editora Pini, 383p., São Paulo-SP, 2006

SALVADOR, R.P., Análises comparativas de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concretos reforçados com fibras. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2013.

SCHIAVON, K. F. B. Estudo da aplicação de ultrassom na medição de tensões em estruturas de concreto. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

TEZUKA, Y., Concreto de cimento e Polímero. ABCP, São Paulo-sp, 1988.

WHITEHURST, E. A., Evaluation of concrete properties from sonic tests. Detroit: American Concrete Institute, 1966.

Contatos:

e-mail aluno: thaisbras70@gmail.com

e-mail orientador: tmasson@makenzie.br