

## Avaliação do Uso de Concreto Com Fibras de Aço na Execução de Piso Industrial

Paulo Henrique Cabral de Moraes<sup>1</sup>, Dirceu Vieira Gomes<sup>2</sup>, Bárbara Martins Gomes<sup>3</sup>

### Resumo

Devido o concreto ser um material de comportamento frágil, foi inserido na sua composição fibras de aço, onde o composto se tornou mais rígido conseguindo consequentemente ganhos significativos na tração e um acréscimo de módulo de elasticidade. O objetivo deste trabalho verificou a viabilidade no uso de fibras de aço para aplicação em pisos industriais. Foi adotado para realização desta pesquisa um concreto reforçado com fibras de aço dos seguintes formatos: com ancoragem nas extremidades classe I e corrugada classe II, o total de traços no decorrer da pesquisa foram 5, sendo o primeiro o concreto referência sem fibra de aço (CR), o segundo com fibra de ancoragem nas extremidades (CRFA) com o consumo de 19,6 kg/m<sup>3</sup> ou teor de fibra (0,25%), o terceiro CFAE com consumo de 39,2 kg/m<sup>3</sup> (0,5%), quarto concreto com a fibra corrugada (CFC) no consumo de 19,6 kg/m<sup>3</sup> (0,5%) e o quinto CFC com consumo de 39,2 kg/m<sup>3</sup> (0,5%), todos os traços realizaram os mesmos ensaios no estado endurecido e no estado fresco. O traço que conseguiu maiores ganhos foi o CFAE no consumo de 39,2 kg/m<sup>3</sup> onde este valor alcançou a faixa de acréscimos em comparação ao CR de 20% de tração na flexão, e após a coleta dos resultados houve um comparativo por meio das recomendações da Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (ANAPRE) onde os dois modelos de fibras passaram em todas as exigências porém em sua porcentagem maior 0,5% de fibra.

**Palavras-chave:** Fibras. Macrofibras estruturais. Piso industrial.

### 1. Introdução

O material mais utilizado no mundo da construção é o concreto. Ele tem valor relativamente baixo e alta durabilidade e, além de proporcionar boa resistência à compressão, é um material constituído por cimento, agregados e água, que são elementos de fácil acesso.

Mesmo sendo muito utilizado, o concreto pode não atender à todas as necessidades que surgem, já que o mesmo é um material frágil e com baixa resistência à tração. Com isso, surgiu a necessidade de adicionar ao concreto alguns materiais, tais como adições minerais, aditivos plastificantes, fibras, entre outros. Tais adições ajudam a melhorar as características básicas do concreto, fazendo com que ele ganhe resistência, ductilidade e trabalhabilidade (MEDEIROS, 2012).

---

<sup>1</sup> paulo-rvgo@hotmail.com, Estudante em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

<sup>2</sup> dirceushego@gmail.com, Estudante em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

<sup>3</sup> barbara@unirv.edu.br, Mestra em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o primeiro concreto com fibras empregado como meio estrutural foi em 1971 na produção de painéis que foram utilizados no estacionamento do aeroporto de Heathrow, em Londres. Este fator demonstra que o emprego de fibras em concreto influencia positivamente em suas propriedades mecânicas, devido ser utilizado desde antigamente e nota-se que mesmo sem um estudo mais aprofundado, o emprego dessas fibras já acontecia.

Segundo Tamaki (2011), quando o concreto está no processo de endurecimento poderão surgir fissuras devido à retração, ação térmica, movimentação estrutural, dentre outras. Neste caso, para cada tipo de situação tem-se uma fibra específica, onde deve ser avaliada a necessidade e função esperada para escolher a ideal no momento. As fibras naturais têm a função de minimizar aquelas fissuras derivadas da retração plástica do concreto, já as estruturais são utilizadas quando são submetidos a cargas maiores, devido a característica desta fibra de resistência residual pós-fissuração no concreto, podendo ser de aço ou macrofibras poliméricas. Se empregado com sabedoria, os produtos obtidos serão de elevado controle de qualidade (ONUJI; GASPARETTO, 2013).

A Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho (ANAPRE, 2018) define piso industrial como sendo um elemento estrutural com finalidade de resistir e distribuir os esforços verticais proveniente dos carregamentos ao subleito. Além de resistir esforços mecânicos, químicos e biológicos, o piso industrial é considerado um elemento de grande importância para logística de operação das empresas, viabilizando a movimentação de cargas e veículos.

O concreto utilizado em pisos industriais deve seguir algumas especificações técnicas, de forma a buscar um melhor desempenho e, segundo a Dal-Maso (2008), devem ser avaliadas características como: granulometria do agregado, espessura do piso, o teor de argamassa, sua consistência, a resistência, relação água/cimento ( $a/c$ ) e o consumo de cimento. Dessa forma, quando os pisos forem dimensionados e executados corretamente, as fibras podem melhorar seu desempenho da matriz cimentícia. Além da eficiência da matriz, ao realizar o cálculo do consumo de materiais em conjunto com as fibras, também é necessário que a sua produção tenha o menor custo possível, tornando a matriz economicamente viável.

No concreto reforçado com fibras de aço (CRFA), algumas recomendações são indicadas, como: teor de argamassa por volta de 50%, relação  $a/c$  inferior à 0,55, ensaio de consistência de 10 a 15 cm e consumo mínimo de  $350 \text{ kg/m}^3$  de cimento (CHODOUNSKY; VIECILI, 2007).

De acordo com a NBR 15530 (ABNT, 2007), as fibras de aço podem ser classificadas quanto à sua conformação (com ancoragens em suas extremidades – Tipo A, corrugada –

Tipo C e reta – Tipo R), ao seu processo de fabricação (arame trefilado a frio – Classe I, chapa laminada cortada a frio – Classe II, arame trefilado e escarificado – Classe III), disposição das fibras (dispostas separadamente ou unitariamente – Soltas, dispostas na forma unidas entre si ou pontes colados – Coladas), ao seu revestimento (Galvanizadas, polidas) e seu tipo de material (aço carbono – alto, médio ou baixo teor de carbono, aço inoxidável).

Segundo Figueiredo (2000), quando se insere fibras no concreto a sua composição deixa de ter características frágeis. Pelo motivo de servir como ponte de transferência de tensões para as fissuras, diminuindo assim a concentração de tensões nas regiões das extremidades, conforme a Figura 1, por este motivo e possível adquirir uma grande redução na velocidade de propagação das fissuras no concreto passando assim ter um comportamento pseudo-ductil, esse comportamento é a capacidade portante pós-fissuração.

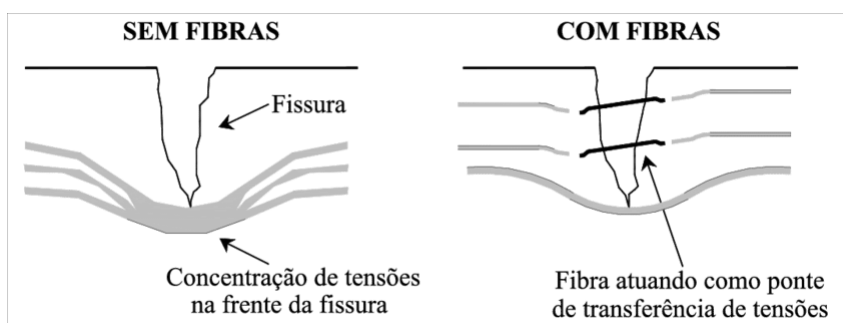


Figura 1 – Efeito da transferência de tensões com fibras

Fonte: NUNES; AGOPYAN, 1998

### 1.1. Objetivos

- Geral:

Analisar a viabilidade em adotar diferentes matrizes de concreto com fibras e fazer comparativos com o traço sem fibra, variando entre elas a geometria e o volume incorporado de fibra na matriz de concreto, para aplicação em pisos industriais.

- Específico:

Verificar as propriedades mecânicas de todos esses traços no estado fresco e endurecido; analisar a viabilidade de aplicação de cada traço para sua implantação em pisos industriais; por último, identificar as matrizes mais eficientes.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Material

Os materiais utilizados para produção dos concretos nesta pesquisa foram: aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo, aditivo e dois tipos de fibra de aço. Todos

os materiais foram caracterizados seguindo os procedimentos regulamentados por normas específicas para cada componente utilizado.

- Cimento

O aglomerante escolhido foi o CPV–ARI, que se destaca por ser um composto de diferentes teores de calcário e argila na produção do clínquer e por possuir maior superfície específica com relação ao tamanho dos grãos. O Quadro 1 mostra as exigências da NBR 16697 (ABNT, 2018) e os resultados adquiridos.

Quadro 1 – Exigências físicas, mecânicas e resultados do laboratório CP V - ARI

Parâmetros		
NBR 16697	Resíduo na peneira 75µm (%)	Massa Específica g/cm <sup>3</sup>
	≤ 6,0	≤ 3,13
CP V ARI	5,4	3,08

Fonte: Próprio autor (2019).

- Agregado miúdo

O agregado miúdo aplicado foi areia natural, com características de massa específica e unitária, conforme NM 52 (ANBT, 2009) e NM 45 (ABNT, 2006). No Quadro 2 estão apresentadas as propriedades físicas obtidas através dos ensaios de caracterização regidas pelas normas mencionadas.

Quadro 2 – Resultados de Massa Específica e Unitária do Agregado Miúdo

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2
Areia natural	2,631579	2,645503	1,634507	1,654786

Fonte: Próprio autor (2019).

A granulometria deste agregado, mostrada na Figura 2, foi realizada de acordo com a NBR NM 248 (ANBT, 2003), onde foi disposto de 500 g de areia para realização do ensaio e o módulo de finura médio obtido foi de 1,87.

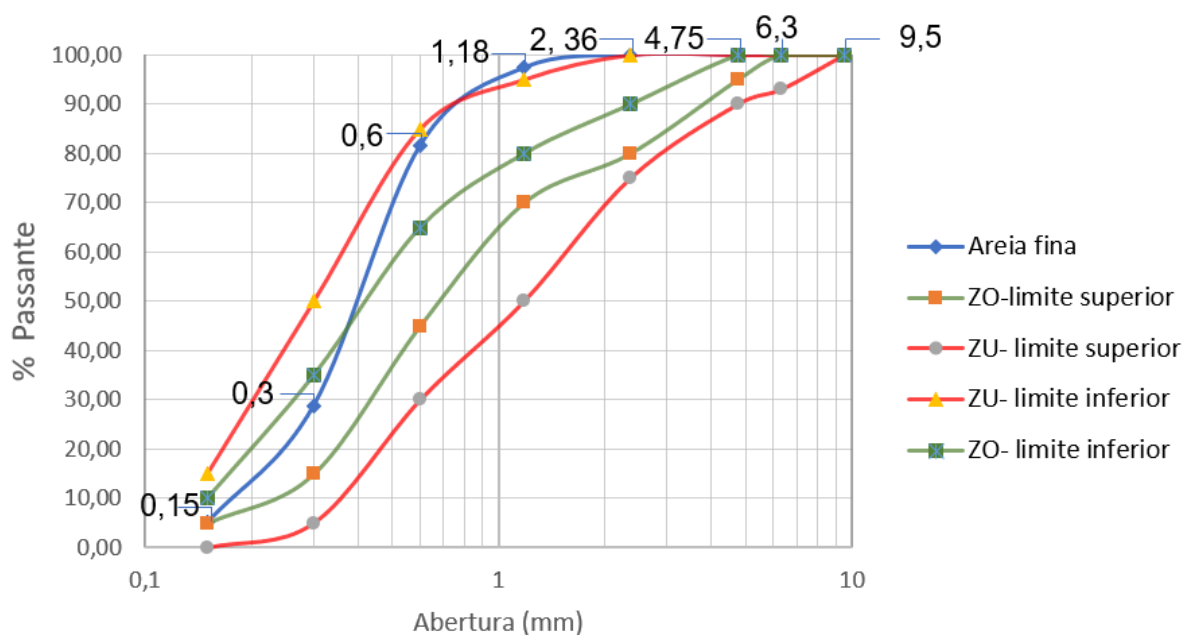


Figura 2 – Curva Granulométrica da Areia Natural  
Fonte: Próprio autor (2019).

- Agregado Graúdo

Os agregados graúdos são de origem basáltica, com dimensões de 9,5 mm e 19 mm e características de massa específica e unitária, conforme NBR NM 53 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006). No Quadro 3 estão apresentadas as propriedades físicas obtidas através dos ensaios de caracterização regidas pelas normas mencionadas.

Quadro 3 – Resultados de Massa Específica e Unitária do Agregado Graúdo

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2
Brita 9,5 mm	2,740452	2,739721	1,531524	1,531127
Brita 19 mm	2,864257	2,866522	1,494451	1,495421

Fonte: Próprio autor (2019).

A granulometria dos agregados de 9,5 mm e 19 mm foram estabelecidas conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), onde foi disposto de 500 g de cada material para a realização do ensaio. A ABNT NBR NM 248:2003 afirma que maior parte dos agregados retidos na peneira 4,75 mm são caracterizados como agregados de graúdos (Figura 3 e 4).

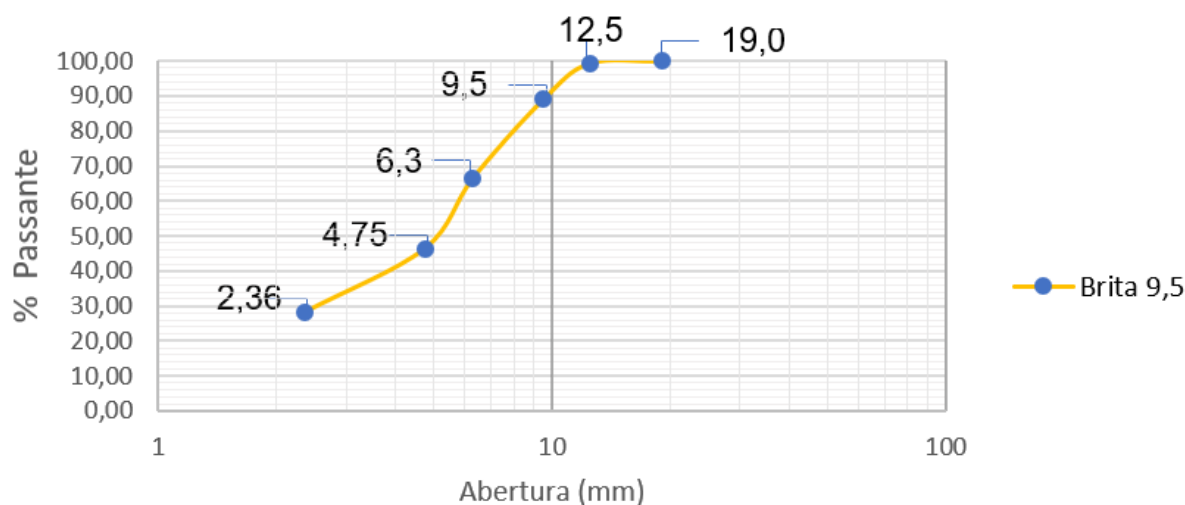


Figura 3 – Curva Granulométrica da Brita 9,5 mm  
Fonte: Próprio autor (2019).

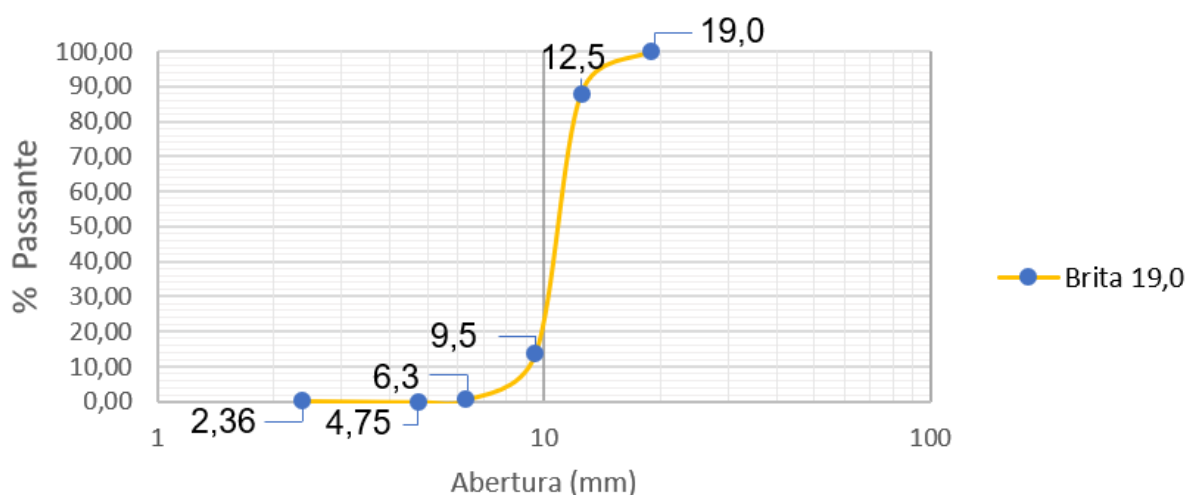


Figura 4 – Curva granulométrica da brita 19 mm  
Fonte: Próprio autor (2019).

- Aditivo

O aditivo utilizado para produção dos concretos foi o Muraplast FK 330, que possui características plastificantes e multifuncionais de pega normal. O mesmo fornece uma ampla quantidade de benefícios, como melhoria no processo de hidratação do concreto, melhor trabalhabilidade, fluidez, redução da relação água/cimento, redução do consumo de cimento e também reage quimicamente com aglomerantes em pequenas e altas quantidades no concreto.

- Fibras

A Figura 5 apresenta dois tipos de fibras que foram utilizadas. Na primeira confecção do concreto utilizou-se a fibra do tipo ancoragem nas extremidades (FAE) classe I – arame

trefilado a frio da fabricante Dramix (Figura 5–A). Posteriormente, usou-se a fibra do tipo corrugada (FC) classe II - arame trefilado e escarificado do fabricante Aço Bom (Figura 5–B). Ambas foram determinadas nas porcentagens de 0,25% e 0,5%.

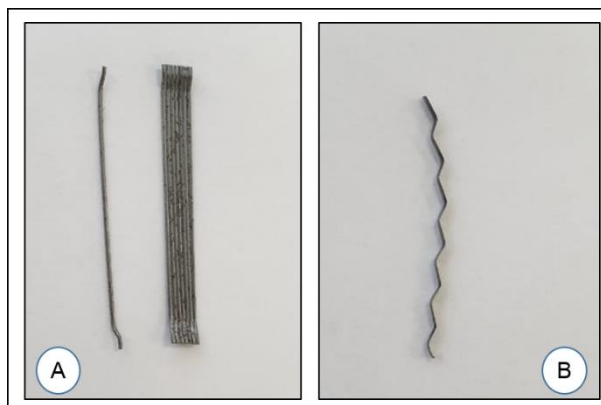


Figura 5 – Fibras de aço. A) FA classe I; B) FC classe II.  
Fonte: Próprio autor (2019).

O Quadro 4 demonstra as características das fibras mencionadas anteriormente. Bentur e Mindess (1990) certificam, através de seus estudos, que as fibras de aço possuem valores de massa específica correspondente a  $7,84 \text{ g/cm}^3$  por serem constituídas do mesmo tipo de aço. Nesse trabalho foi considerado este requisito, devido ao fabricante Aço Bom não especificar esse parâmetro em seu produto. O fator de forma de cada fibra foi calculado de acordo com a Equação (1). Já em contrapartida a fibra corrugada teve que calcular primeiramente a sua área da seção através da Equação (2) em seguida o diâmetro equivalente através da Equação (3) e por fim o seu fator de forma através da Equação (1).

$$\lambda = \frac{L}{D_e} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

$\lambda$  = o fator de forma da fibra;

L = comprimento da fibra (mm);

$D_e$  = Diâmetro equivalente (mm).

$$A = w \cdot t \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

A = área da seção transversal da fibra ( $\text{mm}^2$ );

w = largura (mm);

t = espessura (mm).

$$De = \left(\frac{4 \cdot A}{\pi}\right)^{1/2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

A = área da seção transversal da fibra.

Quadro 4 – Propriedades Físicas das Fibras

Marca	Tipo da fibra	Comprimento (mm)	Seção transversal (mm)	Resistência à Tração (MPa)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Fator de forma
DRAMIX	RC 65/65 (FAE) classe I	60	Circular com diâmetro de 0,90	1100	7,84	67
AÇO BOM	Fibra (FC) classe II	50	Retangular de 2,2 x 0,5	-	7,84	43

Fonte: Próprio autor (2019).

## 2.2. Métodos

O traço referência do trabalho adotou a porcentagem de 1,0% de aditivo em relação ao consumo do cimento, devido os demais traços serem de 1,0% e 0,9% de aditivo. A porcentagem maior foi escolhida como modelo padrão de comparação dos resultados. Essa variação se deu devido a mudança no fator de forma das fibras, logo com um fator de forma mais baixo demanda uma quantidade menor de aditivo.

Neste trabalho, o traço foi criado pelo próprio autor, utilizando os parâmetros da ABCP (Associação Brasileira Cimento Portland), onde para um  $F_{CK}$  estimado de 40 MPa em 28 dias com relação água/cimento de 0,47. Porém, para respeitar a relação de teor de argamassa, o traço foi corrigido com o acréscimo de 44% no consumo de areia, com uma diminuição de 20 % do agregado graúdo 9,5 mm e 30% do agregado de 19 mm. Com essas mudanças o teor de argamassa obtido foi de 50%.

A partir dessas modificações obteve-se em um traço unitário de 1: 1,60: 0,86: 1,77: 0,47 com a utilização de 1% de aditivo para o concreto fibra ancoragem nas extremidades (CFAE) e o teor de 0,9 % para o concreto fibra corrugada (CFC). Primeiramente, foram realizados testes de incorporação de fibras com os consumos variando entre 19,6 kg/m<sup>3</sup> o que equivale a (0,25%) de fibra; 39,2 kg/m<sup>3</sup> (0,5%) e 78,4 kg/m<sup>3</sup> (1,0%). Porém nestes testes o teor de 78,4 kg/m<sup>3</sup> não conseguiu atingir o abatimento necessário, por este motivo foi descartado da pesquisa, esta quantidade de fibras em ambos os tipos. O Quadro 4 detalha o consumo dos materiais utilizados na dosagem de 1 (um) metro cúbico de cada traço dos concretos produzidos.



Quadro 4 – Traços utilizados na pesquisa em consumo (kg/m<sup>3</sup>)

Material	CR	CFAE (0,25%)	CFAE (0,50%)	CFC (0,25%)	CFC (0,50%)
Cimento	368,230	368,230	368,230	368,230	368,230
Areia Natural	588,616	588,616	588,616	588,616	588,616
Brita 0	318,151	318,151	318,151	318,151	318,151
Brita 1	652,135	652,135	652,135	652,135	652,135
Relação água/cimento	173,068	173,068	173,068	173,068	173,068
Aditivo Plastificante	3,682	3,682	3,682	3,314	3,314
Fibra	0,0	19,60	39,20	19,60	39,20

**Legenda:**  
 CR = Traço referência sem fibras e com aditivo de 1,0%;  
 CFAE 0,25% = Traço com fibra, formato de ancoragem nas extremidades com o teor de fibra de 0,25%;  
 CFAE 0,50% = Traço com fibra, formato de ancoragem nas extremidades com o teor de fibra de 0,50%;  
 CFC 0,25% = Traço com fibra, formato corrugada com o teor de fibra de 0,25%;  
 CFC 0,50% = Traço com fibra, formato corrugada com o teor de fibra de 0,50%.

Fonte: Próprio autor (2019).

- Ensaio no estado fresco

Depois da confecção do concreto, o mesmo foi submetido ao ensaio de abatimento, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), mostrado na Figura 6, a fim de verificar a consistência do concreto em seu estado fresco e, em seguida, foi avaliado se esse concreto se enquadra ou não como piso industrial que, de acordo com Chodounsky e Viecili (2007), o abatimento deve permanecer dentro da faixa e de 100 a 150 mm.



Figura 6 – Abatimento traço referência  
 Fonte: Próprio autor (2019).

Após a realização do ensaio no estado fresco, foram confeccionados corpos de prova seguindo os parâmetros estabelecidos pela NBR 5738 (ABNT, 2015). O prazo para moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi de 24 horas e dos prismáticos de 48 horas, depois deste prazo foram desenformados e imediatamente levados para cura por imersão em água. Cada traço possui a quantidade de 12 corpos de prova cilíndricos (100x200 mm) e 3 prismáticos (150x150x500 mm), totalizando 60 corpos de prova cilíndricos e 15 corpos de prova prismáticos.

- Ensaio no estado endurecido

Após a cura de todos os corpos de prova de cada traço e decorrido o prazo de 7 e 28 dias, exceto o de tração na flexão que foi feito apenas em 28 dias, os mesmos foram submetidos aos ensaios no estado endurecido, sendo eles: resistência à compressão axial, módulo de elasticidade, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão.

- Ensaio de resistência à compressão axial

Os ensaios de compressão simples foram realizados através da prensa manual FT 02 da fabricante FORTEST IND COM LTDA, e seguindo o processo de execução da NBR 5739 (ABNT, 2018), Antes de fazer o ensaio de compressão foi feito o de módulo e posteriormente os de compressão utilizando os mesmo CP's para ambos os ensaios, devido ele não ser destrutivo. A Figura 7 demonstra o ensaio de compressão. Foram utilizados no ensaio 30 corpos de prova do formato cilíndrico (100x200mm). O total de traços utilizados no decorrer do trabalho foi 5, sendo que em cada traço utilizou-se 6 corpos de prova, destes CP's 3 foram rompidos aos 7 dias e o restante aos 28 dias.



Figura 7 – Prensa Hidráulica Ensaio de Compressão  
Fonte: Próprio autor (2019).

➤ Ensaio de módulo de elasticidade

Os ensaios de módulo foram realizados através da Máquina Universal de Ensaios DL Mecânicos em Materiais EMIC Instron, e seguindo o processo de execução da NBR 8522 (ABNT, 2017), como mostra a Figura 8. Foram ensaiados 30 CP's do formato cilíndrico com as dimensões de (100x200mm). Para cada traço foi adotado 6 corpos de prova, onde 3 foram rompidos aos 7 dias e o restante aos 28 dias.



Figura 8 – Ensaio de módulo de elasticidade  
Fonte: Próprio autor (2019).

➤ Ensaio de tração por compressão diametral

Os ensaios de tração por compressão diametral foram realizados através da prensa EMIC 23-300 Instron e seguindo o processo de execução da NBR 7222 (ABNT, 2011), como mostra a Figura 9. Foram utilizados para este ensaio 30 corpos de prova do formato cilíndrico com as dimensões de 100x200mm. Para cada traço utilizou-se 6 corpos de prova, onde 3 foram rompidos aos 7 dias e o restante aos 28 dias.



Figura 9 – Prensa Hidráulica Ensaio de Tração por Compressão Diametral  
Fonte: Próprio autor (2019).

➤ Ensaio de tração na flexão

Os ensaios de tração na flexão foram realizados através da prensa EMIC 23-300 Instron e seguindo o processo da norma NBR 12142 (ABNT, 2010), como mostra a Figura 10. Neste traço foram utilizados 15 CP's prismáticos com as dimensões de 150x150x500mm. Para cada traço foram adotados 3 corpos de prova que foram rompidos na data de 28 dias.



Figura 10 – Prensa Hidráulica Ensaio de Tração na Flexão  
Fonte: Próprio autor (2019).

- Especificações necessárias para o concreto ser aplicado em pisos industriais

Na Tabela 1 estão as especificações básicas recomendadas pela ANAPRE (2018) para confecção de piso industriais sem fibra. No entanto, para pisos especiais reforçados com fibra, as resistências mecânicas podem ser especificadas com  $f_{ck} \geq 35$  MPa e  $f_{ctm,k} > 4,5$  MPa e o abatimento mencionado anteriormente deve permanecer dentro da faixa de 100 mm a 150 mm.

Tabela 1 – Especificações Básicas de Concreto Para Pisos Industriais

Características	Parâmetros
Resistência à compressão	$f_{ck} \geq 30$ Mpa
Resistência à tração na flexão	$F_{ctm, k} > 4,2$ Mpa
Agregados graúdos	Diâmetro médio entre 12,5 a 25mm Limite de Abrasão Los Angeles ABNT NM 51: < 50% em massa
Teor de material pulverulento	$\leq 3\%$
Tipo de cimento	CP II, III, IV a V
Consumo de cimento	320 a 380 kg/m <sup>3</sup>
Relação água-cimento	$a/c < 0,55$
Argamassa (teor em volume)	48 a 53%

<b>Abatimento</b>	80 a 100mm, mas com tolerância de +/- 10 mm
<b>Teor de ar incorporado</b>	≤ 3%
<b>Exsudação</b>	≤ 4%
<b>Tempo de início de pega para acabamento</b>	4 a 5 horas
<b>Outras características não relacionadas exclusivamente aos produtos nas Concreteiras</b>	
<b>Retração (8 semanas)</b>	≤ 500 µm/m
<b>Microfibras para controle da retração plásticas</b>	Conforme nidificação de projeto (600 a 1000 g/m <sup>3</sup> )
<b>Fibras estruturais</b>	Para CRF, seguir especificações de projeto quanto ao tipo de fibra, fator de forma, comprimento mínimo (Re <sub>3</sub> ou Resistência Residual Mínima Pós-Fissuração)

Fonte: Adaptada da ANAPRE (2018).

### 3. Resultados e discussão

Como mencionado por Chodounsky e Viecili (2007), as faixas de abatimento das porcentagens do CFAE e do CFC, mostradas no quadro 5, foram satisfatórias para confeccionar pisos industriais com fibras, devido os mesmos se encontrarem dentro da faixa de abatimento 100 mm a 150 mm.

Quadro 5 – Ensaio no estado fresco dos traços

Traços	CR	CFAE 0,25%	CFAE 0,50%	CFC 0,25%	CFC 0,50%
<b>Abatimentos (mm)</b>	190	140	120	120	115

Fonte: Próprio autor (2019).

O CR apresentou um abatimento de 190 mm, o que impossibilita, segundo a ANAPRE, a aplicação desse concreto em piso industriais. No entanto, ao adicionar estas fibras foi observado que as porcentagens requeridas obtiveram uma perda de trabalhabilidade, mas não impossibilitando, portanto, a confecção do piso industrial.

Segundo Figueiredo (2000), a perda de trabalhabilidade está relacionada com a esbeltez da fibra e o seu fator de forma, analisando o fator de forma das duas fibras a menor foi a FAC, e quando maior e este fator de forma menor o seu abatimento medido através do *slump test*. Com isso, o aditivo adotado no decorrer do trabalho para o CFC foi em menor porcentagem, para que o mesmo não se eleve a consistência além do requerido para piso industriais com fibras.

- Resistência à Compressão Axial

A figura 10 representa os gráficos dos ensaios de compressão e o Quadro 6 apresenta a porcentagem de ganhos de resistência de cada traço com fibras em relação ao CR.

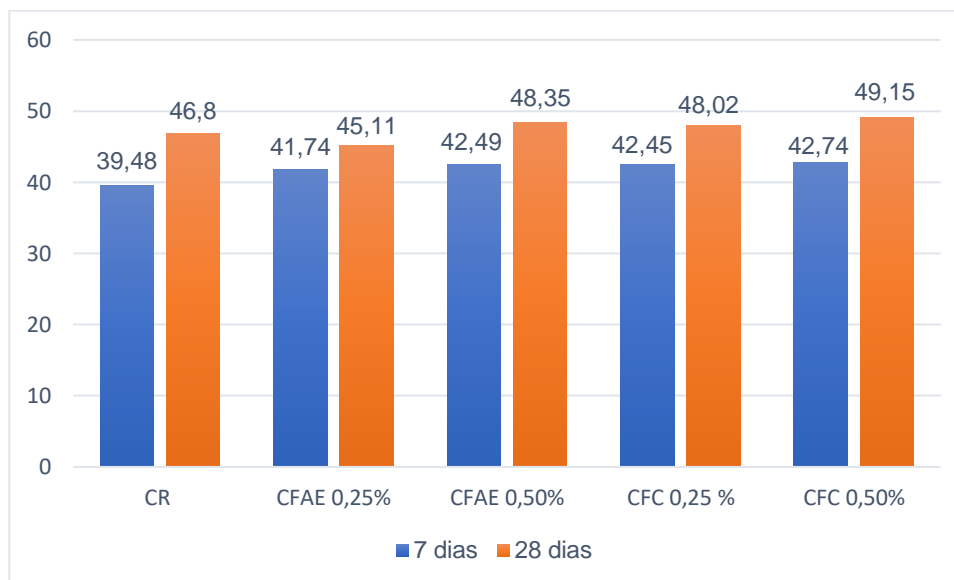


Figura 10 – Resistência a compressão axial em MPa 7 e 28 dias  
Fonte: Próprio autor (2019).

Quadro 6 – Acréscimos e decréscimo de resistência à compressão direta em diferentes idades (%)

Resistência em relação ao CR (%)				
Traços	CR→CFAE 0,25%	CR→CFAE 0,50%	CR→CFC 0,25%	CR→CFC 0,50%
7 dias	+5,72	+7,62	+7,52	+8,26
28 dias	-3,61	+3,31	+2,61	+5,02

Fonte: Próprio autor (2019).

Através da Quadro 6 verificou-se que a incorporação de fibras no CR não acarretou em ganho significativo de resistência à compressão axial.

- Resistência à Tração por Compressão Diametral e Resistência à Tração na Flexão

Nestes ensaios tanto na tração por compressão diametral quanto na resistência à tração na flexão, os concretos CFAE e CFC apresentaram maiores resistências em comparação ao CR. E o formato que obteve o resultado maior foi a do tipo com ancoragem nas extremidades. Os valores das tensões máximas atingidas por cada um deles estão apresentados nas Figuras 11 e 12. No Quadro 7 e Quadro 8 apresentam os ganhos de porcentagem na resistência à tração por compressão diametral e tração na flexão em comparação ao CR.

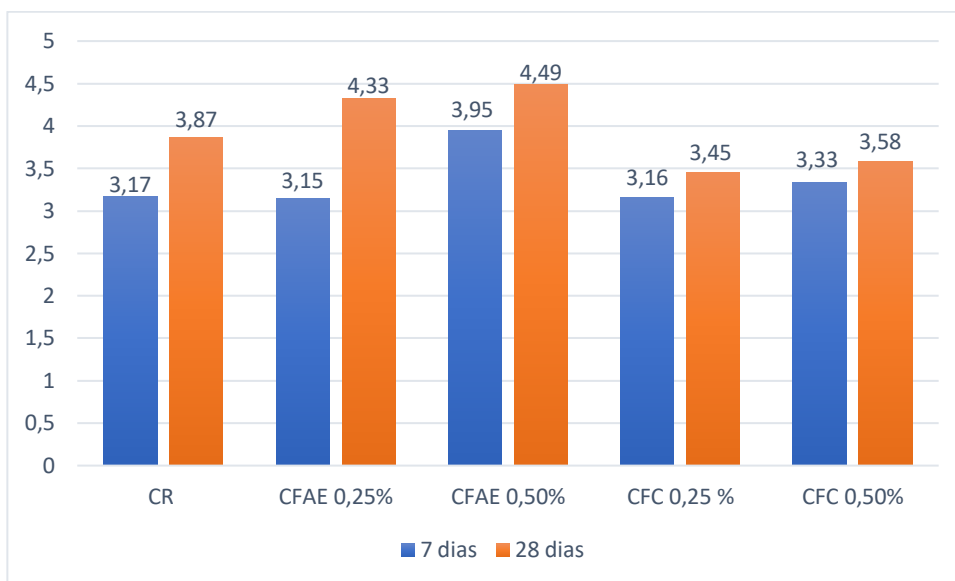


Figura 11 – Resultados Ensaio Tração por Compressão Diametral em MPa 7 e 28 dias  
Fonte: Próprio autor (2019).

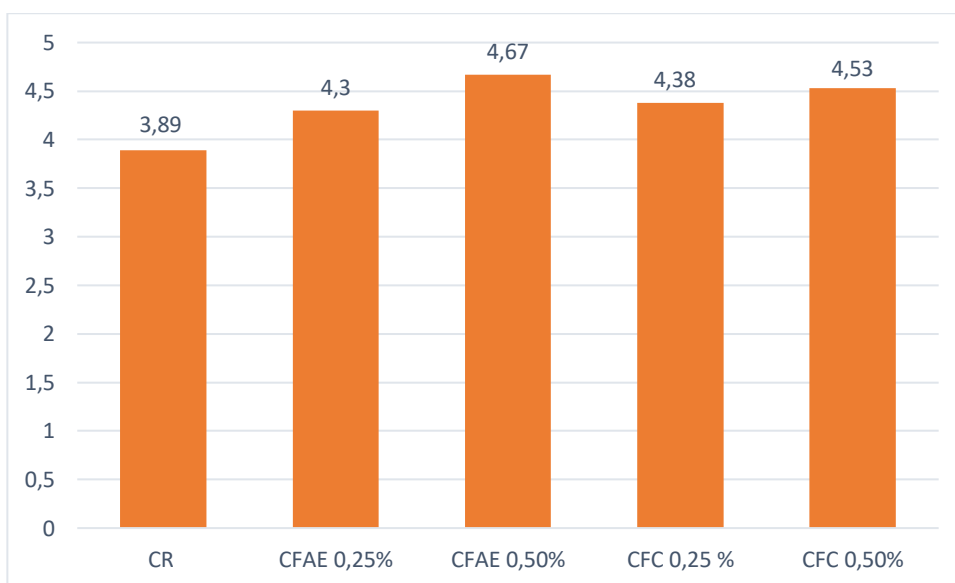


Figura 12 – Resultados Ensaio Tração na Flexão em MPa 28 dias  
Fonte: Próprio autor (2019).

Quadro 7 – Resultados do Ensaio de Tração por Compressão Diametral acréscimos e decréscimo em diferentes idades (%)

Valores dos ganhos de resistência em relação ao CR (%)				
Traços	CR→CFAE 0,25%	CR→CFAE 0,50%	CR→CFC 0,25%	CR→CFC 0,50%
7 dias	-0,63	+24,61	-0,32	+5,05
28 dias	+11,89	+16,02	-10,85	-7,49

Fonte: Próprio autor (2019).

Quadro 8 – Resultados do Ensaio de Tração na flexão acréscimos e decréscimo em diferentes idades (%)

<b>Valores dos ganhos de resistência em relação ao CR (%)</b>				
Traços	CR→CFAE 0,25%	CR→CFAE 0,50%	CR→CFC 0,25%	CR→CFC 0,50%
28 dias	+10,53	+20,05	+12,60	+16,45

Fonte: Próprio autor (2019).

Através dos Quadros 7 e 8 e das Figuras 11 e 12 é possível perceber em ambos os tipos de traço com fibras de aço, acréscimos significativos de tração na flexão e tração por compressão diametral. Estes acréscimos se realçaram quando o teor de incorporação de fibra aumentou, isso aconteceu devido ao efeito de ponte de transferência das tensões das fibras, fazendo que a tensão seja dissipada.

Onde o fator de forma influenciou de maneira positiva neste aumento de resultados, ou seja, quanto maior o valor do fator de forma maior foram os ganhos obtidos, e o traço que mais se destacou na tração por compressão diametral foi o CFAE com a porcentagem de fibra de (0,5%) em 7 dias o seu acréscimo foi de 24,61% em comparação ao traço referência, o mesmo traço na resistência à tração na flexão teve um ganho de 20,05% comparando com o traço referência.

Analisando os gráficos das Figuras 10 e 12, pode-se afirmar que somente a porcentagem de 0,5% de fibra no traço CFAE e CFC foi aquelas que alcançaram todos os requisitos de piso industrial, ou seja,  $f_{ck} \geq 35$  MPa e  $F_{ctm, k} > 4,5$  Mpa, e conseguiram cumprir as características específicas como o tamanho do agregado, consumo do cimento, relação água/cimento, teor de argamassa dentre outras.

- Módulo de Elasticidade

Neste ensaio na figura 13 apresenta os resultados obtidos de módulo de elasticidade que foram realizados em 7 e 28 dias. Onde o Quadro 9 faz a comparação dos resultados com o CR.



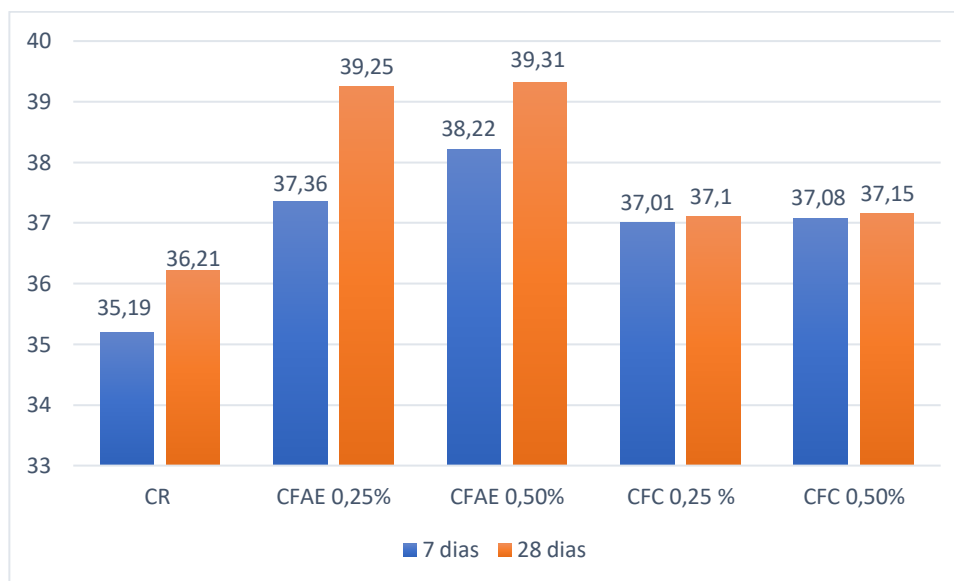


Figura 13 – Resultados Ensaio Módulo de Elasticidade em GPa 7 e 28 dias  
Fonte: Próprio autor (2019).

Quadro 9 – Resultados do Ensaio Modulo de Elasticidade acréscimos e decréscimo em diferentes idades (%)

Valores dos ganhos de resistência em relação ao CR (%)				
Traços	CR→CFAE 0,25%	CR→CFAE 0,50%	CR→CFC 0,25%	CR→CFC 0,50%
7 dias	+6,17	+8,61	+5,17	+5,37
28 dias	+8,40	+8,56	+2,46	+2,60

Fonte: Próprio autor (2019).

O concreto CFAE com incorporação de 0,5% de fibra de aço, foi aquele que apresentou maior módulo de elasticidade chegando em 7 dias um acréscimo de 8,61%, quanto maior o módulo mais rígido é o concreto. Logo ele consegue se deformar, e voltar ao seu estado original com mais facilidade, do que um que obteve um módulo menor por exemplo.

#### 4. Conclusão

Seguindo os parâmetros da ANAPRE (2018), constatou-se que os traços CFAE 0,5% e CFC 0,5% atende os requisitos mínimos necessários para substituir um piso de concreto armado para piso industrial. Além desses traços poderem substituir o concreto armado para piso industrial, eles trazem como vantagem a facilidade de execução e a diminuição da mão de obra.

O concreto que possuiu os maiores valores em quase todos os ensaios realizados no decorrer da pesquisa foi o CFAE com o seu consumo de fibras entre 39,2 kg/m<sup>3</sup>, estes acréscimos são mais realçados nos ensaios de módulo de elasticidade e no de tração por compressão diametral.

## Referências

Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho - ANAPRE. **Comitê Técnico De Piso De Concreto**. São Paulo, 2018. Disponível em :<  
[http://www.anapre.org.br/pdfs/Site-Especificacoes\\_basicas\\_de\\_concreto.pdf](http://www.anapre.org.br/pdfs/Site-Especificacoes_basicas_de_concreto.pdf)>. Acesso em:  
27 de setembro de 2019, 18:25:30.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT.NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**, Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15530: Fibras de aço para concreto - Especificações**. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR - NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR - NM 45: Agregados – Determinação da massa**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR - NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR - NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR - NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro, 2017.

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

CHODOUNSKY, M. A., VIECILI, F. A. **Pisos Industriais de Concreto: aspectos teóricos e executivos**. São Paulo: Reggenza, 2007.

DAL-MASO, J. **Pisos industriais de concreto com armadura distribuída projeto e execução**. 2008. 77 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues. **Concreto com fibras de aço**. Boletim técnico – Da escola Politécnica da Usp – Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000.

MACCAFERRI. **Fibras Como Elemento Estrutural Para Reforço de Concreto**. Manual técnico. São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://www.maccaferri.com/br/documentos/manual-tecnico/>>. Acesso em: 07 set. 2019.

MEDEIROS, Arthur. **Estudo comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras**. 2012. 201 p. Teses (Doutorado em Engenharia Civil) - Pontifícia Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Mehta K., Monteiro P. J. M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª Ed, IBRACON: 674 p.; São Paulo, Brasil; 2008.

NUNES, Nelson Lúcio; AGOPYAN, Vahan. **Estudo da influência da geometria da fibra de aço na tenacidade à flexão dos compósitos de matriz de concreto**. 1998. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ONUJI, M. A. F.; GASPARETTO, P. A. **Comparativo das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de polipropileno**. Dissertação de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Curitiba, Faculdade Superior de Tecnologia de Concreto do Departamento de Construção Civil, 2013.

TAMAKI, L. **Reforço de Fibra**. Revista Técnica, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/170/artigo215441-3.asp>> Acesso em: 07 set. 2019.