

## INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO EM PAVIMENTOS DE CONCRETO

Laís Carolina dos Santos Mota (UFT) E-mail: [laiscarolina11@gmail.com](mailto:laiscarolina11@gmail.com)

Raydel Lorenzo Reinaldo (UFT) E-mail: [rlorenzo@mail.uft.edu.br](mailto:rlorenzo@mail.uft.edu.br)

**Resumo:** O presente trabalho buscou estudar as influências que as fibras de aço podem trazer quando utilizadas estruturalmente em pisos industriais de concreto. Estudos anteriores têm afirmado que seu uso poderia diminuir a espessura de pavimentos de concreto. Para fazer essa relação fez-se necessário o estudo de dimensionamentos de pisos industriais, com o intuito de saber quais parâmetros deveriam ser analisados em ensaios experimentais que seriam capazes de relacionar os resultados obtidos com a diminuição da espessura do piso. Esses parâmetros foram: resistência à tração na flexão e a tenacidade do concreto. Com isso foram utilizadas fibras de aço como adição ao concreto. Posteriormente utilizou-se dos valores de tenacidade encontrados para relacionar o quanto que a incorporação de fibras de aço seria capaz de diminuir na espessura de um pavimento de concreto. Dessa maneira foram utilizados três percentuais de adição de fibras, sendo executado um traço referência e adições de 0,5 %, 0,75 % e 1 % em relação ao volume do concreto. Todos os traços foram executados tendo como referência de parâmetros e características de materiais conforme normas do DNIT. Observou-se que com as fibras utilizadas não influenciaram na resistência à compressão, e não foram obtidos grandes aumentos de resistência à tração. No quesito tenacidade, as fibras proporcionaram uma influência significativa: para uma adição de 1 % de fibra, a espessura do pavimento diminuiu em torno de 4 centímetros. No entanto, do ponto de vista econômico, considerando unicamente o custo de materiais, a adição de fibra não oferece vantagens.

**Palavras-chave:** Fibras de aço, pisos industriais, tenacidade.

## INFLUENCE OF THE STEEL FIBERS ADDITION ON CONCRETE FLOORS

**Abstract:** The present work aims to study the structural influences that steel fibers can present when utilized in industrial concrete floor. Previous studies have stated that the use of steel fiber could decrease the thickness of concrete floors. To make this association, it was necessary to investigate industrial floor design, in order to know which parameters should be analyzed in experimental tests that would make it able to relate the results obtained with the decrease of the floor thickness. These parameters were: flexural tensile strength and the toughness of concrete. Therefore, steel fibers were used as addition to the concrete. Then, the values of tenacity found were used to associate how much the incorporation of steel fibers would be able to decrease in the thickness of a concrete pavement. In this way, three percentages were used of fiber addition, with a reference ratio and additions of 0,5 %, 0,75 % and 1 % in relation to the concrete volume. All ratios were executed with parameters and material characteristics related to DNIT standards. It was observed that the fibers used did not influence on the compressive strength, and no large increases in tensile strength were obtained. In the case of toughness, the fibers provided a significant influence, for an addition of 1% of fiber, the thickness of the pavement decreases around 4 centimeters. However, using the economic point of view, considering only the cost of materials, the fiber addition offers no advantages.

**Keywords:** Steel fibers. Industrial floors. Tenacity.

### 1. Introdução

O pavimento rígido se caracteriza por ser composto por placas de concreto que podem ser armadas, protendidas ou ainda reforçadas com diversos tipos de fibras. Esse tipo de pavimento vem sendo empregado em áreas sujeitas a receber cargas elevadas, pelo fato de sua área de distribuição de cargas ser maior, diminuindo a deformação e pressão em sua fundação, como pistas de aeroportos, armazéns e indústrias (OLIVEIRA, 2000). Por estar sujeito a

cargas distribuídas elevadas, o concreto utilizado nesses pavimentos geralmente é armado ou protendido, visando diminuir os defeitos que podem aparecer oriundos dos esforços de tração, como fissuras. Uma das alternativas utilizadas para diminuir as fissurações no concreto convencional é a adição de fibras em sua composição, sendo estas provenientes de diversos materiais como: aço, vidro, polipropileno, amianto, carbono e celulose (CHODOUNSKY, 2007 apud CRISTELLI, 2010).

Na tentativa de sanar os problemas de fissuração tem-se incorporado fibras no concreto. O principal intuito do Concreto Armado com Fibras de Aço (CAFA) é, mediante modificações em suas propriedades, aumentar a resistência à tração e diminuir a tendência à fissuração, tornando sua vida útil mais longa e reduzindo a quantidade de defeitos causados pelas patologias presentes no concreto (MENDES, 2016). As fibras de aço são consideradas como fibras estruturais num concreto, e sua adição faz com que ocorra um aumento na tenacidade do mesmo.

Quando se fala em fibras de aço pode-se observar sua aplicação como reforço no concreto relacionado à tração em pistas de aeroportos, túneis e pisos industriais. Seu uso em pisos industriais se dá pelo fato de ser um tipo de estrutura que está submetida a elevadas cargas. De acordo com Daldegan (2016) esse tipo de pavimento pode ser aplicado em diversos ambientes em que o piso está submetido a carregamentos elevados e necessita de algum reforço especial para suportar tamanhas cargas, ele pode ser utilizado em frigoríficos, galpões, indústrias, pátios de manobra, shoppings, lojas de departamento.

De acordo com a American Concrete Institute – ACI (2006) – Committee 360 – Design of Slabs – on – Ground (Projeto de piso industrial) para o dimensionamento dos pavimentos rígidos são considerados dois tipos de ações atuantes, as diretas, mais relacionadas aos tipos de carregamentos que o piso irá sofrer (tráfego de veículos, carregamentos distribuídos e pontuais) e as indiretas, que consideram a ação do clima (retração, dilatação térmica e empenamento).

O pavimento rígido pode ser feito de concreto com armadura distribuída descontínua ou contínua sem função estrutural, protendido e estruturalmente armado (ABCP, 2015). O pavimento reforçado com fibras de aço é uma alternativa que tem sido incorporada na construção desse tipo de piso, que traz a ideia do concreto reforçado com fibras visando sanar os problemas presentes em pisos industriais, por exemplo, diminuindo a espessura e trazendo maior eficiência quando relacionado à tendência a fissurações (OLIVEIRA, 2000).

Alguns estudos já foram realizados, como os de Moscatelli (2011) e Colpo (2011), para analisar a influência da adição de fibras especificamente em pavimentos de concreto, com variações na quantidade da adição em relação ao volume de concreto, no fator de forma (relação entre o comprimento e o diâmetro) das fibras, no tipo de cimento utilizado, e tipos de concreto. Esse tipo de pavimento ainda não tem norma brasileira para seu dimensionamento, e os métodos existentes para isso não permitem obter com clareza o quanto a adição de fibras melhorará no desempenho do concreto.

Considerando esses estudos como base, será realizada nesse trabalho uma análise experimental e analítica da incorporação de fibras em corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto, de forma que a etapa experimental sirva de base à etapa analítica onde será verificada a influência da adição das fibras de aço, através do pré-dimensionamento de um piso industrial, relacionado à espessura do pavimento.

## **2. Metodologia**

Neste trabalho fez-se necessária a caracterização dos materiais a serem utilizados para posteriormente ser elaborado o traço do concreto. Esta caracterização foi feita a partir das

seguintes normas: NBR 7211:2009, NBR NM 248:2003, NBR 9776:1987, NBR NM 45: 2006 e NBR NM 53:2006.

Fez-se necessário a utilização de um superplastificante para que o concreto tivesse uma melhor trabalhabilidade, sendo este o Sika ViscoCrete 3535, fornecido pela Engsick, sendo utilizado em uma proporção de 0,4 % do volume de cimento da mistura, como recomendado pelos fornecedores.

As fibras utilizadas foram do tipo Dramix RC 65/35 BN, sendo fibras curtas com o comprimento de 35 mm, diâmetro de 0,55 mm e fator de forma de 64. As fibras de aço foram fornecidas pela Arcelomital, sendo as únicas disponíveis em Palmas.

As fibras foram adicionadas nos teores de 0,5 %, 0,75 % e 1 % em relação ao volume de concreto, equivalentes à 40kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup> e 80 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esses teores foram escolhidos porque segundo Gomes et al. (2018) e Bastos (1999) o valor 0,5 %, 0,75 % já revela ótimos resultados quanto ao incremento de tenacidade e o de 1 %, traz um resultado de incremento referente ao comportamento de adições referentes ao volume crítico, onde o compósito mantém sua resistência após a fissuração, tornando-se possível avaliar o comportamento do concreto com adições abaixo e no volume crítico de fibras.

A dosagem foi realizada seguindo o método de volume unitário, de acordo com as tabelas adaptadas pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) das tabelas do ACI Committee 211 (2001). Sendo escolhido o fck de projeto de 30 Mpa, e o cimento utilizado o CP V ARI.

## 2.1. Ensaios

Os ensaios realizados foram de trabalhabilidade (Slump test), resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão. Estes foram realizados seguindo respectivamente às normas: ABNT NBR 67:1998, ABNT NBR 5739:2007, ABNT NBR 7222:2010 e ABNT NBR 12142: 2010.

O Slump test foi o único ensaio realizado no estado fresco, sendo os demais realizados no estado endurecido, nas idades de 7 dias e 28 dias, com exceção do ensaio de tração da flexão que foi realizado apenas na idade de sete dias por causa da limitação de formas no laboratório para a moldagem dos corpos de prova. Para os ensaios de resistência à compressão axial e de resistência à tração por compressão diametral foram moldados 3 corpos de prova (CP) para cada idade; e para o ensaio de resistência à tração na flexão foram moldados 4 CPs para a idade de 7 dias.

## 2.1. Avaliação analítica

Nessa etapa foi feita uma análise dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão, e observou-se que a maior mudança dos resultados em relação ao concreto simples e o com adição de fibras foi no fator tenacidade. Sendo assim, adotou-se pelo cálculo da tenacidade proposto pela norma japonesa JSCE – SF4 (JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 1984), de acordo com a Equação 1, onde o valor de (deformação) será de 3 mm, uma vez que a norma japonesa exige, que, quando o comprimento entre eixos for de 450 mm, no ensaio, deve ser considerado = 3 mm e quando for de 300 mm considera-se = 2 mm.

$$M_n = \frac{\sigma_{adm} * h^2}{6} \quad (1)$$

Em seguida foi feito o cálculo dos momentos resistentes utilizando a metodologia propostas por Anders Losberg (LOSBERG, 1961) para pavimentos de concreto reforçados com fibras de aço, conforme as Equações 2, 3, 4, 5 e 6.

$$FT = \frac{T_b * L}{\delta * b * h^2} \quad \sigma_{fiss} = \frac{F_{max} * L}{b * h^2} \quad (2)(3)$$

$$R_{e,3} = 100 * \frac{FT}{\sigma_{fiss}} \quad M_{pos} = \left(\frac{R_{e,3}}{100}\right) * \frac{\sigma_{adm} * h^2}{6} \quad M_{res} = \left(1 + \frac{R_{e,3}}{100}\right) * \frac{\sigma_{adm} * h^2}{6} \quad (4)(5)(6)$$

### 3. Resultados

#### 3.1. Slump test

A fim de tentar conseguir o slump desejado ao concreto, foi adicionado ao traço um superplastificante, na quantidade de 0,4 % do volume de cimento, conforme as informações do fornecedor, tendo em vista o slump de 7 cm  $\pm$  1 cm. Sendo assim foi adicionada a mesma quantidade de superplastificante em todos os traços para não haver alterações na resistência do concreto, porém essa adição alterou consideravelmente os resultados desse ensaio, tornando o concreto referência e os demais muito fluidos, de forma que só o concreto com adição de 1 % de fibras obteve o slump desejado.

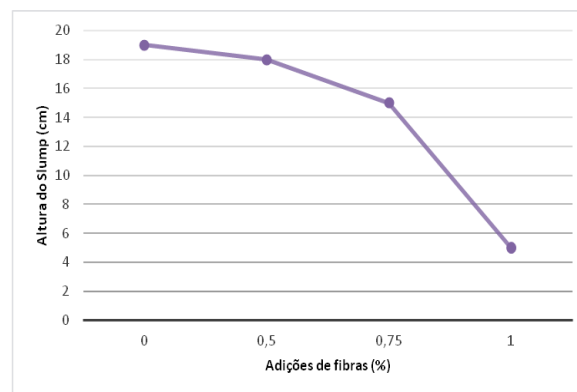


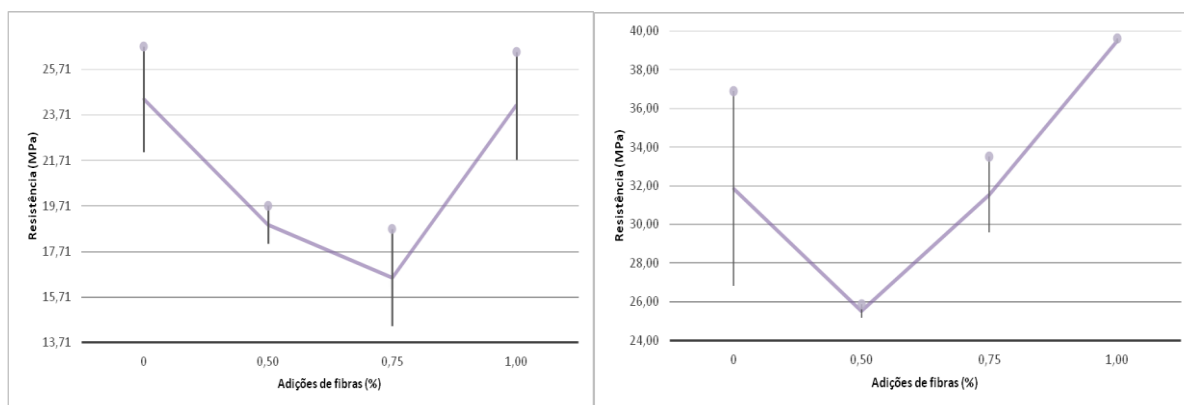
Figura 1 – Slump test

#### 3.2. Resistência à compressão axial

Com os resultados dos demais ensaios foi possível analisar quanto à variância dos resultados, com o intuito de verificar se os fatores exercem influência sobre a variável dependente, e se há diferença significativa entre as médias. Com isso foram feitos gráficos, utilizando o software Excel, com os dados de resistência de cada idade, sendo que o ponto médio das barras é a média dos valores da amostra e as barras verticais representam as variações da amostra num intervalo de 0,85 (85 % de probabilidade de que os dados encontrados estejam nesse intervalo). Os limites inferiores e superiores foram calculados a partir da Equação 7.

$$lim_{sup;inf} = \bar{x} \pm 1,96 * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Foi observado que os valores de resistência à compressão axial não seguiram um parâmetro de aumento ou diminuição de acordo com as adições. No concreto com adição de fibra em 40 kg/m<sup>3</sup> foi observado um decréscimo da resistência quando comparado ao concreto referência, já no de 80 kg/m<sup>3</sup> foi observado um incremento na resistência, e no concreto com adição de 60 kg/m<sup>3</sup> na resistência aos 7 dias foi observado um decréscimo quando comparado ao concreto referência, e aos 28 dias essa resistência foi praticamente a mesma do traço referência.

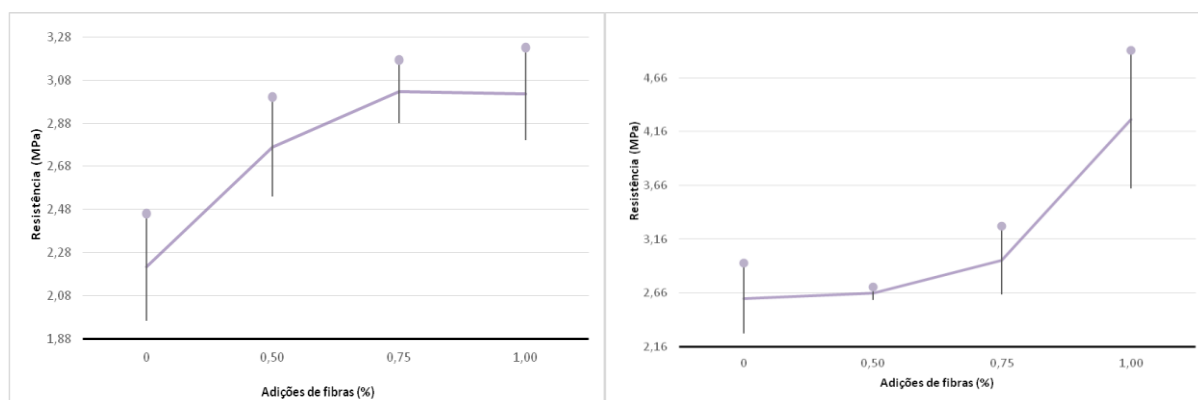


Figuras 2 e 3 – Resistência à compressão axial com 7 e 28 dias

Essas alterações na resistência à compressão do concreto podem ser justificadas pela má compactação do concreto com fibras (SANTANA, 2014), uma vez que a compactação foi feita de forma manual, e para maior eficiência deveria ter sido feito em uma mesa vibratória. Outro motivo para esse não incremento de resistência pode ser dado pela incorporação de ar no concreto em consequência do uso das fibras (ALMEIDA, 1999), porém, de acordo com os dados apresentados nas Figuras 2 e 3, essas incorporações não são proporcionais à quantidade de fibras presentes no compósito, observação feita também por Almeida (1999) em sua pesquisa. Observou-se que, no caso das adições de 1 % de fibras, as dificuldades no adensamento e a incorporação de ar não se tornaram um empecilho para que ocorresse um aumento na resistência proporcionado por esse teor de fibras.

### 3.3. Resistência à tração por compressão diametral

A partir dos resultados de resistência à tração na compressão (Figuras 4 e 5), observou-se que a incorporação de fibras no concreto não trouxe um incremento considerável à resistência à tração. No entanto os aumentos nessa resistência seguiram uma ordem lógica, aumentando mais quanto maior a quantidade de fibras incorporadas.



Figuras 4 e 5 – Resistência à tração por compressão diametral com 7 e 28 dias

Esse comportamento pode ser justificado, segundo Góis (2010), pelo fator de forma das fibras, em sua pesquisa, ele observou que para diferentes fatores de forma, 30, 50 e 80, o incremento na resistência aumenta proporcionalmente a este, sendo que foram observados incrementos de 1,2 %, 16 % e 40,6 %, respectivamente. Góis (2010) constatou que nas fibras longas (fator de forma de 80) se destaca no incremento da resistência à tração, isso se dá pelo fato de com o aumento do comprimento das fibras e do fator de forma, a chance das fissuras serem interceptadas por estas se torna maior, tornando as pontes de aderência, promovidas pelas fibras melhores, fazendo então que haja um incremento na resistência à tração

considerável e um maior controle das fissurações.

Segundo Figueiredo (2000), o comprimento crítico das fibras também influencia na resistência à tração das fibras, uma vez que comprimentos abaixo do crítico faz com que as fibras ajam como pontes de transferência de tensões, de forma que sua principal função seja no controle das fissurações. Nesse caso o rompimento se dá pelo arrancamento das fibras, se o comprimento da fibra fosse maior que o crítico ocorreria o rompimento de algumas fibras e a diminuição do incremento na ductibilidade, proporcionado pelas fibras.

### 3.4. Resistência à tração na flexão

De acordo com os dados dos ensaios de resistência à tração na flexão (Figura 6) observou-se que no traço referência houve uma dispersão muito grande nos resultados, de maneira que a média de suas resistências se tornou bastante elevada, porém com resultados pouco confiáveis. Os demais traços tiveram sua resistência à tração crescendo proporcionalmente ao aumento de fibras. No entanto, apesar do aumento da resistência com a incorporação de fibras de aço, esse aumento não foi significativo, de maneira que não foi observado aumentos maiores que 1 MPa.

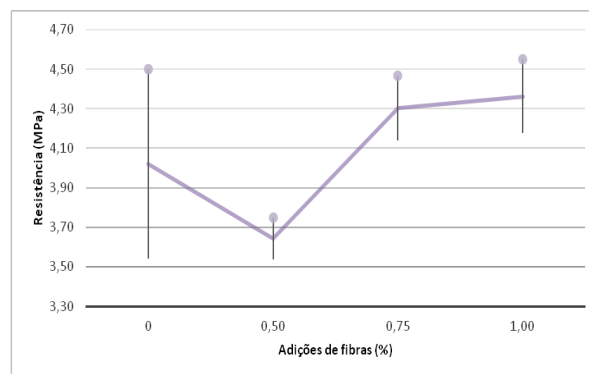


Figura 6 – Resistência à tração na flexão

Apesar disso, no ensaio de resistência à tração na flexão são medidas as deformações dos corpos de prova prismáticos, e foi notório o aumento na deformação do concreto com a adição de fibras de aço. Com isso pode-se dizer que a incorporação de fibras curtas no concreto tem influência maior em sua ductibilidade do que na resistência à tração.

De acordo com Metha e Monteiro (2008 apud ARIF, 2014) o melhor desempenho que as fibras agregam ao concreto quando comparado ao concreto convencional é na absorção de energia durante a fissuração. Quando não há adição de fibras, a ruptura do concreto ocorre de maneira frágil, acontecendo a rápida propagação de fissuras, já com a adição de fibras no concreto, este passa a suportar esforços após as fissurações, sua ruptura ocorre de maneira dúctil.

Alguns gráficos relacionados às medidas de tenacidade estão dispostos a seguir (Figuras 7 e 8), o primeiro mostrando o comportamento do concreto simples e o segundo do concreto com adição de fibras; na execução do ensaio dos corpos de prova com adição de 80 kg/m<sup>3</sup> de fibra (traço 4), ocorreu uma falha na medição da deformação no corpo de prova 3 (CP 3), não sendo possível utilizá-lo como para análise do fator tenacidade.

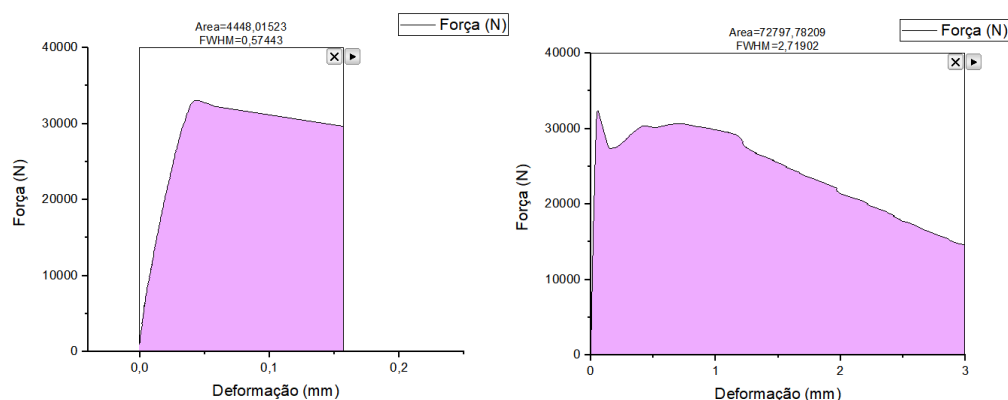


Figura 7 e 8 – Medidas de tenacidade traço 1 e 4

Comparando os resultados gráficos dos corpos de prova do traço 1 e do traço 4 é notório o aumento da deformação quando as fibras são adicionadas. Observa-se que nos corpos de prova sem fibras assim que a tensão de ruptura é atingida, este começa a perder resistência. Já quando as fibras são adicionadas, no volume de  $80 \text{ kg/m}^3$ , após a tensão de ruptura ser atingida o corpo de prova tem um período de perda de resistência e em seguida começa a ganhar novamente, caracterizando o aumento da tenacidade e o controle de fissuração que as fibras fornecem ao concreto.

### 3.5. Dimensionamento do momento resistente

A análise dos momentos resistentes foi realizada comparando os resultados em dois tipos de traços, o referência (traço 1) e o com adição de  $80 \text{ kg/m}^3$  de fibras (traço 4), porque entre eles foi observada uma maior diferença no aumento da tenacidade do concreto. De acordo com o Instituto Brasileira de Telas Soldáveis (2015) em seu manual de pisos industriais, é possível encontrar o momento resistente do piso a partir do conceito de tenacidade. Com isso para a realização desse dimensionamento, foram necessários os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão executados em corpos de prova prismáticos.

Os dados necessários foram: a área abaixo do gráfico; até a deformação de 3 mm; a força máxima exercida em cada ensaio; a tensão máxima resistida pelo corpo de prova; as dimensões do corpo de prova.

A área foi encontrada a partir do Software Origin, sendo gerados os gráficos (Anexo A) através dos dados obtidos nos ensaios, e limitando a deformação à 3 mm, para a correta aplicação na equação.

Tabela 1 – Cálculo do momento resistente

CP	Tb (N.mm)	FT (MPa)	Fmax (N)	$\sigma_{\text{Fiss}}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Re,3 (%)	$\sigma$ (Mpa)	Mres (kN.m/m)	
ref	1	3936,02	0,175	23967,45	3,20	5,47	3,20	12,64
	2	6499,59	0,289	35127,42	4,68	6,17	4,68	18,65
	3	4448,02	0,198	33077,83	4,41	4,48	4,41	17,28
	4	2952,42	0,131	28458,90	3,79	3,46	3,80	14,72
1%	1	72797,78	3,235	32342,33	4,31	75,03	4,31	28,31
	3	71808,89	3,192	34097,72	4,55	70,20	4,55	29,01
	4	62237,56	2,766	30116,22	4,02	68,89	4,02	25,43

Fonte: Elaborada pelo autor

Para dimensionar o momento resistente era necessário supor uma espessura para o piso, sendo

esta padronizada de 15 cm.

A partir dos momentos resistentes encontrados (Tabela 16), foi feita uma média, para os dois traços, tanto dos momentos, como da tensão máxima resistida por cada corpo de prova, e do da relação Re,3, Tabela 2.

Tabela 2 – Média das variáveis

		Média
<b>Mres</b> <b>(KN.m/m)</b>	<b>Ref.</b>	15,82
	<b>1%</b>	27,58
<b><math>\sigma_{adm}</math> (Mpa)</b>	<b>Ref.</b>	4,02
	<b>1%</b>	4,29
<b>Re,3 (%)</b>	<b>Ref.</b>	4,90
	<b>1%</b>	71,37

Fonte: Elaborada pelo autor

Fazendo uma análise para prever quantos centímetros se consegue diminuir na espessura de um piso industrial feito de concreto convencional quando comparado com um piso feito com adição de 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras, fez-se necessário mudar a variável da Equação 6 (Mres) para a espessura (h), onde esta passou a ser apresentada de acordo com a Equação 8. Sendo considerado o momento resistente encontrado anteriormente como o momento atuante no piso, uma vez que a tensão admissível utilizada em seu cálculo foi a própria tensão de resistência à tração na flexão encontrada nos ensaios.

$$h = \sqrt{\frac{Matuante * 6}{\sigma * (1 + \frac{Re,3}{100})}} \quad (8)$$

Com esta equação, calculou-se da seguinte maneira a nova espessura do piso:

1º Manteve-se constante a tensão média do traço 1 e seu respectivo índice de tenacidade médio e utilizou-se o momento resistente médio, considerado como momento atuante, encontrado para o traço 4 no cálculo da espessura.

2º Manteve-se constante a tensão média do traço 4 e seu respectivo índice de tenacidade médio e utilizou-se o momento resistente médio, considerado como momento atuante encontrado para o traço 1 no cálculo da espessura.

Com isso, foi possível saber a equivalência de quanto seria necessário aumentar a espessura do piso (1º caso) para que este tivesse o momento resistente equivalente ao piso de CRFA. E fazer a relação de quanto seria possível diminuir a espessura do piso (2º caso), para que o CRFA tivesse um Mres equivalente ao concreto convencional.

Foram encontrados os seguintes resultados:

1º Caso: h = 0,198 m

2º Caso: h = 0,114 m

A partir desses resultados, observou-se que em relação à altura referência (15 cm) é possível, com a adição de 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras de aço, diminuir em média 4 cm da espessura de piso industrial em relação ao piso feito de concreto simples.

No entanto, com a análise das espessuras realizada pelo dimensionamento do piso por meio do fator tenacidade foi realizado um comparativo de custo para saber a viabilidade do uso



dessas fibras em pisos industriais. Foi analisada então a redução da espessura obtida, levando em consideração o quanto o custo aumentaria de acordo com o volume de fibra utilizada. De acordo com o fornecedor das fibras Dramix em Palmas, o custo da fibra é em torno de R\$ 16,00 o kg, sendo assim a incorporação de 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras para 1 m<sup>2</sup> de piso de concreto com 11 cm de espessura aumentaria seu custo em um valor de R\$ 140,80.

O concreto vendido no Tocantins, de acordo com dados da SINAPI, para piso, com as seguintes características: Cimento CP - II, com fck=30 MPa, utilizando brita 1 e areia média, com slump 10 ± 2 cm; está saindo com um custo à vista de R\$ 317,09 o m<sup>3</sup>. Sendo assim o aumento de 0,04 m<sup>3</sup> de concreto aumentaria seu custo em R\$ 12,68, sendo que para um piso de concreto simples com espessura de 15 cm seu valor seria de R\$ 47,56 e aumentando esse h para 19 cm, para chegar ao momento resistente desejado, seu valor subiria para R\$ 60,25.

Sendo assim, a Tabela 3 traz o comparativo de custo do concreto convencional com o CRFA, considerando a tabela de preços da SINAPI para o estado do Tocantins para o mês de abril e que o CRFA alcançaria o momento resistente do concreto convencional de 15 cm de espessura (reduzindo o volume).

Tabela 2 – Comparativo de preço do concreto convencional com o CRFA

	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )	Custo do concreto (R\$)
Concreto convencional	0,15	47,56
CRFA	0,11	140,80

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir desses valores, é possível saber a viabilidade do uso das fibras no concreto. Percebe-se que a inserção delas no pavimento aumenta consideravelmente seu custo, não tendo um feedback desejado em relação à redução de volume de concreto, sendo necessário fazer uma avaliação da vida útil do concreto simples comparando com o CRFA para ter convicção do custo-benefício de seu uso.

#### 4. Conclusões

Por meio dos ensaios realizados e dos resultados obtidos pode-se concluir que a adição de diferentes porcentagens de fibras de aço curtas, de fator de forma 64, no concreto traz as seguintes influências ao concreto:

Quanto à trabalhabilidade: os resultados obtidos através do slump test mostram que quanto maior o volume de fibras de aço incorporadas no concreto menor se torna sua trabalhabilidade. Isso dificulta no adensamento, podendo facilitar a formação de ninhos de concretagem.

Quanto à resistência à compressão axial: observou-se que diferentes porcentagens de fibras adicionadas não seguem um padrão de variação. Essa situação pode ser justificada pela incorporação de ar proporcionada pela dificuldade do adensamento proveniente da adição das fibras.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral: esta teve um aumento proporcional às porcentagens de adições de fibras. Porém esse aumento na resistência não foi muito significativo, o que pode ser justificado pelo fator de forma das fibras, e por serem fibras curtas.

Quanto à resistência à tração na flexão: houve um aumento proporcional ao aumento do volume de fibras de aço adicionadas, porém seu melhor desempenho foi quanto à tenacidade.

Esta aumentou consideravelmente com a adição de fibras, uma vez que o concreto simples teve uma ruptura brusca, o concreto com adição de fibras teve um longo período de deformação antes do colapso. Outra característica observada é que os corpos de prova prismáticos com fibras de aço apenas sofreram rachaduras e fissuras, as fibras impediram que eles rompessem por completo.

Quanto ao uso das fibras de aço para o dimensionamento de um piso industrial, observou-se que sua adição em um volume de 80 kg/m<sup>3</sup> pode diminuir em até 4 cm na espessura do piso, porém seu custo ainda é elevado, o que torna pouco econômica sua aplicação.

Diante da estimativa de custos levantada, se torna inviável a utilização desse tipo de fibra em específico em pisos industriais visando à diminuição da espessura, por serem fibras mais curtas e não aumentarem significativamente a resistência à tração do concreto, o que influenciaria na diminuição da espessura. Recomenda-se para trabalhos futuros o uso de fibras de aço com maior comprimento e fator de forma, para assim saber se o custo-benefício se tornaria viável.

Diante da influência observada na tenacidade do concreto com a incorporação das fibras, propõe-se para futuras pesquisas a análise em relação à resistência à fadiga e à vida útil do concreto.

## Referências

**ALMEIDA, M. O.** *Estudo da tenacidade e proposta de nova configuração do ensaio de flexão em placas para concretos reforçados com fibras de aço.* 1999. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

**AMERICA CONCRETE INSTITUTE.** *ACI 360R-06: Design of Slabs-on-Ground.* Farmington Hills: Aci, 2006.

**ARIF, M. A.** *Avaliação da medida da tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço.* 2014. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Uberlândia, 2014.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND.** *Curso de Tecnologia de Pavimentos de Concreto:* São Paulo: Abcp, 2015. 91 slides, color.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.* Rio de Janeiro, 2009.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NM NBR 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.* Rio de Janeiro, 2003.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.* Rio de Janeiro, 1987.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NM 45: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.* Rio de Janeiro: Abnt, 2006.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.* Rio de Janeiro: Abnt, 2003.

**AMERICA CONCRETE INSTITUTE.** *ACI 211: Guide for Submittal of Concrete Proportions.* Farmington Hills, 2001.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NBR NM 67: concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.* Rio de Janeiro, 1998.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NBR 5739: concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – métodos de ensaio.* Rio de Janeiro, 2007.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.* Rio de Janeiro: Abnt, 2010.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** *ABNT NBR 12142: Determinação da resistência*

à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

**BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos.** *Análise experimental de dormentes de concreto protendido reforçados com fibras de aço.* 1999. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1999.

**COLPO, G. B.** *Uso de fibras de aço em concreto para pavimentos.* 2011. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2011.

**CRISTELLI, R.** *Pavimentos Industriais de Concreto: Análise do sistema construtivo.* 2010. 161 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

**DALDEGAN, E.** *Piso Industrial de Concreto: Aprenda o Processo Executivo.* 2016. Disponível em: <<https://www.engenhariaconcreta.com/piso-industrial-de-concreto-aprenda-o-processo-executivo/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

**FIGUEIREDO, A. D.** *Concreto com fibras de aço.* 2000. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de SÃO Paulo, São Paulo, 2000.

**GÓIS, F. A. P.** *Avaliação experimental do comportamento de concreto fluido reforçado com fibras de aço: Influência do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto.* 2010. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

**GOMES, L. D. S. et al.** *Experimental analysis of the efficiency of steel fibers on shear strength of beams.* Latin American Journal Of Solids And Structures, [s.l.], v. 15, n. 7, p.1-16, 16 jul. 2018. FapUNIFESP

**INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS.** *Novos critérios para pavimentos industriais de concreto armado.* São Paulo: IBTS, 2015.

**JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.** *SF4 - method of test for flexural strenght and flexural toughness of steel reinforced concret: Method of test for flexural strenght and flexural toughness of steel reinforced concret.* JSCE, 1984.

**LOSBERG, A.:** *Design Methods for Structurally Reinforced Concrete Pavements,* Chalmers Tekniska Hogskolas Handlingar, Gothenburg, 1961.

**MENDES, R. R.** *Estudo experimental de corpos de prova de concreto com fibras de aço sujeitos à tração por compressão diametral e à tração direta.* 2016. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da Puc-rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

**MOSCATELLI, I.** *Fibras de aço em concreto de cimento Portland aplicados a pavimento.* 2011. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

**OLIVEIRA, P. L.** *Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto.* 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

**SANTANA, I. V.** *Estudo da influência das fibras metálicas no comportamento da aderência entre barras de aço e concretos de diferentes classes de resistência.* 2014. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.