INFLUÊNCIA DO USO DE MACROFIBRAS DE POLIPROPILENO EM COMPARAÇÃO À TELA METÁLICA ELETROSSOLDADA FRENTE À RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE CONCRETOS EMPREGADOS EM PISOS

C. FARINELLI
Graduanda Em Engenharia Civil
URI – Campus De Erechim
Rio Grande Do Sul; Brasil
chalinefarinelli@yahoo.Com.Br

B. SCHIMELFENIG
Bolsista De Iniciação Científica
URI – Campus De Erechim
Rio Grande Do Sul; Brasil
beatrizschimelfenig@gmail.Com

F. PADILHA
Bolsista de Iniciação Científica
URI – Campus de Erechim
Rio Grande do Sul; Brasil
francine.padilha1609@gmail.com

C. V. SILVA
Professora Doutora
URI – Campus de Erechim
Rio Grande do Sul; Brasil
cristina@uricer.edu.br

RESUMO

A adição de fibras como reforço ao concreto utilizado em pisos tem por finalidade minimizar a fragilidade e melhorar sua tenacidade, permitindo a redistribuição das tensões atuantes e aumentando a capacidade estrutural. A utilização de telas metálicas eletrossoldadas em pisos é uma técnica antiga e que requer cuidados na execução para que não prejudique posteriormente o desempenho da estrutura. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a possibilidade da macrofibra sintética de polipropileno substituir a tela metálica eletrossoldada, dispondo da mesma capacidade estrutural. Foram utilizados dois teores de macrofibra para teste, 0,0 kg/m³ e 4,0kg/m³, além da análise com emprego da tela. Os resultados encontrados mostram que as macrofibras influenciaram de maneira significativa na resistência à tração na flexão. Quanto à resistência à compressão uniaxial, a macrofibra não mostra ser relevante, devido a possibilidade de esta ficar concentrada em grandes porções em alguns pontos dentro da matriz.
Palavras-chave: Reforço. Concreto. Pisos. Telas metálicas eletrossoldadas. Macrofibra sintética de polipropileno.

ABSTRACT

The addition of fibers as reinforcement to the concrete used in floors has the purpose to minimize the brittleness and improving its tenacity, allowing the redistribution of the working tensions and increasing the structural capacity. The use of welded wire mesh on floors is an old technique and it requires care in the execution so that it shall not damage the performance of the structure in the future. This research had as objective to evaluate the possibility of the macrofiber synthetic polypropylene to replace the welded wire mesh providing the same structural capacity. Two macrofiber's content for test, 0,0 kg / m³ and 4,0kg / m³ were used, besides the analysis using the mesh. The results found showed that the macrofibers had a significant influence on tensile strength in flexion. About the uniaxial compression, a macrofiber does not prove to be relevant due to the possibility of it being concentrated in large portions at some points within the matrix.
Keywords: Reinforcement. Concrete. Floors. Welded wire mesh. Polypropylene synthetic macrofiber.

1. INTRODUÇÃO

A adição de fibras no concreto tem sido utilizada há décadas, com objetivo de melhorar as propriedades mecânicas do compósito e, também, no controle de fissuração (ALLEM; BRIGIDO; VARGAS, 2016). As macrofibras sintéticas podem proporcionar uma capacidade resistente equivalente aos reforços secundários de telas metálicas eletrossoldadas. O reforço das macrofibras possibilita uma maior resistência nas variações de volume do concreto e ajuda a distribuir as tensões internas (GRANATO; POLIDORO, 2015). Já a utilização de tela metálica eletrossoldável como reforço secundário é uma prática comum e utilizada para

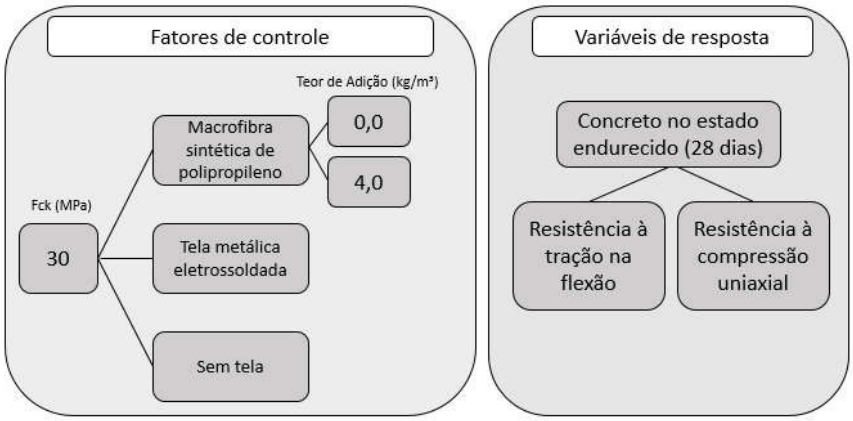
uma melhor distribuição da carga (CAMARGO, 2010). A utilização da tela em pisos requer certos cuidados, como o correto posicionamento dentro da camada de concreto, para que esta não venha a prejudicar o desempenho dessas estruturas (GRANATO; POLIDORO, 2015).

Dessa forma, com o intuito de utilizar materiais e técnicas mais avançadas, surge a macrofibra de polipropileno, que com sua função estrutural pode até substituir a tela metálica eletrossoldável. Sendo assim, esta pesquisa pretende estudar o desempenho de concreto reforçado com macrofibras de polipropileno e com a tela metálica eletrossoldada na tração por flexão, analisando a influência de diferentes teores de adição de fibra (0 kg/m³; 4 kg/m³), na tração por flexão e compressão uniaxial em concretos empregados em pisos.

2. METODOLOGIA

O programa experimental desta pesquisa foi preparado a fim de possibilitar que se trabalhe com variáveis de controle e, posteriormente, seja possível analisar a influência das mesmas nas variáveis de resposta. Este programa tem como objetivo avaliar alguns fatores constituintes do traço de concreto para pisos, de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Programa Experimental



Fonte: Autores

A escolha dos fatores controláveis foi baseada em dosagens e parâmetros considerados importantes, seguindo especificações técnicas para pisos industriais e com base em resultados de estudos anteriores.
Com relação a determinação dos teores de macrofibra adotados na pesquisa, partiu-se de um teor médio indicado pelo fabricante de 4kg/m³, e um teor de referência de 0kg/m³.

Para a determinação da tela metálica eletrossoldada, foi considerada uma opção muito utilizada para pisos que suportam cargas médias à altas.

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento
O cimento utilizado para esta pesquisa foi o CPV-ARI, essa escolha se deve ao fato de que este não possui nenhuma adição mineral para melhorar seu desempenho, possibilitando uma melhor análise do desempenho da macrofibra. A tabela 1 apresenta a caracterização física do cimento.

Tabela 1 – Caracterização fisica do cimento

Características avaliadas		Tipo de cimento Portland CPV-ARI		
		Fabricante	LAPATEC	Exigência da NBR 5733
Massa específica (cm³/g)		3,09	3,04	-
Expansão a quente (mm)		0	-	≤ 5,0
Tempo de pega (h: min.)	Início	03:15	-	≥ 1:00
	Fim	04:00	-	≤ 10:00
Consistência normal (%)		30,1	-	-
Finura Blaine (cm²/g)		5	-	≥ 3000
Resíduo peneira #200µm (%)		0,2	1,91	≤ 6,0
Resíduo peneira #325µm (%)		1,3	-	-

Fonte: Autores

2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural de origem quartzosa, caracterizada pelos ensaios de massa específica (NBR NM 52/2009), massa unitária (NBR NM 45/2006), composição granulométrica (NBR NM 248/2003) e absorção de água (NBR NM 30/2001). A Tabela 2 apresenta a caracterização física deste agregado e os limites de distribuição granulométrica segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 2 – Caracterização da areia

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média Retida Acumulada (%)	Limites (NBR 7211:2009)			
			Limites inferiores		Limites superiores	
			Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
4,75	0,72	0,72	0	0	5	10
2,36	8,61	9,33	0	10	20	25
1,18	20,84	30,17	5	20	30	50
0,6	15,85	46,02	15	35	55	70
0,3	19,27	65,29	50	65	85	95
0,15	23,20	88,49	85	90	95	100
Fundo	11,00	99,49	-	-	-	-
Módulo de finura		2,40	Nota 1: O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. Nota 2: O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. Nota 3: O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.			
Dimensão máxima característica (mm)		4,75				
Massa específica (g/cm³)		2,50				
Massa unitária (g/cm³)		1,55				
Absorção de água (%)		0,60				

Fonte: Autores

2.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado é de origem basáltica, comercialmente conhecido como brita 1. O mesmo foi caracerizado pelos ensaios de massa específica e absorção de água (NBR NM 53/2009), massa unitária (NBR NM 45/2006) e composição granulométrica (NBR NM 248/2003). A tabela 3 apresenta a caracterização física deste agregado e os limites de distribuição granulométrica estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 3 – Caracterização do agregado graúdo

Abertura das Peneiras (mm)	Média Retida (%)	Média Retida Acumulada (%)	Zona granulométrica d/Da - NBR 7211:2009			
			4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50
25*	0,00	0,00	-	2-15b	65b-95	95-100
19	8,08	8,08	0-5	40b-65b	92-100	-
12,5*	63,74	71,72	2-15b	80b-100	95-100	-
9,5	14,69	86,51	40b-65b	92-100	-	-
6,3*	11,23	97,74	80b-100	95-100	-	-
4,75	1,89	99,63	95-100	-	-	-
2,36	0,37	100,00	-	-	-	-
1,18	0,00	100,00	-	-	-	-
0,6	0,00	100,00	-	-	-	-
0,3	0,00	100,00	-	-	-	-
0,15	0,00	100,00	-	-	-	-
Fundo	0,00	100,00	-	-	-	-
Módulo de Finura		6,94	a: Zona granulométrica correspondente à menos (d) e à maior (D) dimensão do agregado graúdo. b: Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.			
Dimensão Máxima Característica (mm)		25,00				
Massa Específica (g/cm³)		2,84				
Massa Unitária (g/cm³)		1,64				
Absorção de Água (%)		1,43				

Fonte: Autores

2.1.4 Tela metálica eletrossoldada

De acordo com o Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, uma tela soldada é uma armadura pré-fabricada com o propósito de armar o concreto em forma de rede de malhas, constituída de fios de aço longitudinais e transversais, sobrepostos e soldados em todos os pontos de contato (nós) por resistência elétrica.

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi utilizado a a tela Q138 com as seguintes características, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização da tela metálica eletrossoldada

Designação	Espaçamento entre fios (cm)	Diâmetro (mm)	Seções (cm²/m)	Apresent.	Dimensões (m)	Peso	
	Long. X Transv.	Long. X Transv.	Long. X Transv.		Larg. X Comp.	kg/m²	kg/Peça
Q138	10x10	4,2x4,2	1,38x1,38	Rolo	2,45x60,00	2,20	323,40
Q138	10x10	4,2x4,2	1,38x1,38	Painel	2,45x6,00	2,20	32,30

Fonte: Fabricante.

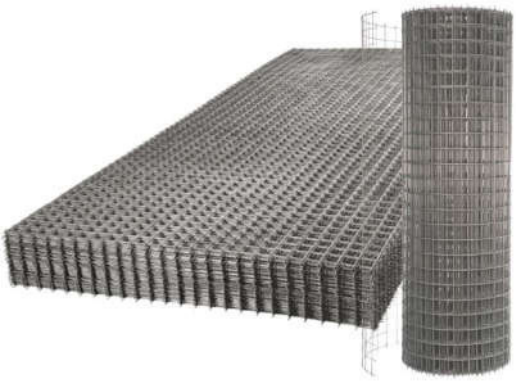
O aço utilizado para fabricação deste tipo de tela é o CA-60, o qual apresenta capacidade de soldabilidade com ótimo dobramento e alta resistência. Suas características estão apresentadas na Tabela 5 e ilustrada na Figura 2.

Tabela 5: Caracterização do aço

Diâmetro nominal (DN) (mm)	Massa nominal (Kg/m)	Resistência Característica de escoamento (fy) (MPa)	Limite de resistência (fst) (MPa)	Relação fst/fy	Alongamento mínimo em 10 Ø	Diâmetro do pino para dobramento a 180º (mm)
4,2	0,109	600	660	>=1,05	5%	5 x DN

Fonte: Fabricante.

Figura 2: Tela metálica eletrossoldada



Fonte: Fabricante.

2.1.5 Macrofibra sintética de polipropileno

A macrofibra sintética de polipropileno escolhida para ser utilizada proporciona ao concreto maior tenacidade e capacidade estrutural ao mesmo tempo que fornece uma resistência à fissuração causada pela retração. As características técnicas, conforme fabricante, estão dispostas na Tabela 6, e a ilustração conforme Figura 3.

Tabela 6: Caracterização da macrofibra sintética de polipropileno

Macrofibra	
Material	Polipropileno
Tipo	Monofilamento
Densidade	0,92g/cm³
Comprimento	51mm
Fator de Forma	74
Resistência à tração	600 - 650 MPa
Módulo de elasticidade	9,5 GPa
Absorção	Insignificante
Cor	Branco
Resistência ao álcalis/ácidos	Excelente
Dosagens	1,8 - 12 kg/m³

Fonte: Fabricante

Figura 3: Macrofibra sintética de polipropileno



Fonte: Fabricante

2.1.6 Aditivo

Utilizou-se aditivo superplastificante na mistura, para melhorar a trabalhabilidade do concreto. A Tabela 7 apresenta as características físico-químicas do aditivo.

Tabela 7: Caracteristicas do aditivo

Propriedades Físico-Químicas	
Estado físico	Líquido
Base química	Solução de Policarboxilatos em meio aquoso
Cor	Levemente amarelada
Densidade (g/cm³)	1,1

Fonte: Fabricante

2.2 Dosagem

A dosagem utilizada nesse trabalho foi realizada pelo método do IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian (1992), fixando-se o abatimento de tronco cone do concreto, em 100 ± 20 mm, e o teor ideal de argamassa (α), em 54%, determinado experimentalmente. A dosagem experimental e os parâmetros dos traços ensaiados são apresentados nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8: Dosagem experimental

Traço unitário (1:m)	**Relação água/cimento (a/c)**	**Resistência - 28 dias (MPa)**	**Consumo de cimento (kg/m³)**	**Aditivo (%)**	**H (%)**	**Abatimento (mm)**
3,5	0,38	43,06	497,81	0,1	8,4	90
5	0,47	36,51	375,05	0,1	7,8	90
6,5	0,59	25,63	298,28	0,1	7,9	90

Fonte: Autores

Tabela 9: Parâmetro dos traços ensaiados

Traço	Fatores Controláveis	Consumo de cimento (kg/m³)	Traço unitário					Parâmetros		
	Teor de adição de macrofibra (kg/m³) (1)		cim	a	p	M	H (%)	α (%)	Abat. (mm)	Aditivo (%)
1-A	0,0 (A)	481,31	1	1,41	2,06	3,47	6,4	0,54	100	0,1
1-B	4,0 (B)								100	
Traço	**Tela Metálica Eletrossoldada (2)**									
2-C	Sem (C)*	481,31	1	1,41	2,06	3,47	6,4	0,54	100	0,1
2-D	Com (D)								100	

*Para a combinação 2-C foi utilizado o mesmo concreto da combinção 1-A.

Fonte: Autores

2.3 Descrição dos ensaios

2.3.1 Resistência à tração na flexão

Para a realização do ensaio de tração foram moldadas placas de 100 mm de altura nas formas confeccionadas de chapas de compensado plastificado de 250x500x100 mm. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 12142/2010, aos 28 dias. As placas foram adensadas em mesa vibratória e permaneceram cobertas por uma lona plástica durante as primeiras 24 horas, a fim de evitar a perda de água do concreto para o ambiente externo. Posteriormente, foram desmoldadas e mantidas em câmara úmida (UR ≥95% e temperatura de 23 ±2°C) até a realização do ensaio, apresentado na Figura 4.

Figura 4: Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autores

2.3.2 Resistência à Compressão Uniaxial

O ensaio de resistência à compressão uniaxial seguiu a NBR 5739 (ABNT, 2007). Foram moldados e ensaiados aos 28 dias, corpos de provas cilíndricos com dimensão 100x200 mm. Estes foram adensados em mesa vibratória e permaneceram cobertos por uma lona plástica durante as primeiras 24 horas, a fim de evitar a perda de água do concreto para o ambiente externo. Posteriormente, os corpos de prova foram desmoldados e mantidos em câmara úmida (UR ≥ 95% e temperatura de 23 ± 2ºC) até a realização do ensaio, apresentado na Figura 5.

Figura 5: Ensaio de compressão uniaxial



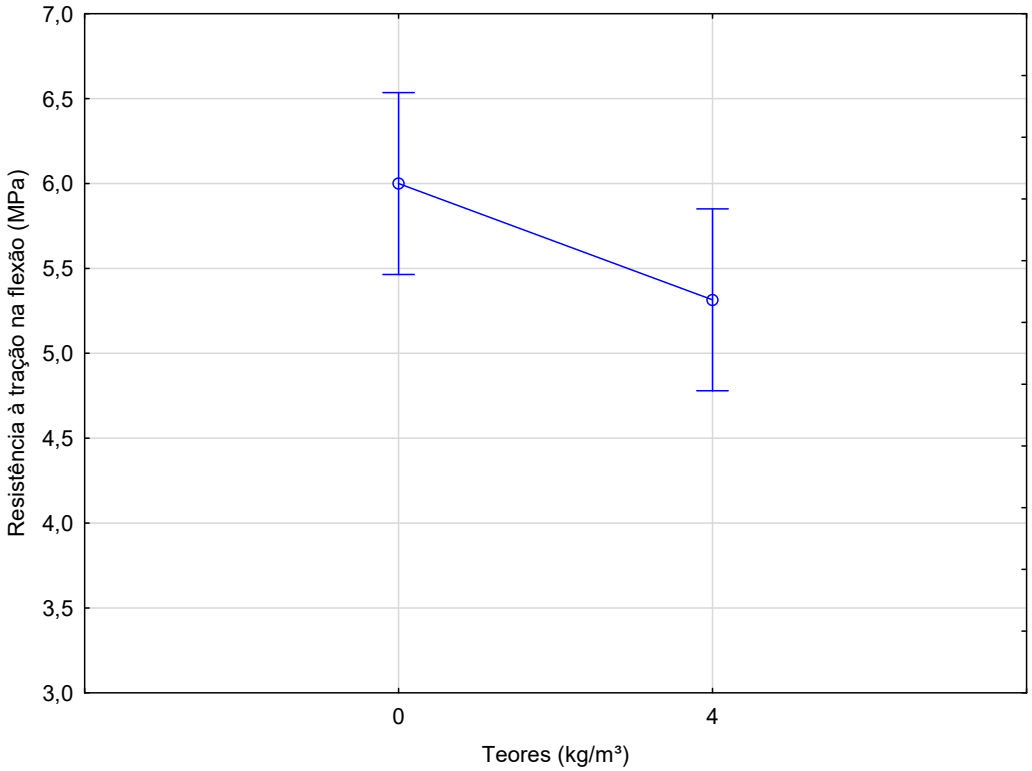
Fonte: Autores

3. RESULTADOS

3.1 Resistência à tração na flexão

A Figura 6 mostra a influência dos teores de adição da macrofibra frente à resistência à tração na flexão. Tal figura foi obtida através dos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos traços estudados, na idade de 28 dias, na análise de variância (ANOVA).

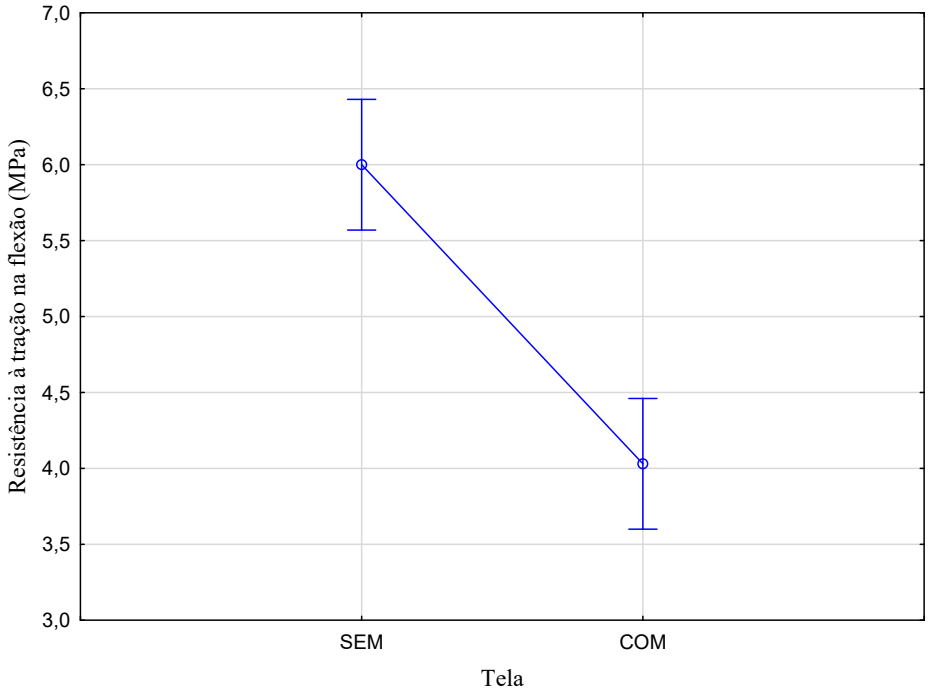
Figura 6: Efeito do teor de macrofibra na resistência à tração na flexão nos concretos



Fonte: Autores

De acordo com o gráfico, o teor de 4 kg/m³ mostra-se significativo, mesmo este tendo reduzido a resistência à tração na flexão em 11,33%, diminuiu também o surgimento de fissuras pronunciadas. A Figura 7 mostra a influência da tela frente à resistência à tração na flexão dos concretos.

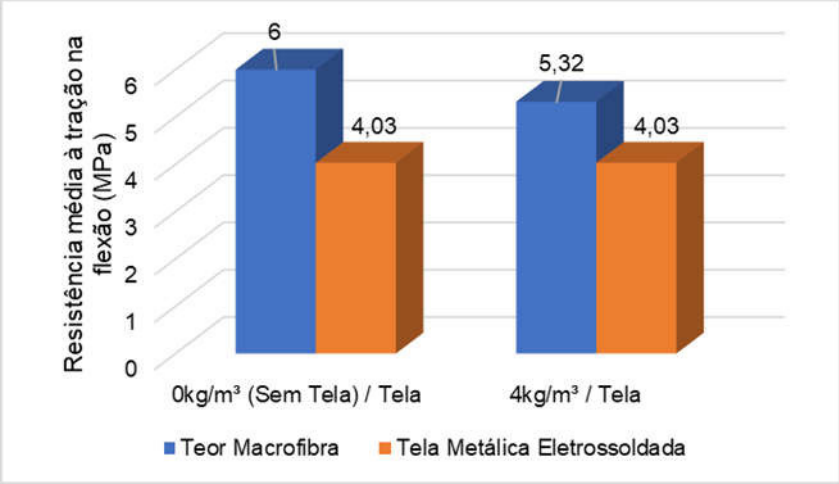
Figura 7: Efeito da tela metálica na resistência à tração na flexão nos concretos



Fonte: Autores

A partir da figura, pode-se notar a diferença de resistência entre as placas de concreto com tela e sem a tela, no qual as sem tela mostraram-se superiores, apresentando uma resistência 32,83% maior. Podemos associar a baixa resistência das placas com a tela metálica devido ao fato de que pode ter ocorrido falha de aderência entre o concreto e a mesma, em função do efeito ocasionado pela exsudação interna do compósito, promovendo a formação de água na interface inferior tela/matriz cimentícia. A Figura 8 apresenta a resistência à tração na flexão comparando-se os teores de macrofibra com o uso da tela.

Figura 8: Efeito da resistência à tração na flexão comparando-se os teores de macrofibra com o uso da tela



Fonte: Autores

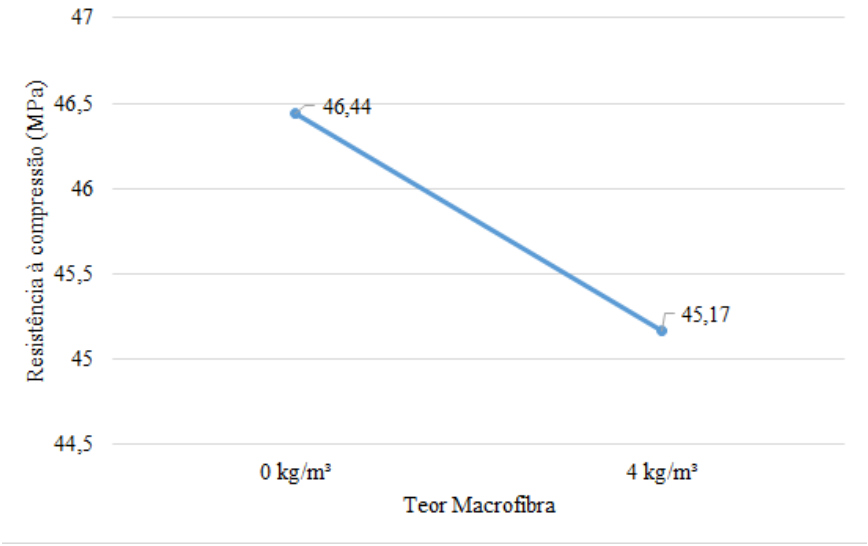
Durante a execução do ensaio foi possível notar que, as placas com a tela mesmo sem apresentarem fissuras aparentes tinham seu ensaio finalizado, acontecendo o mesmo para as placas com a macrofibra. Ao surgirem microfissuras internas o equipamento já apresentava como finalizado o ensaio. Já as placas sem tela tinham seus ensaios finalizados apenas quando a peça apresentava ruptura total.

A macrofibra tem como objetivo absorver as deformações e criar pontes de tensões, o que faz com que a placa não sofra ruptura nem tenha grandes fissuras, apenas microfissuras. A partir do gráfico pode-se dizer então, que a tela metálica teve desempenho inferior a todos os teores de macrofibra analisados neste trabalho.

3.2 Resistência à Compressão Uniaxial

A análise dos resultados buscou avaliar a influência dos diferentes teores de adição da macrofibra de polipropileno na resistência à compressão dos concretos. Na Figura 9, pode-se avaliar a queda de resistência à compressão entre os diferentes teores de adição.

Figura 9: Efeito da resistência à tração na flexão comparando os teores de macrofibra com o uso da tela



Fonte: Autores

Através da análise do gráfico pode-se observar que a adição de macrofibra promoveu um decréscimo na resistência à compressão, tal fato era esperado, pois as macrofibras não exercem influência significativa nesta propriedade do concreto. De acordo com Hsie, Tu e Song (2008), para a compressão, comparando com concreto simples, adicionar fibras de polipropileno a 3 kg/m³, 6 kg/m³ e 9 kg/m³ pode aumentar 4,65%, 9,12% e 13,24%, respectivamente. Tal contradição nos resultados pode partir do fato de que, ao serem moldados os corpos de prova, grandes porções de macrofibra podem ter ficado aglomeradas na matriz do compósito, levando à fragilidade de certos pontos no momento da ruptura no ensaio.

4. CONCLUSÕES

Em relação à resistência à tração na flexão, a tela mostrou-se inferior aos demais teores analisados, por ser um método de difícil execução, no qual é preciso um cuidado especial para que a mesma não seja deslocada na hora da concretagem e, considerando que esta foi executada em condições ideais de laboratório, a tendência é de que quando executada em obra, o desempenho da tela possa ser pior. O teor de 0 kg/m³ mostrou uma resistência maior, porém durante o ensaio o equipamento levou estas placas até a completa ruptura, diferentemente das placas com tela metálica e macrofibra, às quais ao surgirem microfissuras internas já tinham seu ensaio encerrado.

Analisando os resultados, é possível afirmar que o teor de 4 kg/m³ de macrofibra apresenta o melhor desempenho como reforço para pisos. A macrofibra mostrou-se eficaz na criação de pontes de tensões, fazendo com o que as placas não sofressem rupturas, sequer fissuras externas. Tal fato deve-se à capacidade da macrofibra absorver deformações sem sofrer danos, reduzindo o módulo de deformação do concreto, o que permite ao mesmo um melhor desempenho ao receber carregamentos.

5. REFERÊNCIAS

ALLEM, P. M.; BRIGIDO, J. S.; VARGAS, A.. **Estudo do efeito da macrofibra de polietileno e microfibra de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto geopolimérico.** Santa Catarina, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 30:** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

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

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 12142:** Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. 2010.

CAMARGO, Maria de Fátima Santos**. Piso à base de cimento: Caracterização, execução e patologias.** Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GRANATO, J. E.; POLIDORO, G.. **Reforço secundário de proteção mecânica sobre impermeabilização utilizando macrofibra sintética.** São Paulo.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

HSIE, M.; TU, C.; SONG, P.S. **Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete**. 2008.