

ANÁLISE DOS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE POLIPROPILENO

Allana Ribeiro Mendes¹, Elisabet Gabrieli Fernandes Gasques², Matheus Augusto Basso³, Romel Dias Vanderlei⁴

¹Engenheira Civil, Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá – UEM, allanarmendes@hotmail.com,

²Engenheira Civil, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Maringá – UEM, elisabet.gasques@gmail.com,

³Acadêmico do curso de Engenharia Civil, pela Universidade Estadual de Maringá – UEM, m.augustobasso@gmail.com,

⁴Orientador, Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá – UEM, rdvanderlei@uem.br

RESUMO

Nas últimas décadas a engenharia civil vem se desenvolvendo tecnologicamente no que tange a práticas construtivas e desenvolvimento de materiais de construção incorporados a tecnologia urbana. Neste contexto, com o intuito de contribuir na melhoria do comportamento dos materiais cimentícios, evidencia-se a necessidade de se estudar a influência das adições de fibras nos compósitos cimentícios. O presente trabalho buscou avaliar os compósitos cimentícios com adição de fibras de polipropileno (FPP) quanto as propriedades no estado fresco, referente ao índice de consistência e no estado endurecido, quanto a resistência à compressão e à tração na flexão. A pesquisa consistiu em produzir compósitos com diferentes teores de adições, sendo de 0%, 0,3%, 0,5% e 0,7% de fibras de polipropileno em relação ao volume do compósito. As amostras foram testadas tanto no estado fresco, quanto em seu estado endurecido, e seus resultados foram analisados estatisticamente. Através dos resultados obtidos constatou-se que ambos os teores apresentaram reduções no desempenho mecânico, porém o teor de 0,3% de FPP, ainda que com diminuição foi o que apresentou os melhores resultados. Por meio deste estudo produziu-se um material cimentício com adição de fibras de polipropileno, evoluindo na tecnologia do concreto e adequando o material a nova percepção científica tecnológica no desenvolvimento de compósitos cimentícios.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras de polipropileno; Compósitos cimentícios com adição de fibras; Propriedades mecânicas.

1 INTRODUÇÃO

Os compósitos de polímeros segundo Rahman e Putra (2019) são produtos resultantes da combinação de diferentes materiais, em que ao menos um deles é a matriz composta de polímeros e o outro é o reforço composto por fibras. Dessa união resulta em compósitos de alto desempenho com propriedades físicas e químicas que com um único material seria difícil de se alcançar. “O desenvolvimento de compósitos cimentícios avançados visa o alcance de propriedades não atingidas quando do uso de materiais convencionais. Para tal, altera-se a composição dos concretos comumente utilizados, os processos de dosagem, constituintes da mistura e cura” (PACHECO *et al.*, 2016, p. 2). Nota-se uma crescente realização de pesquisas desses compósitos cimentícios avançados, com o intuito de utilizar esses materiais para fins comerciais. Na construção civil, Parveen *et al.* (2017) alegam que os materiais cimentícios são utilizados com frequência e, mesmo assim, estes materiais apresentam certa facilidade na formação de fissuras. Esses pontos de fragilidade surgem dentro de sua microestrutura durante seu processo de confecção e com o tempo podem evoluir para o fracasso da estrutura. Com o intuito de melhorar as características dos compósitos cimentícios, as adições de fibras em matrizes cimentícias vêm ao encontro as técnicas de reforço de compósitos poliméricos e cimentícios.

Segundo Ferreira *et al.* (2018) os compósitos cimentícios reforçados com fibras são geralmente caracterizados por maior tração e resistência à flexão, comportamento pós-fissurado mais dúctil e desempenho de durabilidade superior, pois as fibras promovem o chamado "Efeito de ponte" através das aberturas de fissuras e apresentam uma resposta melhor no ramo pós-pico da curva tensão-deformação. Este efeito é controlado por vários

parâmetros relevantes, como a geometria da fibra, forma, dosagem, orientação e distribuição dentro da matriz, propriedades mecânicas das fibras e interação de ligações entre fibras e matriz cimentícia.

Segundo Bentur e Mindess (2005) a produção das fibras de polipropileno é devido a resina de polipropileno homopolímero com distintas propriedades e nos mais diversos tamanhos e formas. Em razão disso, as fibras de polipropileno são classificadas em dois tipos, conforme sua geometria: fibriladas e multifilamentos. O tipo fibrilada tem como aspecto uma malha de fios finos, já a do tipo de multifilamentos apresentam fios com comprimentos padronizados. Os autores ressaltam que o efeito de intertravamento é aperfeiçoado pela ligação otimizada da estrutura da malha fibrilada com a matriz cimentícia.

O uso e aplicação de fibras sintéticas de acordo com Rahman e Putra (2019) é necessário na manufatura de compósitos de alto desempenho devido as suas propriedades serem superiores do que as das fibras naturais. “Entre as fibras usadas para reforço de materiais cimentícios, o uso de fibras sintéticas (poliméricas), vem ganhando importância, com destaque especial às de polipropileno, extensivamente utilizadas” (LUCENA, 2017, p. 30).

Vasconcelos (2012) realizou uma pesquisa com a utilização de fibras de polipropileno, na qual foram produzidos corpos-de-prova de concreto reforçados com fibras de aço e de polipropileno, com a intenção de analisar as propriedades mecânicas (tração na flexão, compressão axial, e tenacidade na flexão) do material. Os teores de adição ao concreto foram de fibras de aço nas dosagens 20, 30 e 40kg/m³ e fibras de polipropileno nas dosagens 3, 4,5 e 6kg/m³. Por meio dos resultados foi possível constatar que houve melhoras em relação a tenacidade. O resultado do ensaio de compressão axial aos 28 dias no corpo de prova referencial foi de 34,9 MPa. Já nos concretos com adição, que apresentaram melhores desempenhos, foram nos teores de 40kg/m³ (aço) com 31,1 MPa e 3kg/m³ (polipropileno) com 30,8 MPa. Por meio deste ensaio constatou-se que não houve ganhos de compressão significativos quando da incorporação de fibras. Já o resultado do ensaio de tração na flexão axial aos 28 dias no corpo de prova referencial foi de 3,8 MPa. Nos concretos com adição, que apresentaram melhores desempenhos, foram os teores de 40kg/m³ (aço) com 4,7 MPa e 4,5kg/m³ (polipropileno) com 5,3 MPa. Por meio deste ensaio constatou-se o tipo e volume de fibra interfere no aumento da resistência à flexão, sem contar que as fibras exercem efeito maior sobre a resistência à flexão do que na resistência a compressão. Além disso, foi possível observar que a adição de fibras de polipropileno apresentou valores superiores aos de aço. No ensaio de tenacidade aos 28 dias, nos teores de 40kg/m³ (aço) com 2,23 MPa de fator de tenacidade e 4,5 kg/m³ (polipropileno) com 1,22 MPa, foi possível perceber que a adição com fibras de aço apresentou valores superiores que a de polipropileno. O autor resalta que este resultado se deve a uma maior força de arrancamento nas fibras de aço do que nas fibras de polipropileno.

Segundo Ardanuy, Claramunt e Toledo Filho (2015) a principal vantagem do reforço de fibra é o comportamento do compósito após o começo da fissuração pois, as fibras fazem a ponte entre as rachaduras da matriz e transferem as cargas. A melhora na tenacidade favorece o uso mais intensivo de tais compósitos na construção civil. O reforço da matriz cimentícia por fibra tem sido utilizado, principalmente para aplicação em pavimentos rígidos, pisos industriais projetados, pré-moldados, áreas de piscinas, tanques e reservatórios, entre outros.

Todos esses fatores motivaram o desenvolvimento desta pesquisa, buscando aumentar o conhecimento e contribuir na melhora do comportamento dos materiais cimentícios frente as suas propriedades mecânicas. O presente trabalho propôs avaliar os efeitos da adição de fibras de polipropileno (FPP) em compósito cimentício, quanto as propriedades no estado fresco e endurecido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Serão apresentados a seguir os materiais que foram utilizados e os métodos realizados para se atingir o objetivo geral do trabalho.

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados foram: cimento, agregado miúdo, água, fibras de polipropileno e aditivo superplastificante ADVA® 458. A seguir têm-se os detalhes de cada material empregado na pesquisa.

2.1.1 Cimento

O cimento utilizado nos ensaios foi o CPV-ARI (Cimento Portland de Alta resistência inicial) da marca Cauê – InterCement Brasil. A escolha foi baseada no grau de pureza mais elevado, contendo apenas 5% de filler, conseguindo desta forma, diminuir a influência de outras adições já inseridas no produto comercial. As características do cimento foram obtidas junto ao fabricante e estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados características físicas e químicas do cimento CPV - ARI

Ensaio	Componentes/Propriedades	Média	Desvio máximo	Limites normativos
Físicos e Mecânicos	Resistência à compressão – 1 dia (MPa)	21,8	0,77	≤ 14
	Resistência à compressão – 3 dias (MPa)	37,1	0,56	≥ 24
	Resistência à compressão – 7 dias (MPa)	42,0	0,69	≥ 34
	Blaine (cm ² /g)	4,79	121,74	-
	Finura (%) # 200	0,3	0,0	≤ 12
	Finura (%) # 325	1,5	0,22	Não aplicável
	Tempo de pega (min) Início	255	13,62	≥ 60
	Tempo de pega (min) Fim	309	14,70	≤ 600
Químicos	Perda ao fogo (%)	5,5	9,26	≤ 6,5
	MgO (%)	5,0	0,52	≤ 6,5
	SO ₃ (%)	3,1	0,10	≤ 4,5
Massa Específica (g/cm ³)		3,04		

Fonte: Intercement (2019)

2.1.2 Agregado Miúdo

Foi utilizado agregado miúdo de origem quartzosa, classificada como areia média, proveniente de fornecedores da região de Maringá – PR.

2.1.3 Água

Foi utilizada água da rede pública de abastecimento (SANEPAR) da cidade de Maringá -PR.

2.1.4 Fibras de Polipropileno

As fibras de polipropileno utilizadas neste trabalho foram produzidas e fornecidas pela empresa BRASILIT Saint-Gobain. De acordo com o fabricante, os filamentos de

polipropileno (PP) picados são obtidos por processo de fiação de uma resina de polipropileno seguindo por um processo de estiramento controlado para alcançar propriedades físicas e mecânicas desejáveis. A Tabela 2 apresenta as características físicas da fibra de polipropileno de alta tenacidade produzidas pela empresa Saint-Gobain do Brasil (Brasilit), as quais foram fornecidas para este estudo.

Tabela 2: Características da fibra de polipropileno

	Especificação	Valores típicos
Comprimento	10 mm	
Diâmetro médio de filamentos picados (dtex)	1,0 a 1,3	1,2 dtex (~12,5 µm)
Densidade (g/cm ³)		~ 0,905
Tenacidade (cN/dtex)	Min. 8,5	9 a 11
Alongamento à ruptura (%)	Max. 25	10 a 22
Umidade (%)	Max. 2,5	1,5

Fonte: Brasilit (2015)

2.1.5 Aditivo Superplastificante

A adição das fibras de polipropileno reduz significativamente a trabalhabilidade da mistura fresca do compósito cimentício. Com o intuito de melhorar a trabalhabilidade, foi adicionado às misturas o aditivo superplastificante ADVA® 458, fabricado pela empresa GRACE. As propriedades do superplastificante são descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades do superplastificante

Produto	Descrição	Base Química	Aspecto/ cor	Dosagem recomendada (% SPC)	Massa Específica g/cm³ (NBR 10908)
ADVA® 458	Dispersante para concreto de ultra alto desempenho (UHPC)	Policarboxilato	Líquido alaranjado	0,40% a 1,5%	1,075 - 1,115

Fonte: Grace - ADVA® 458

2.2 MÉTODOS

A seguir serão apresentados os métodos utilizados para se o desenvolvimento da presente pesquisa.

2.2.1 Caracterização do Agregado Miúdo

Para a caracterização da areia foram realizados os seguintes ensaios, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Ensaios de caracterização da areia

Ensaios	Normativas
Massa Específica	ABNT NBR NM 52:2009
Massa Unitária Solta	ABNT NBR NM 45:2006
Massa Unitária Compactada	ABNT NBR NM 45:2006
Granulometria	ABNT NBR NM 248:2003

Fonte: Dados da pesquisa

2.2.2 Definição dos traços

Foram definidos quatro traços para o desenvolvimento desta pesquisa, sendo o traço padrão utilizado para a produção dos compósitos cimentícios a proporção 1:3, ou seja, uma parte de cimento para três partes de areia, em massa. A escolha deste traço foi baseada na ABNT NBR 7215:2019 – “Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos”, e em demais trabalhos que partiram deste traço referencial, como Capelin (2018).

Para determinar a relação água/cimento foi realizado o ensaio de índice de consistência. Escolheu-se uma relação água/cimento que apresentou uma trabalhabilidade adequada, tanto para a mistura de referência (sem adição de fibras) quanto para a mistura contendo o maior teor de adição de fibras de polipropileno (0,7% de FPP). Os dados para a dosagem do compósito cimentício de referência são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Traço em massa do compósito cimentício de referência

Compósito	Cimento	Areia	a/c	Ccimento (kg/m ³)
Ref.	1	3	0,48	514,06

Fonte: Dados da pesquisa

Nesta etapa foram confeccionados compósitos cimentícios com os seguintes teores de adição de FPP: 0,3, 0,5 e 0,7% em relação ao volume do compósito. Os valores de dosagens são apresentados na Tabela 8. Estes valores foram selecionados com base no estudo de Carnio (2009) que mostrou que o teor ótimo de adição de FPP de 0,5%.

O consumo de aditivo foi determinado por meio do ensaio de índice de consistência, que fixou a relação água/cimento com o intuito de manter os valores de índice de consistência com a adição do aditivo superplastificante. Os incrementos de fibras de polipropileno reduziram consideravelmente a trabalhabilidade da mistura. O traço para confecção dos compósitos cimentícios reforçados com fibras de polipropileno são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Traço do compósito cimentício com adição de FPP

Compósito	Cimento	Areia	FPPa (%)	Dosagens (kg/m ³)	FPP	Aditivo (%)	a/c
0,3% FPP	1	3	0,3	2,72		0,2	0,48
0,5% FPP	1	3	0,5	4,53		0,4	0,48
0,7% FPP	1	3	0,7	6,34		0,6	0,48

^a Em relação ao volume do compósito

Fonte: Dados da pesquisa

2.2.3 Ensaio de Índice de Consistência dos compósitos

O ensaio realizado no estado fresco foi o índice de consistência, que tem por finalidade avaliar a trabalhabilidade das argamassas por meio da medida do espalhamento do material. O ensaio seguiu o procedimento de acordo com o NBR 7215 (ABNT, 2019a).

2.2.4 Caracterização do Desempenho Mecânico dos compósitos

Os compósitos foram caracterizados quanto as propriedades mecânicas no estado endurecido em relação a resistência à compressão axial de acordo com a ABNT NBR 7215:2019. Neste procedimento experimental foram ensaiados por traço, oito (8) corpos de prova por idade no formato cilíndrico (50x100) mm. As idades de rompimento foram de 28 e 56 dias. Por fim, os corpos de prova foram caracterizados quanto a resistência à tração na flexão. Os procedimentos de execução foram de acordo com a ABNT NBR 13279:2005.

Neste procedimento experimental foram ensaiados por traço, seis (6) corpos de prova na idade de 28 dias, no formato prismático (40x40x160) mm. O ensaio foi executado na máquina Universal (INSTRON/EMIC 23-600). As informações supracitadas encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Ensaios no estado endurecido

	Resistência à Compressão	Resistência à tração na flexão
Procedimento Normativo	ABNT NBR 7215:2019	ABNT NBR 13279:2005
Corpo de prova (mm)	Cilíndrico: (50x100)	Prismático: (40x40x160)
Idade (dias)	28	28
Quantidade CP por idade	8	6

Fonte: Dados da pesquisa

2.2.5 Critérios de análises estatísticos de resultados

Para verificar a influência dos fatores que afetam as propriedades das amostras, foi realizada uma análise de Variância (ANOVA one-way) e teste de Tukey. Os testes estatísticos foram realizados considerando um nível de confiança de 95%, sendo a ANOVA usada para avaliar a relevância da adição de diferentes teores de fibras de polipropileno nas propriedades dos compósitos cimentícios. O teste de Tukey por sua vez foi realizado para investigar quais os fatores foram responsáveis pelas alterações em tais propriedades. Foi utilizado o software estatístico STATISTICA 10.0 para a realização da análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA

Na Tabela 8 consta os resultados dos ensaios de caracterização granulométrica da areia. E por meio da Figura 1 é possível visualizar a curva de distribuição granulométrica juntamente com os limites inferiores e superiores da zona ótima e utilizável.

Tabela 8: Composição granulométrica da areia

Abertura das Peneiras (mm)	Massa retida (%)		Média das massas retidas (%)	Massa retida acumulada (%)	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	Ensaio nº 1	Ensaio nº 2			Limites Inferiores		Limites Superiores	
					Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	7
4,75	0,2	0,6	0,4	0,4	0	0	5	10
2,36	3,8	3,6	3,7	4,1	0	10	20	25
1,18	14,1	14,6	14,4	18,4	5	20	30	50
0,6	22,3	23,2	22,7	41,2	15	35	55	70
0,3	43,5	41,7	42,6	83,7	50	65	85	95
0,15	15,4	15,9	15,6	99,4	85	90	95	100
Fundo	0,8	0,5	0,6	100				
Módulo de finura				2,47	Dimensão máxima característica (mm)			2,36

Fonte: Dados da pesquisa

Os limites inferior e superior da zona granulométrica foram estipulados conforme a ABNT NBR 7211:2009.

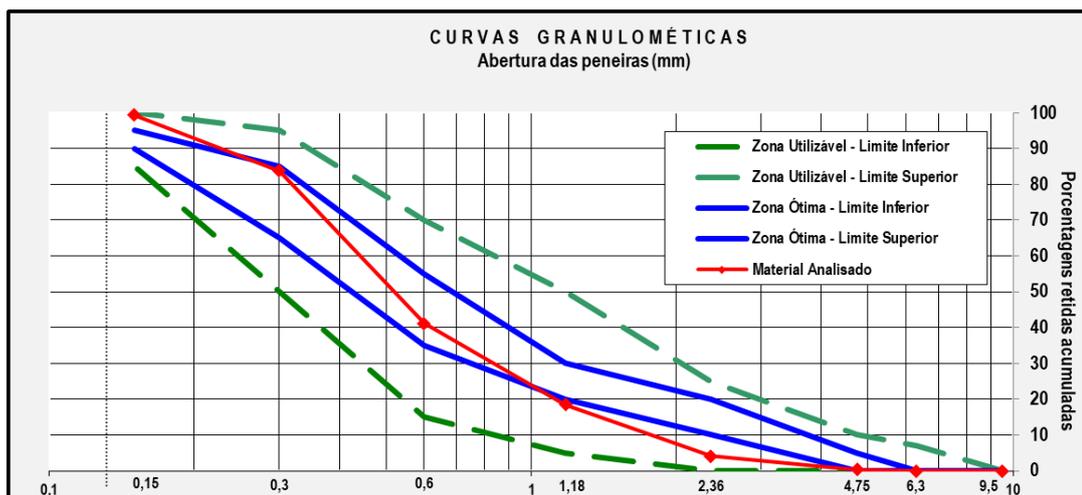


Figura 1: Curvas granulométricas do agregado miúdo
Fonte: Dados da pesquisa

Na Tabela 09 consta os resultados dos ensaios de caracterização da areia e suas respectivas normativas.

Tabela 9: Resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Normativas	Resultados
Massa Específica	ABNT NBR NM 52:2009	2,64 g/cm ³
Massa Unitária Solta	ABNT NBR NM 45:2006	1,49 g/cm ³
Massa Unitária Compactada	ABNT NBR NM 45:2006	1,61 g/cm ³
Dimensão máxima	ABNT NBR NM 248:2003	2,36 mm
Módulo de finura	ABNT NBR NM 248:2003	2,47

Fonte: Dados da pesquisa

3.2 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

Os compósitos foram caracterizados em seu estado fresco, em relação ao índice de consistência, sendo possível verificar uma redução nos valores dos índices. A Tabela 10 e o Gráfico 1 apresentam os valores dos índices de consistência obtidos nos ensaios.

Tabela 10: Valores dos índices de consistência (\pm desvio padrão)

Amostras	Índice de consistência (mm)
Ref	244,80 \pm 2,39
0,3% FPP	231,75 \pm 1,26
0,5% FPP	218,61 \pm 6,04
0,7% FPP	205,39 \pm 4,09

Fonte: Dados da pesquisa

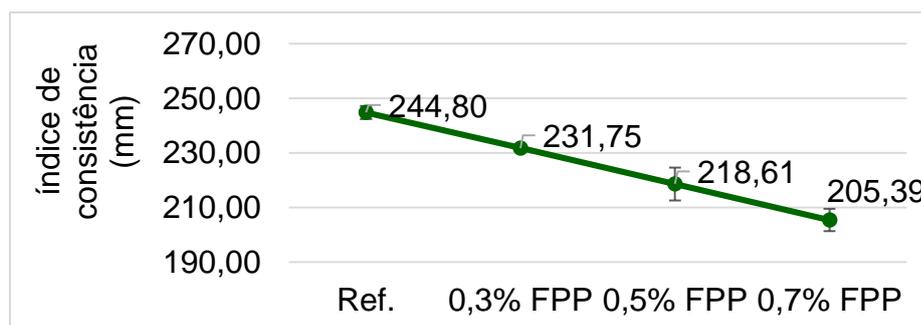


Gráfico 1: Índices de Consistência

Fonte: Dados da pesquisa

A redução da trabalhabilidade também é verificada em outras pesquisas, pois de acordo com Metha e Monteiro (2014), a utilização de fibras em misturas cimentícias reduz de maneira considerável a trabalhabilidade da mesma. Essa diminuição é influenciada diretamente pelos teores de adição volumétrica das fibras à matriz cimentícia.

3.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (ABNT NBR 7215:2019)

A Tabela 11 e o Gráfico 3 apresentam os resultados do ensaio de resistência à compressão axial obtidos aos 28 dias.

Tabela 11: Valores médios (\pm desvio padrão) referente a Resistência à Compressão axial

Amostras	Resistência à Compressão (MPa)
Ref.	34,68 \pm 3,70
0,3%FPP	27,58 \pm 3,02
0,5% FPP	20,27 \pm 2,38
0,7% FPP	20,01 \pm 1,29

Fonte: Dados da pesquisa

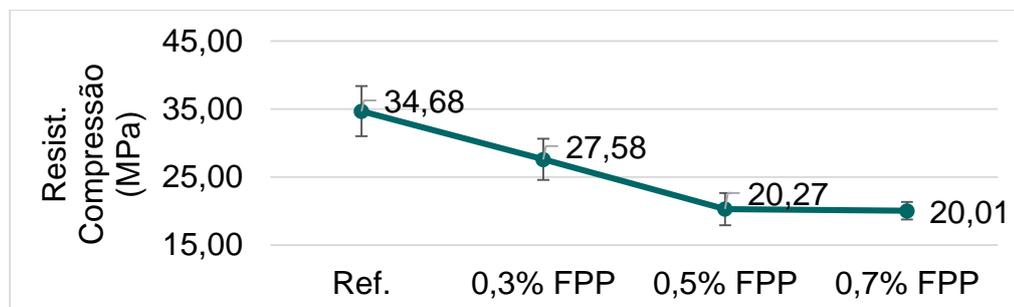


Gráfico 3: Resistência à Compressão Axial aos 28 dias

Fonte: Dados da pesquisa

Pode ser constatado no Gráfico 3, em que todos os compósitos reforçados com fibras, independentemente de teores, obtiveram valores de resistência à compressão inferiores ao valor do compósito cimentício de referência. Mheta e Monteiro (2014) afirmam que a resistência à compressão não é a mais importante contribuição do reforço com fibras no concreto. Na pesquisa desenvolvida por Oliveira (2018), também foi verificado uma redução da resistência à compressão em todos os teores de adição das fibras de polipropileno, tanto a micro quanto a macro fibra de polipropileno.

3.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (ABNT NBR 13279:2005)

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão obtidos aos 28 dias estão expressos na Tabela 12 e no Gráfico 4.

Tabela 12: Valores médios (\pm desvio padrão) referente a Resistência à Tração na Flexão

Amostras	Resist. Tração na Flexão (MPa)
Ref	6,06 \pm 0,45
0,3%FPP	5,63 \pm 0,26
0,5% FPP	4,55 \pm 0,30
0,7% FPP	4,47 \pm 0,37

Fonte: Dados da pesquisa

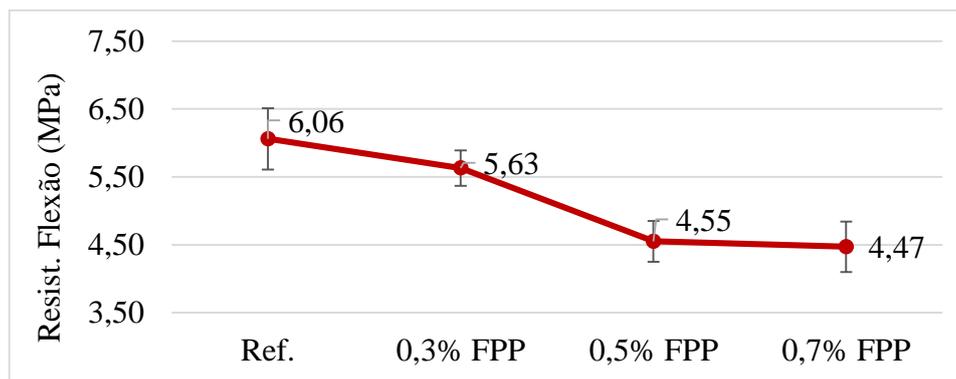


Gráfico 4: Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias
Fonte: Dados da pesquisa

Por meio da Figura 4 constata-se que a adição de fibras de polipropileno reduziu a resistência à tração na flexão. Com os resultados obtidos na pesquisa experimental, pode-se constatar que dentre as propriedades investigadas, a resistência à tração foi a menos afetada pela adição de FFP.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA COM OS DADOS EXPERIMENTAIS

Na Tabela 13 consta a análise estatística realizada através de uma análise de variância (ANOVA), com as informações obtidas nos ensaios laboratoriais. A análise foi realizada para averiguar se houve variação significativa entre os valores do teor ótimo de FFP, além de auxiliar na definição do melhor teor a ser utilizado como adição em compósitos cimentícios.

Tabela 13: Análise de variância (ANOVA) com os dados experimentais

Variável	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	P-valor*	Resultado	Propriedade
Teor de Polipropileno	5178	3	1726	114,21	0,000	Rejeita-se a hipótese – Efeito significativo	Índice de Consistência
Erro	302	20	15				
Teor de Polipropileno	1318,61	3	439,54	57,86	0,000	Rejeita-se a hipótese – Efeito significativo	Resistência à Compressão
Erro	250,66	30	7,60				
Teor de Polipropileno	11,31	3	3,77	29,93	0,000	Rejeita-se a hipótese – Efeito significativo	Resistência à Tração
Erro	2,52	20	0,13				

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade (P-valor < 0,05)

Fonte: Dados da pesquisa

Pela ANOVA os teores de fibras de polipropileno influenciam, ao nível de 5% de significância, nas propriedades analisadas durante a fase 3, pois P-valor foi menor que 0,05. Os resultados do teste de Tukey são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Teste de Tukey com os dados experimentais

Teor de Polipropileno	Índice de Consistência	Grupos			
0,7%	205,39	a			
0,5%	218,61		b		
0,3%	231,75			c	
Ref	244,80				d

Teor de Polipropileno	Resistência à compressão	Grupos		
0,7%	20,01	a		
0,5%	20,27	a		
0,3%	27,58		b	
Ref	34,68			c
Teor de Polipropileno	Resistência à tração na flexão	Grupos		
0,7%	4,47	a		
0,5%	4,55	a		
0,3%	5,63		b	
Ref	6,06			c

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se na Tabela 14, que referente ao índice de consistência o compósito de referência (grupo d) é superior e diferente significativamente dos demais. Constata-se também entre os demais teores de adição de polipropileno, as médias dos grupos a, b e c são diferentes significativamente entre si e apresentam médias inferiores ao compósito sem adição da fibra.

Em relação às propriedades mecânicas, resistência à compressão e tração, o grupo c apresentou a maior média dentre os demais. O grupo b apresentou o segundo maior valor de resistência à compressão e tração, ou seja, a segunda melhor média, inferior ao grupo c e superior ao grupo a. Os teores 0,5% e 0,7% de fibras de polipropileno (grupo a), são considerados iguais entre si, ou seja, as médias não diferem significativamente entre elas.

Por meio da análise estatística confirmou-se que o teor de adição 0,3% de FPP foi o que apresentou as melhores médias dentre as propriedades analisadas. Dessa forma, este foi o teor de fibra de polipropileno escolhido para ser adicionado nos compósitos cimentícios.

4 CONCLUSÕES

O presente estudo objetivou analisar a influência da adição de fibras de polipropileno em um compósito cimentício. Os resultados obtidos atingiram os objetivos propostos, levando às seguintes conclusões:

Na fase de determinação do teor ideal de adição das fibras de polipropileno concluiu-se que o aumento do teor das fibras reduziu o índice de consistência e, ao analisar estatisticamente, averiguou-se que as diferentes taxas de adição exibiram comportamentos distintos dos compósitos. Ou seja, cada teor de adição de FPP foi capaz de alterar significativamente a consistência das misturas dos compósitos.

Nas propriedades mecânicas houve redução da resistência à compressão nos 3 teores de adição de FPP, mas a redução foi maior nas taxas de adição de 0,5 e 0,7% nas porcentagens de 41,55% e 42,50%, ou seja, reduções elevadas de desempenho mecânico dos compósitos. A resistência à tração na flexão também apresentou redução, porém em menores proporções quando comparada à resistência à compressão. Nessa propriedade as maiores reduções também ocorreram nos teores de adição de 0,5 e 0,7% de FPP nas taxas de 24,92 e 26,24%. Enfim, verificou-se que a resistência mecânica do traço 0,3% FPP apresentou menor diferença percentual em relação a referência (tanto resistência à compressão quanto à tração na flexão) nas taxas de 20,47% e 7,10%, respectivamente. A análise estatística dos resultados obtidos no programa experimental confirmou que o teor de adição de fibras de polipropileno 0,3% foi o que apresentou as menores reduções nos desempenhos mecânicos dos compósitos cimentícios.

REFERÊNCIAS

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction And Building Materials**, v. 79, p.115-128, mar. 2015. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.035>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45** - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro – RJ, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52** - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro – RJ, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215** - Cimento Portland – determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro, 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279** - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fiber reinforced cementitious composites**. New York: Elsevier Applied Science. 2005. 474p.

CARNIO, M. A. **Propagação de trincas por fadiga do concreto reforçado com baixos teores de fibra**. 2009. 145f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

CAPELIN, L. J. **Análise de argamassa cimentícia com adição de fibra de coco e microcelulose cristalina**. 2018. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

FERREIRA, S. R. *et al.* Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement based matrices. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 140, p.183-196, maio 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.016>.

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.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Estrutura, Propriedades e Materiais**. [s.l.]: IBRACON, 2014. p. 751

OLIVEIRA, Tiago Tadeu Amaral de. **Desenvolvimento de um concreto reforçado com fibras (crf) híbridas de polipropileno**. 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, 2018.

PACHECO, F. *et al.* SEM and 3D microtomography application to investigate the distribution of fibers in advanced cementitious composites. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 6, p.824-841, dez. 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952016000600002>.

PARVEEN, S. *et al.* A novel approach of developing micro crystalline cellulose reinforced cementitious composites with enhanced microstructure and mechanical performance. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 78, p.146-161, abr. 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.01.004>.

RAHMAN, R.; PUTRA, S. Z. Firdaus Syed. Tensile properties of natural and synthetic fiber-reinforced polymer composites. **Mechanical And Physical Testing Of Biocomposites, Fibre-reinforced Composites And Hybrid Composites**, p.81-102, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102292-4>.

VASCONCELOS, R. E. **Fratura do concreto reforçado com fibras de aço e de polipropileno em meios normal e agressivo**. 2012. 158 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2012. 158 p.