

ESTUDO DO EFEITO DA MACROFIBRA DE POLIETILENO E MICROFIBRA DE POLIPROPILENO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO GEOPOLIMÉRICO

Jimmi Silveira Brigido (1); Alexandre Vargas (2); Patricia Montagna Allem (3).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) *jimmi_brigido@hotmail.com*, (2) *engalexandrevargas@gmail.com*, (3) *patricia.allem@hotmail.com*

RESUMO

O reforço estrutural realizado através da adição de fibras no concreto (CRF) está cada vez mais usual, tendo por obtenção, melhorias nas propriedades mecânicas destes elementos. No entanto, o cimento Portland usado no concreto convencional é um grande agente poluidor. Diante disso novos materiais cimentícios estão sendo utilizados para o avanço em busca de compósitos alternativos, como é o caso do concreto geopolimérico. Este trabalho busca avaliar a interação entre as fibras de polietileno e polipropileno com concreto geopolimérico, comparadas a uma referência sem incorporação deste reforço. Para isso, foram moldados corpos de prova prismáticos (10x10x35cm) a fim de estudar o comportamento das fibras adicionadas ao material, e submetê-los aos ensaios de resistência à compressão axial e flexão. Após análise dos resultados, verificou-se que a adição das fibras incrementou a resistência a compressão do concreto geopolimérico. No entanto, no que tange a resistência a tração, a adição destas fibras poliméricas, reduziu a capacidade de resistência do material.

Palavras-chave: Concreto geopolimérico, fibras, propriedades mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

A incorporação de fibras no concreto tem sido utilizada há décadas, possuindo uma série de características que tem como objetivo a melhoria das propriedades mecânicas nos compósitos, atuando também no controle da fissuração superficial.

O concreto reforçado com fibras (CRF) pode ser definido como um material feito com cimento Portland, agregados, e fibras descontínuas misturadas. Porém, o cimento Portland, utilizado no processo do concreto convencional é um grande causador de poluição atmosférica, segundo Davidovits (1994), a produção de uma tonelada de clínquer de cimento Portland [...], equivale a 0,95 toneladas de dióxido de carbono. Por isso, o atual cenário tecnológico aliado à sustentabilidade, vem contribuindo com linhas de pesquisas, que visam o desenvolvimento de novos materiais cimentícios

derivados de matérias primas, com o objetivo de reduzir em longo prazo a emissão de CO₂, gerando tentativas de se minimizar impactos ambientais.

Parece, portanto, evidente o interesse de promover o desenvolvimento de sistemas ligantes alternativos que, cumprindo os mesmos objetivos de desempenho, permitam o alívio da pressão sobre o Ambiente e possam integrar uma gama de materiais constituintes (agregados) mais vasta e menos exigente. (PINTO, 2006).

Os cimentos geopoliméricos surgem como uma alternativa inovadora e bastante promissora, uma vez que, comparados com o cimento Portland, sendo produzidos a partir de resíduos, apresentam baixas emissões e elevada durabilidade (COSTA, 2012).

Em 1978, descreve Correia (2011) Joseph Davidovits introduziu o termo “geopolímero”, tendo patenteado o produto das suas investigações sobre a polimerização do metacaulim. Nematollahi (2014 apud MENGER, 2015) diz que o geopolímero é sintetizado a partir de materiais de origem geológica (por exemplo, metacaulim) ou sub-produtos industriais, tais como cinzas volantes e escórias que são ricos em sílica e alumina com ativadores alcalinos elevados. Conforme Pinto (2004), em termos gerais, todos os materiais que tenham sofrido um tratamento térmico na sua gênese são potencialmente aptos para a ativação alcalina: pó de tijolo, vidro moído, materiais cerâmicos, escombros de concreto, cinzas de queima (carvão ou nafta) ou incineração, cinzas vulcânicas, escórias de alto-forno, metacaulins [...]. É enorme a variedade de produtos que podem ser utilizados nesta reação base, o que encontra explicação no fato de serem os aluminossilicatos o grupo de compostos predominante na litosfera.

Os geopolímeros são resistentes em contato com ácidos ou com fogo, possuem propriedades zeolíticas, são de grande utilidade para contenção de resíduos tóxicos e endurecem rapidamente a baixas temperaturas. (DAVIDOVITS, 2002 apud SANTA, 2012).

As fontes de produção do clínquer são preservadas, e há menor consumo de energia e emissão de dióxido de carbono (FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ; PALOMO, 2005). Portanto, através da geopolimerização são desenvolvidas características parecidas às do cimento Portland, com o diferencial de apresentar benefícios econômicos e ambientais, decorrentes do emprego de resíduos industriais e confecção de cimento alternativo.

Assim, neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo a obtenção de estruturas em concreto geopolimérico, com adição de fibras poliméricas, sendo macrofibras de polietileno e microfibras de polipropileno, respectivamente, usadas como elemento de reforço mecânico, submetidas em ensaios de flexão e compressão axial.

2. MATERIAS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi desenvolvido para avaliar experimentalmente o comportamento das propriedades mecânicas do concreto geopolimérico com adições de fibras poliméricas. O traço utilizado no experimento esta apresentado na Tabela 1. O concreto foi produzido no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), localizado no Iparque, da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). O traço de concreto geopolimérico obteve uma relação molar que é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1: Traço utilizado na mistura.

Especificações	Concreto Geopolimérico
Traço	1:1,2:3,8:1,2 (Metacaulim:Silicato:Areia:Brita)
Relação a/agl	0,75
Aditivo	-

Fonte: Autor, 2016.

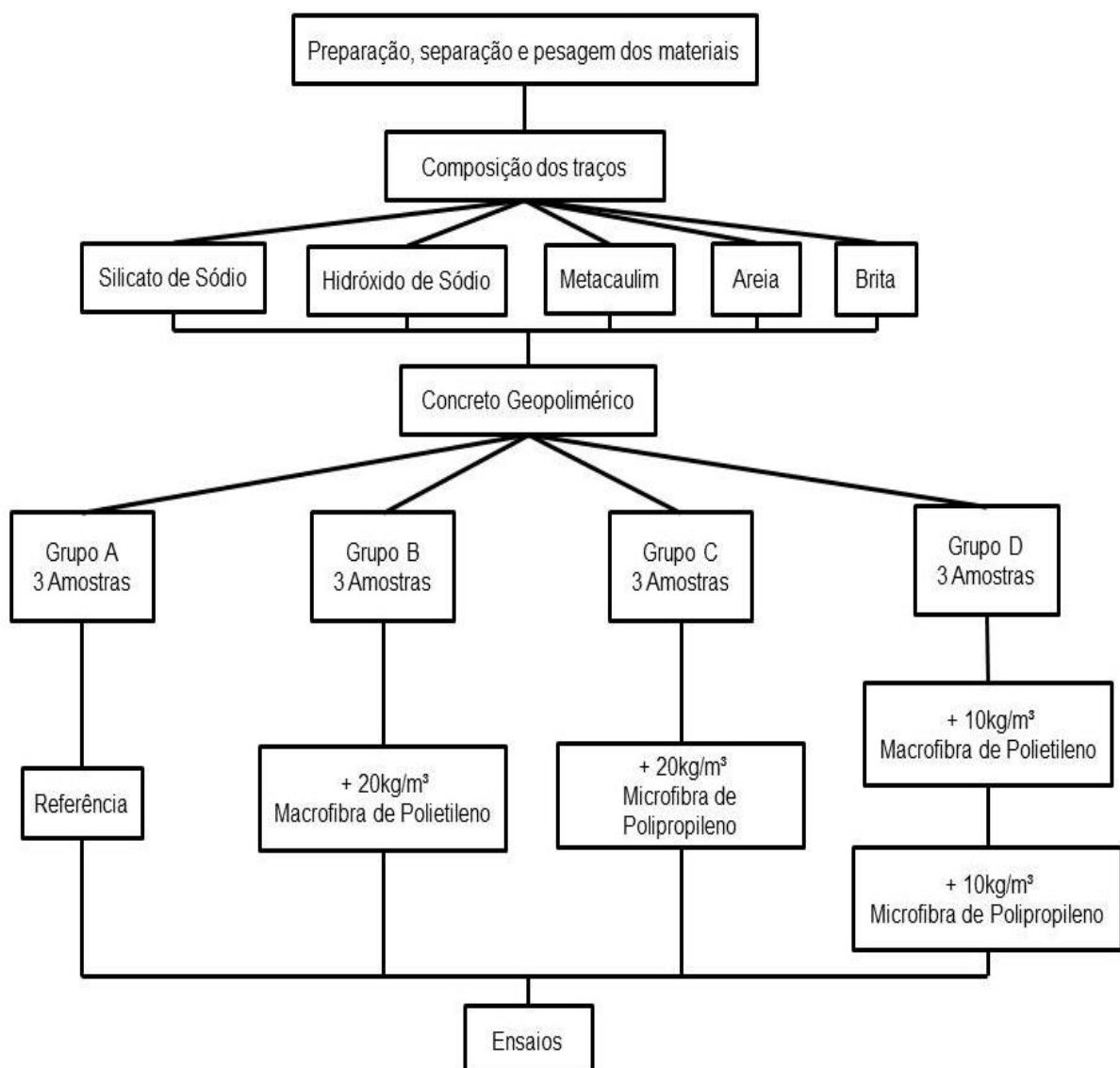
Tabela 2: Relação molar da mistura de geopolímero.

Composição	
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	3,2
$\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,46
$\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$	0,14
$\text{Na}_2\text{OSiO}_2/\text{NaOH}$	1,6
$\text{H}_2\text{O}/\text{MK (g/g)}$	0,75

Fonte: Autor, 2016.

O trabalho corresponde na confecção de 12 vigas de concreto geopolimérico em corpos de prova prismáticos 10x10x35 cm (largura x altura x profundidade) divididas em 4 grupos, compostos cada um por 3 vigas. Conforme programa experimental apresentado na Figura 1, com exceção do grupo A que é referência, cada grupo recebeu adição do reforço com uma relação de 20kg/m³ de concreto. Foram utilizadas respectivamente, polietileno (grupo B), polipropileno (grupo C) e polietileno + polipropileno (grupo D).

Figura 1 – Fluxograma do programa experimental.



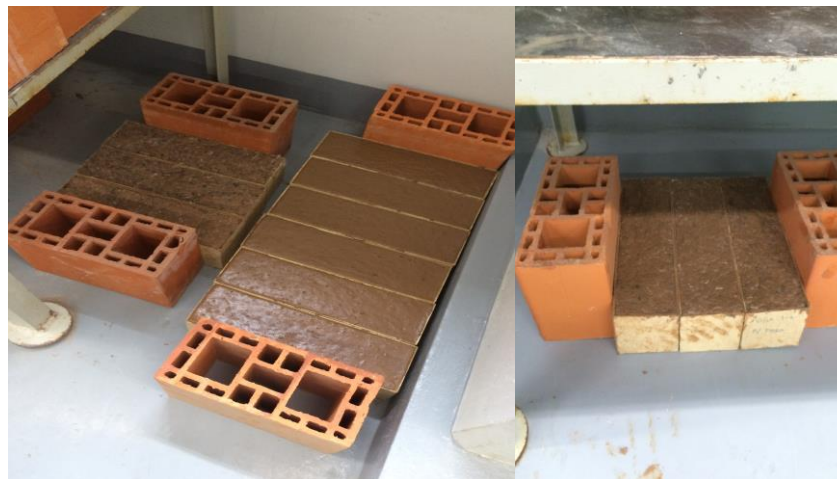
Fonte: Autor, 2016.

Na composição do concreto, foi utilizado hidróxido de sódio em pérolas, da marca *Sigma Aldrich* com 63% de H₂O, silicato de sódio C-325 (BFC70), para a ativação alcalina fornecido pela *Manchester Química S.A.*, metacaulim como precursor sólido, fornecido pela *Metacaulim do Brasil*, areia seca em estufa, peneirada e padronizada, com diâmetro máximo do agregado (D,máx) de 2,40mm e brita n.0 com D,máx=9,5mm, ambos materiais disponibilizados pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UNESC.

Para o processo de execução do concreto geopolimérico, iniciou-se misturando o hidróxido de sódio ao silicato de sódio, produzindo uma solução alcalina, após a mistura, foi colocado em uma argamassadeira acrescentando em seguida o metacaulim. Depois que o material apresentou um composto homogêneo, foi então adicionado areia e pedrisco até atingir a uniformidade e por fim as fibras eram inseridas ao concreto com exceção do grupo A (referência).

Os 12 corpos de prova prismáticos foram moldados (Figura 2) seguindo os padrões da norma ABNT NBR 5738 (2003). Sendo que o processo de cura é diferente em relação ao método convencional.

Figura 2 – Corpos de prova concretados (10 x 10 x 35 cm).



Fonte: Autor, 2016.

Segundo a NBR 5738 (2003), “[...] todos os corpos-de-prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água”. Porém o geopolímero é um compósito que não leva água em sua composição, pois

a ativação alcalina não depende da hidratação da matriz de silicato de cálcio, podendo então ser curado ao ar livre, sem riscos de retração por secagem.

Após moldagem, os CP's foram armazenados em um local com temperatura ambiente (Figura 3), para o processo de secagem e endurecimento até os 28 dias, data na qual, foi prevista para a realização dos ensaios mecânicos.

Figura 3 – Corpos de prova em processo de cura.

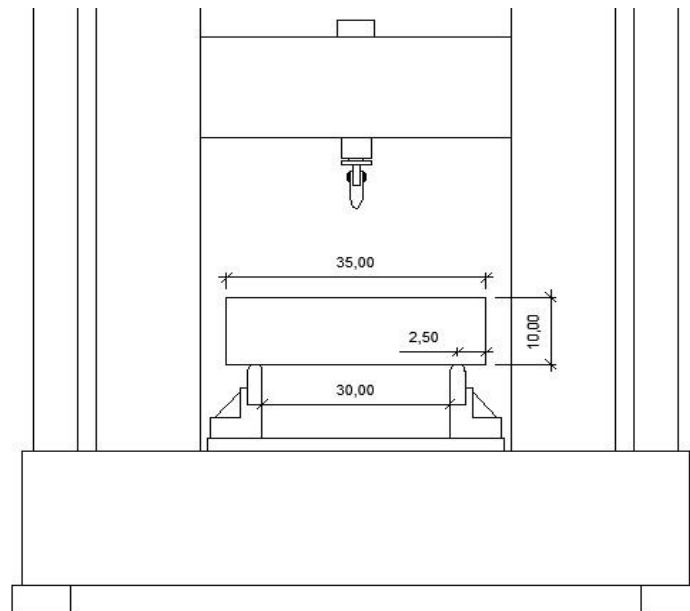


Fonte: Autor, 2016.

Os ensaios de flexão a 3 pontos (Figura 4) foram executados através de uma prensa eletromecânica, microprocessada, da marca EMIC de modelo DL10000 com uma capacidade de carga de 100 KN junto ao computador com software TESC - Test Script, que fornece recursos para a leitura e obtenção dos resultados, seguindo a norma regulamentadora ABNT NBR 12142 (2010), que diz:

- A distância entre apoios e pontos de aplicação de força deve permanecer constante durante o ensaio;
- A força deve ser aplicada normalmente à superfície do corpo de prova, evitando excentricidade;
- A direção das reações deve ser mantida paralela à direção da força durante todo o ensaio;
- A força deve ser aplicada de forma gradual e uniforme, evitando choques.

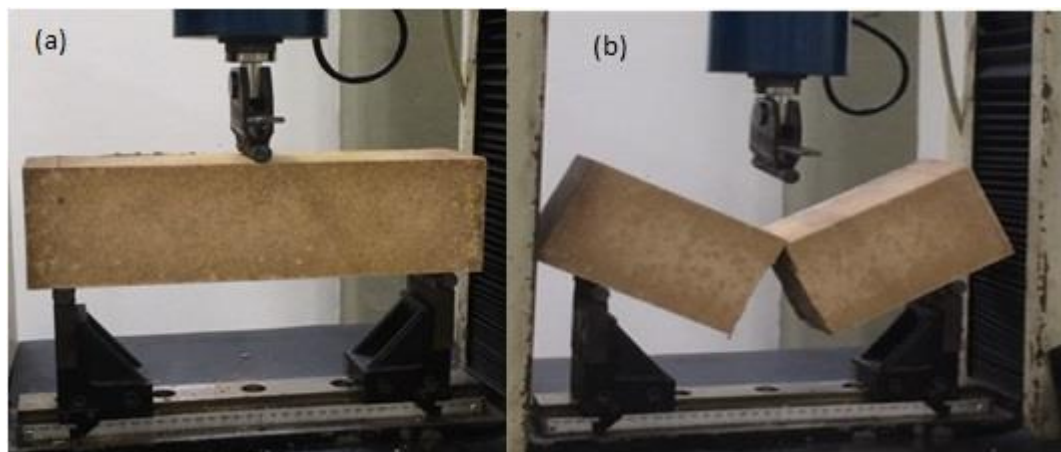
Figura 4 – Croqui do ensaio de tração na flexão.



Fonte: Autor, 2016.

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio (Figura 5.a) após cura de 28 dias. Após a desforma foram apoiados por suas faces laterais à célula de carga, essas faces são mais uniformes do que a de rasamento e a face ao fundo da forma, dessa forma, a irregularidade da superfície não influencia na obtenção dos dados. Com a amostra acertadamente posicionada, inicia-se o carregamento da carga, empregada com uma configuração contínua e constante até que entre em ruptura como mostra a Figura 5.b. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) da Unesc.

Figura 5 – Corpo de prova posicionado para o ensaio (a) e após a ruptura (b).



Fonte: Autor, 2016.

Para o cálculo da resistência à tração na flexão, foi aplicada a seguinte equação:

$$f_{ct,f} = P.L / b.d^2 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$f_{ct,f}$ = resistência à tração na flexão (MPa);

P = carga máxima aplicada (N);

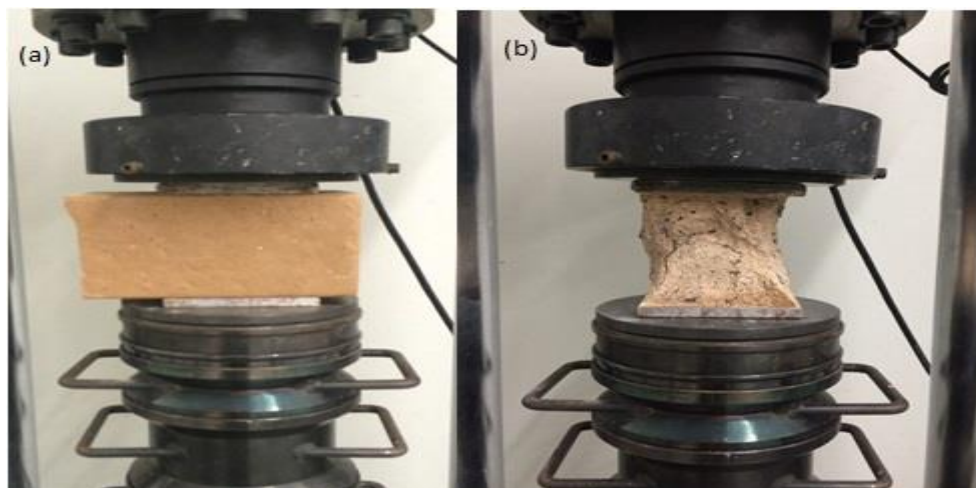
L = distância entre cutelos de suporte (mm);

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

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

Depois da ruptura, as metades procedentes de cada CP, foram ensaiadas à compressão axial (Figura 6.a). Assim como na flexão, os corpos de prova foram posicionados novamente por suas faces laterais, garantindo a regularidade na superfície para o ensaio, afim de não ter nenhum tipo de influência nos resultados, causadas por algumas desconformidades. Em seguida foi ajustado no centro da prensa para dar início à aplicação da carga. A carga medida em MPa, foi aplicada de forma progressiva e regular, até uma redução na força de carregamento indicada pela prensa, a qual mostra a ruptura da amostra (Figura 6.b). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Unesc, seguindo as orientações da ABNT NBR 5739 (2007), onde prescreve os itens a serem executados para validade do teste.

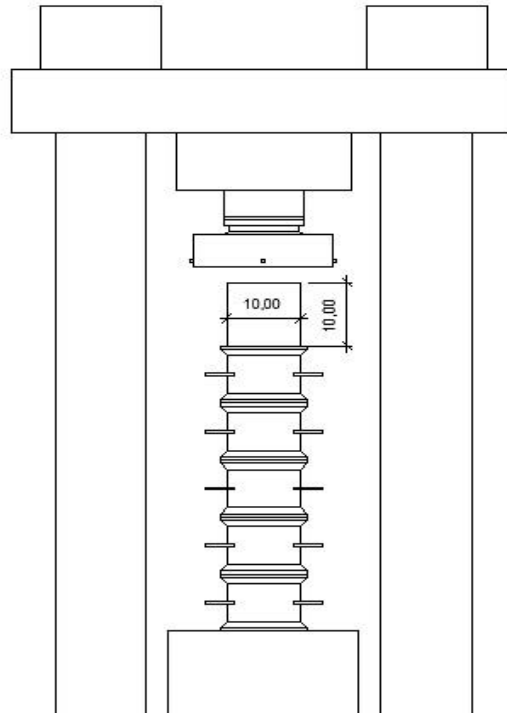
Figura 6 – Corpo de prova posicionado para o ensaio (a) e após a ruptura (b).



Fonte: Autor, 2016.

Os equipamentos utilizados foram à prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS, com capacidade máxima de 200 toneladas (Figura 7), acoplada a um computador com software TESC - Test Script, fornecendo os dados para leitura e os resultados dos referidos ensaios.

Figura 7 – Croqui do ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor, 2016.

Para o cálculo da resistência à compressão, foi aplicada a seguinte equação:

$$f_c = F / A \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

f_c = resistência à compressão (MPa)

F = carga máxima obtida no ensaio (N)

A = área do corpo de prova (mm)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados obtidos no ensaio de compressão (Tabela 3), verificou-se que os concretos com adição de fibras tiveram um ganho de resistência à compressão axial em relação ao traço de referência (Grupo A). Sendo que o concreto com polietileno (Grupo B) obteve melhorias de 10,8%, com polipropileno (Grupo C) 16,6% e com as duas fibras atuando no mesmo compósito (Grupo D) 18,9%. A resistência à média entre todos os ensaios foi de 40,50 MPa.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão.

Ensaio	Amostras	Tipologias			
		Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Resistência à Compressão (Mpa)	CP1	37,01	40,60	46,04	39,25
		26,47	38,38	37,52	37,84
	CP2	40,43	42,82	44,68	51,03
		41,10	43,30	50,63	42,59
	CP3	34,10	36,36	40,13	39,10
		38,69	39,86	34,87	49,30
	Média	36,30	40,22	42,31	43,18
	(D.P.)	5,44	2,64	5,86	5,65

Fonte: Autor, 2016.

Observou-se que no ensaio de flexão, como mostra a Tabela 4, a resistência do concreto com adição de fibras sofreu uma queda em relação ao traço de referência (Grupo A). Sendo que o concreto com fibra de polietileno + polipropileno (Grupo D) obteve a redução mais elevada, com 8,5%, seguido do traço com adição das fibras polietileno que teve 5,4% e fibra de polipropileno (Grupo C) com 4,6%. A resistência à média entre todos os ensaios foi de 6,49 MPa.

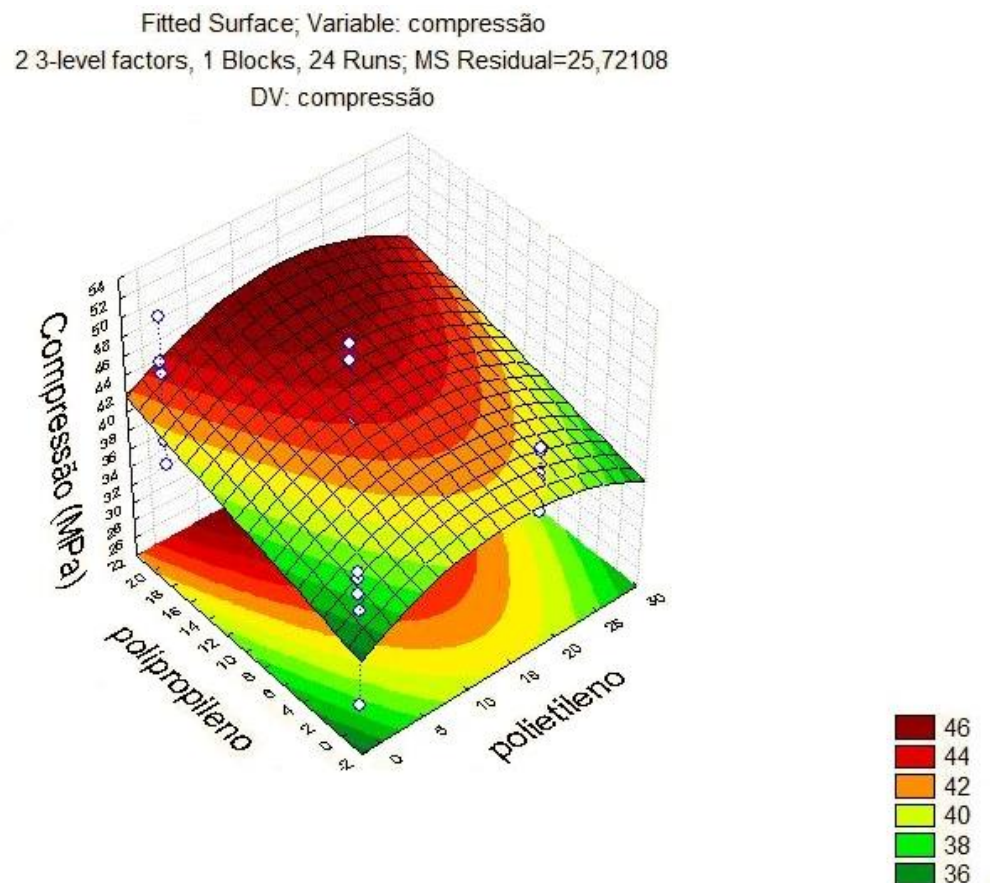
Tabela 4 – Resultados do ensaio de tração.

Ensaio	Amostras	Tipologias			
		Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
Resistência à Tração na Flexão (Mpa)	CP1	6,41	6,15	6,57	5,63
	CP2	7,37	6,76	6,74	6,31
	CP3	6,63	6,39	6,15	6,72
	Média	6,80	6,43	6,49	6,22
	(D.P.)	0,50	0,31	0,30	0,55

Fonte: Autor, 2016.

Com interesse de examinar se os valores eram diferentes entre cada grupo de amostra, foi realizada a análise estatística de variância ANOVA (Figura 8) nos ensaios de resistência à compressão axial, a fim de obter resultados significativos, isto é, para um fator ser relevante, deve-se obter $p_{value} \leq 0,05$, com nível de confiança de 95%.

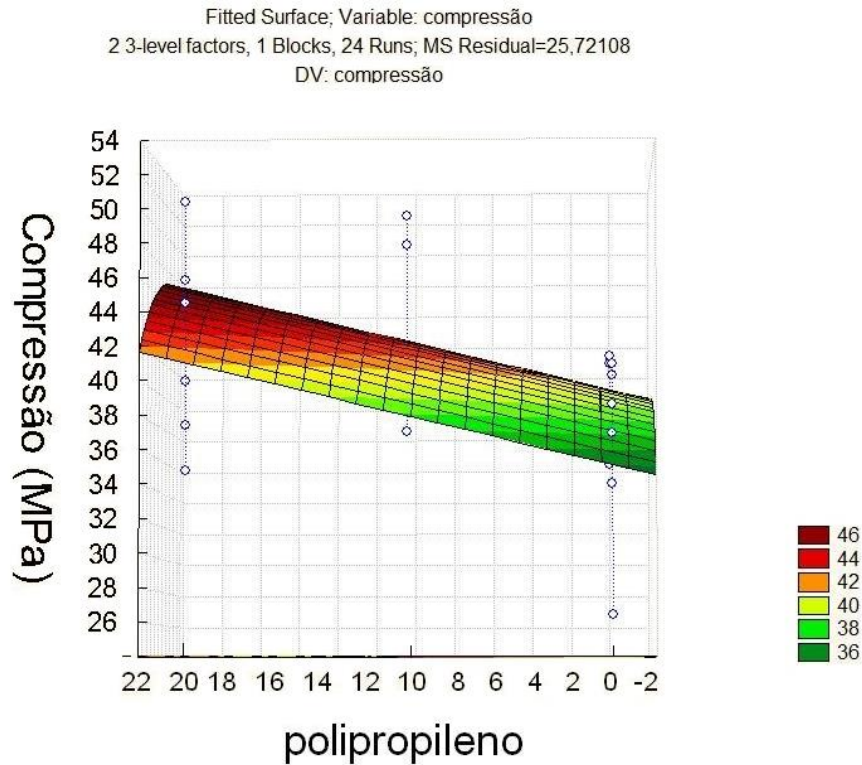
Figura 8 – Análise de variância dos resultados do ensaio de compressão



Fonte: Autor, 2016.

Para os ensaios de compressão axial, pode-se observar através da Figura 9, que a variável polipropileno (Grupo C), obteve dados que influenciam estaticamente nos resultados, com $p_{value}=0,053376$, mostrando que há tendência a melhorias no concreto geopolimérico com o incremento desta fibra. Neste trabalho não foi possível a verificação do limite ótimo desta adição.

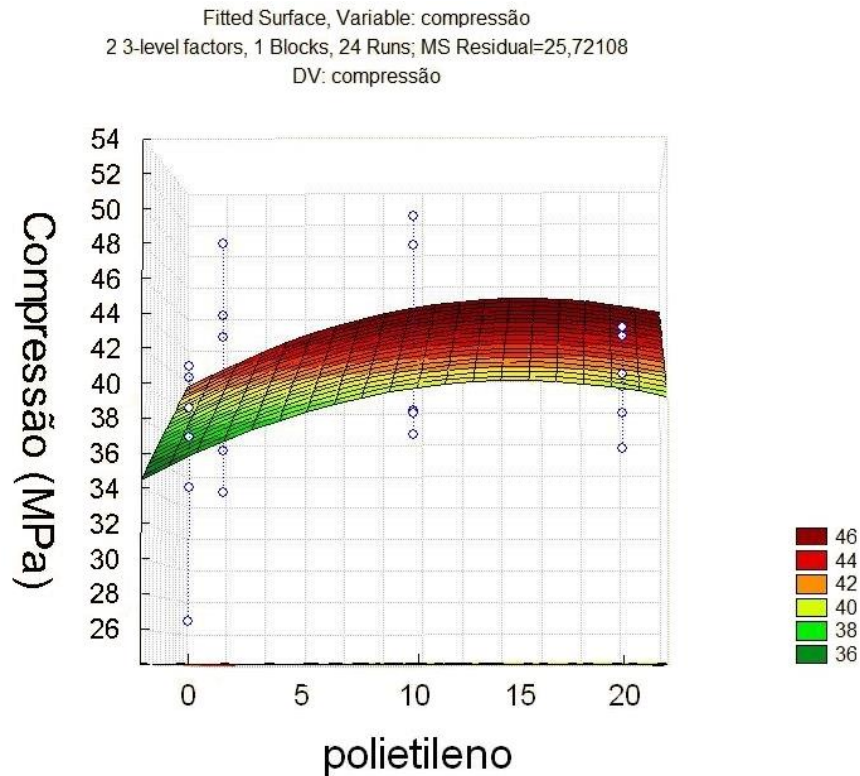
Figura 9 – análise do ensaio de compressão.



Fonte: Autor, 2016.

Em contra partida, os resultados do polietileno (grupo B) não foram significativos, visto que não houve variação entre as proporções das fibras (Figura 10), chegando ao $p_{value}=0,224910$. Porém apresentou uma tendência a um ponto ótimo próximo a 18kg/m^3 , reduzindo sua eficiência no incremento de resistência no momento que aumentou-se a adição desta fibra.

Figura 10 – análise do ensaio de compressão.



Fonte: Autor, 2016.

4 CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados apresentados é possível concluir que:

- A resistência à flexão do concreto geopolimérico, quando incrementado com fibras poliméricas (grupo B e C) apresentou comportamento inferior, quando comparados com as amostras de referência, comprovando uma redução na resistência à tração, tendo como pior resultado o grupo D, com adição das duas fibras no mesmo composto. Redução esta que chegou a 8,5%.
- Com a adição de fibras, o material indicou aumento na resistência à compressão axial do concreto, tanto para polietileno, quanto polipropileno. Observou-se que as amostras do grupo D, mostraram o maior desempenho, apresentando valores de 18,9% em termos de melhoria, quando comparados ao grupo A (referência).
- Atuando como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, os grupos com adições de fibras apresentaram comportamento com menor fissuração

em ambos os ensaios realizados, e tiveram um melhor comportamento quanto à resistência mesmo após a ruptura (resultado esperado).

Sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar o comportamento da interface entre fibras poliméricas no concreto geopolimérico;
- Adicionar novas fibras e reforços em vigas de concreto geopolimérico, visando aumentar a resistência dos elementos.
- Aumentar/Diminuir a proporção de fibras empregado no concreto geopolimérico, a fim de alcançar ganhos em resistência mecânica.
- Aumentar a adição da fibra de polipropileno até atingir o ponto ótimo de adição para o máximo de resistência a compressão.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 12142: Concreto: Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

COSTA, Antônio Filipe Martins. Utilização de geopolímeros para Protecção de Betão: Resistência a altas temperaturas. 71 f. Tese (Doutorado) – Curso de engenharia civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal 2012.

DAVIDOVITS, Joseph. Geopolymer Chemistry and Properties. Vol 1, 1988, p. 25-48

FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PALOMO, A. Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder: effect of the activator. Cement and Concrete Research, vol. 35, n. 5, p. 1984-1992, 2005.

MENGER, Manuela Hoffmann. Análise da aderência entre compósitos de cimento portland e geopolimérico. 2015. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

NEMATOLLAHI, Behzad; SANJAYAN, Jay; SHAIKH, Faiz Uddin Ahmed. Comparative deflection hardening behavior of short fiber reinforced geopolymer composites. Construction and Building Materials, vol 70 (2014), p. 54-64, abr./jun. 2014.

PINTO, Amândio Teixeira. Introdução ao Estudo dos Geopolímeros. Portugal: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2006, 92 p.

PINTO, Amândio Teixeira. Sistemas Ligantes Obtidos Por Ativação Alcalina do Metacaulino. Minho, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2004.

SANTA, Rozineide Aparecida Antunes Boca. Desenvolvimento de geopolímeros a partir de cinzas pesadas oriundas da queima do carvão mineral e metacaulim sintetizado a partir da indústria de papel. 2012. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.