

COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER ISOFTÁLICO COM CARGA DE RESÍDUO INDUSTRIAL E REFORÇO DE FIBRAS NATURAIS CURTAS*

Karla Suellen Lino Barbosa¹
Bruno Henrique Alves Mendes²
Alessandro José Gomes dos Santos³
Deibson Silva da Costa⁴
José Antônio da Silva Souza⁵

Resumo

Em busca de um desenvolvimento sustentável pesquisadores têm procurado componentes como as fibras vegetais e resíduos industriais que possuem descartes muitas vezes inadequados para fabricação de materiais compósitos. Foram produzidos materiais compósitos de matriz polimérica com inserção de fibras vegetais de bambu no comprimento de 15 mm, compósitos com carga de resíduo industrial de caulim flint com granulometria de 100 mesh e compósitos híbridos resíduo/fibrautilizando o método *handlay-up*. Para cada série foram produzidos 6 (seis) corpos de prova. A matriz polimérica apresentou proporções de: catalisador 1% e acelerador 1,5%. As fibras inseridas tiveram valores de fração mássica de: 1, 2 e 3%, o resíduo industrial de caulim nas frações de: 10, 20, 30 e 40% e os compósitos híbridos tiveram valores de: fibras 3% e variação de resíduo nas proporções de 10, 20 e 30%. Foram realizados ensaios de tração dos compósitos pela norma ASTM D-3039. Os melhores resultados de limite de resistência foram: 35,84 MPa para fibras de bambu na proporção de 1%; 25,76 MPa para resíduo de caulim na proporção de 30% e 22,17 MPa para compósitos híbridos 20% de resíduo + 3% de fibras.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável; MatrizPoliéster; Fibras Vegetais; Resíduo de Caulim.

ISOFTÁLICOS POLYESTER MATRIX COMPOSITIONS WITH INDUSTRIAL WASTE LOADING AND STRENGTHENING OF SHORT NATURAL FIBERS

Abstract

In search of sustainable development researchers have sought components such as vegetable fibers and industrial waste that have discards often unsuitable for manufacturing composite materials. Polymer matrix composite materials with bamboo plant fiber insertion of 15 mm length were produced, composites with industrial kaolin flint load with 100 mesh granulometry and hybrid composites residue / fiber using the hand lay-up method. For each series, 6 (six) specimens were produced. The polymer matrix showed proportions of: catalyst 1% and accelerator 1.5%. The fibers presented values of: 1, 2 and 3%, the industrial kaolin residue in the fractions of: 10, 20, 30 and 40% and the hybrid composites had values of: 3% fiber and residue variation in proportions of 10, 20 and 30%. Traction tests of the composites were performed according to ASTM D-3039. The best resistance limit results were: 35.84 MPa for bamboo fibers in the 1% ratio; 25.76 MPa for kaolin residue at the ratio of 30% and 22.17 MPa for hybrid composites 20% residue + 3% fibers.

Keywords: Sustainable development; Polyester Matrix; Plant Fibers; Kaolin Residue.

- ¹ *Bacharel em Ciência e Tecnologia, Mestranda em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém – Pará, Brasil.*
- ² *Engenheiro Químico, Mestrando em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, Belém - Pará e Brasil.*
- ³ *Engenheiro Mecânico, Mestre, Doutorando em Engenharia de Recursos Naturais, UFPA – Campus Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará - Brasil.*
- ⁴ *Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor do magistério superior - 4, UFPA - Campus Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará – Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro Químico, Doutor, Professor do magistério superior - 7, UFPA - Campus Belém, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará – Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

É possível verificar um aumento na produção de materiais compósitos em vários domínios tecnológicos modernos, o que desperta um interesse nas pesquisas de materiais reforçados e processos avançados de produção [1].

Os compósitos são obtidos pela combinação de seus constituintes com diferentes características físico-químicas e mecânicas, com isso as pesquisas e desenvolvimento de materiais nesta área são cada vez mais importantes [2]. Segundo Dreger [3] a composição química e física dos materiais compósitos está ligada a utilização e aplicação dos mesmos atendendo as demandas tecnológicas e ambientais.

Trabalhos utilizando resíduos industriais e fibras naturais ganham destaque, o que comprova a preocupação em buscar novas alternativas de materiais que sejam sustentáveis, conforme os trabalhos de Costa [4], Cunha [5] e Silva [6].

As fibras são reforços importantes por possibilitarem um aumento na resistência da matriz, influenciando e destacando as propriedades pretendidas das duas fases [7]. Askeland [8] ressalta que muitos reforços estão sendo empregados aos materiais compósitos, onde as fibras vegetais, como o bambu, têm sido utilizadas como reforços de tijolos e barro por séculos.

Segundo Zakikhani[9] o bambu possui vantagens quando comparados a outras fibras vegetais, devido sua resistência e a sua elevada taxa de crescimento. Além de possuir diversas vantagens quando comparados à fibra de vidro. Segundo Anjos [10] a extração do caulim gera um processo de continua degradação, causando, assim, um grande impacto ambiental.

Além de que, a utilização desses resíduos poderá minimizar o impacto ambiental, reduzir os custos, gerar empregos e construir materiais de interesse social. Com isso, muitos pesquisadores começaram a elaborar novos materiais e alternativas para colaborar com esse crescimento sustentável.

Portanto, o presente trabalho reverte-se como uma pesquisa adicional no campo dos materiais compósitos reforçados com fibras vegetais (*Bambusavulgaris*) e resíduo industrial (caulim flint). Visando, assim, conhecer a resistência à tração de um material compósito reforçado com fibras do bambu, resíduo de caulim e dos compósitos híbridos feitos com a junção Bambu/Caulim.

2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

2.1 Materiais de partida

A matriz polimérica termofixa utilizada foi a Resina Poliéster Insaturado Isoftálico (AM910) com sistema catalítico formado por acelerador de cobalto (Octoato de Cobalto 1,5% – CatMet) e iniciador de peróxido de metil etil cetona (MEK-P) em proporções de 1,5% e 1%, respectivamente. Todos obtidos juntos à Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.

O resíduo industrial de caulim foi fornecido pela empresa Imerys Capim Caulim, localizada no município de Ipixuna do Pará, interior do estado do Pará. Os colmos de bambu, *Bambusavulgaris*, foram extraídos do bosque do Instituto de Tecnologia do Campus Profissional da Universidade Federal do Pará. A figura 1 a seguir mostra esses materiais.

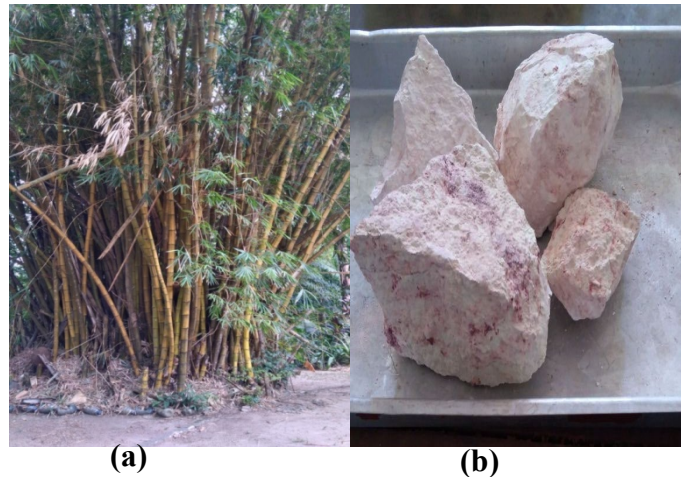


Figura 1. (a) Bambuzal e (b)Caulim

2.2 Equipamentos utilizados

- **ESTUFA**, DE LEO – Equipamentos Laboratoriais, T 50 °C a 250 ° C. (Laboratório de Engenharia Química);
- **BALANÇA ANALÍTICA**, CHYO MODELO JK 200, (Laboratório de Engenharia Química);
- **MOLDE METÁLICO**, Dimensões (320 mm x 172,5 mm x 5 mm), (Laboratório de Engenharia Química).
- **PRENSA HIDRÁULICA**, MARCON, modelo MPH-15, com capacidade de 15 ton. (Laboratório de Engenharia Química);

2.3 Procedimentos experimentais

2.3.1 Fibra de Bambu e Resíduo de Caulim

Os feixes de fibras de bambu foram extraídos manualmente dos colmos e posteriormente cortados com auxílio de escala milimétrica em comprimento de 15 mm.

O resíduo de caulim foi desagregado em moinho de bolas por 20 minutos e a fração obtida foi classificada a úmido em peneira de 325 Mesh para a remoção de aglomerados. O *undersize* do processo foi levado para a estufa por um período de 24 h. Após o tempo de secagem, o caulim peneirado foi desagregado com a ajuda do almofariz de porcelana e, por fim, foi classificado em peneira de malha 100 mesh, para a posterior incorporação nos compósitos.

2.3.2 Produção dos compósitos

O método adotado para a fabricação dos compósitos foi o handlay-up associado com aprensagem em molde fechado. Para a fabricação dos compósitos com caulim, foram utilizadas as frações mássicas de 10, 20, 30 e 40%; para os compósitos com fibra de bambu foram utilizadas as frações de 1, 2 e 3% e nos materiais híbridos foram utilizadas fibras na fração de 3% variando-se a fração de caulim em 10, 20 e 30%. De acordo com as frações correspondentes aos componentes de cada variação, foram definidas as seguintes siglas (Tabela 1).

Tabela 1 – Significado das siglas utilizadas

SIGLA	SIGNIFICADO
MP	Matriz plena
CF10	Caulim na fração de 10%
CF20	Caulim na fração de 20%
CF30	Caulim na fração de 30%
CF40	Caulim na fração de 40%
F1	Fibra de bambu na fração de 1%
F2	Fibra de bambu na fração de 2%
F3	Fibra de bambu na fração de 3%
CF10F3	Caulim na fração de 10% + Fibra na fração de 3%
CF20F3	Caulim na fração de 20% + Fibra na fração de 3%
CF30F3	Caulim na fração de 30% + Fibra na fração de 3%

Tanto as fibras quanto o resíduo de caulim foram levados para a estufa a uma temperatura de 105°C por 10 e 20 minutos, respectivamente, para a redução da umidade superficial do material, o que poderia dificultar ainda mais a interação entre as fases.

O preparo da resina consistiu da inserção do CatMet na proporção de 1,5% em relação à massa de resina, seguido de agitação por 1 minuto e posterior inserção do MEK-P em quantidade de 1% também da massa de resina, seguida de agitação por 4 minutos (ponto de gel). Durante a produção dos compósitos com fibras, estas foram dispersas aleatoriamente no interior do molde metálico no qual posteriormente foi inserida a matriz devidamente preparada. Para os compósitos com caulim, antes da inserção do MEK-P foi inserido o resíduo seguido de agitação por 3 minutos.

Após a mistura atingir o ponto de gel no interior do molde metálico, o material foi prensado com carga de 2,5 toneladas durante 20 minutos. A figura 2 ilustra a sequência de produção dos compósitos.

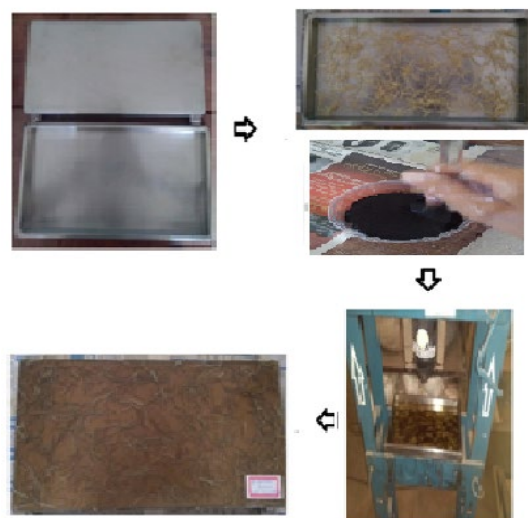


Figura 2. Sequência da produção dos compósitos

2.3.3 Ensaios de resistência à tração

Para a realização do ensaio de resistência à tração os compósitos foram cortados em serra de bancada segundo as instruções descritas na norma ASTM D3039-08, conforme a Figura 3.

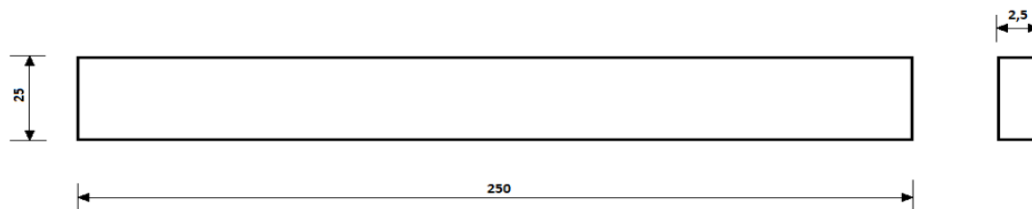


Figura 3. Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaios de tração
Fonte: ASTM D 3039 - 08, 2005

O equipamento utilizado foi uma máquina universal de tração, marca KRATOS modelo IKCL3 com sistema de aquisição de dados, célula de carga de 5 KN, velocidade de 2 mm/min e comprimento útil para medição entre garras de 180 mm. Foram ensaiados 6 corpos de prova de cada variação e os resultados expressos em função do resultado médio e do desvio padrão, bem como o resultado da análise de variância (ANOVA) para uma confiança de 95% realizado através do software Microsoft Excel 2013 e do Teste de Tukey para comparação entre as médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do resíduo de caulim flint

No difratograma apresentado na figura 4 identificam-se os principais componentes mineralógicos do material de acordo com suas fichas PDF, onde a Caulinita (K) apresenta o pico de maior intensidade. Esse material também apresenta componentes de baixa intensidade como: Quartzo (PDF 01-076-0931), Anatásio (A) (PDF 01-078-2486) e Hematita (H) (PDF 01-073-0603). Segundo Rocha Junior [11] este último componente é observado no caulim do tipo flint.

Esses resultados estão de acordo com as composições mineralógicas das literaturas pesquisadas: Costa[4]; Carneiro [12]; Rocha Júnior [11].

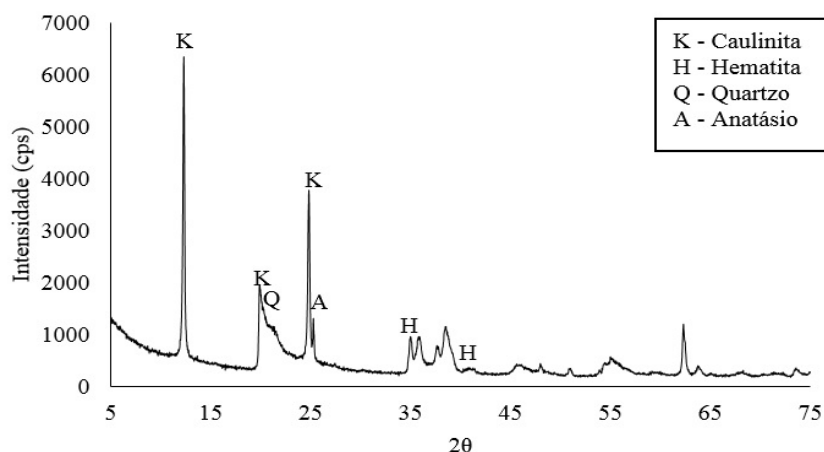


Figura 4. Difractometria do caulim

3.2 Resistência à Tração

Os compósitos poliméricos com inserção de resíduo de caulim, com reforço de fibra de bambu de 15 mm e compósitos híbridos com fibras/resíduo foram avaliados de acordo com sua resistência mecânica por meio do ensaio de tração, onde foram obtidos os seguintes resultados como mostra a tabela 2.

Tabela 2 – Significado das siglas utilizadas

FRAÇÃO	RESIST. À TRAÇÃO Mpa (desvio padrão)	MÓDULO DE ELASTICIDADE MPa (Desvio Padrão)
MP	21,39 (±1,24)	1015,57 (±61,17)
CF10	24,65 (±3,00)	995,75 (±123,9)
CF20	17,94 (±4,41)	896,48 (±207,85)
CF30	25,76 (±4,38)	1006,81 (±149,95)
CF40	25,71 (±2,12)	1087,24 (±150,33)
F1	35,84 (±4,19)	1144,97 (±116,31)
F2	27,79 (±4,53)	1179,07 (±97,78)
F3	26,02 (±4,18)	1052,57 (±111,81)
CF10F3	21,23 (±1,32)	1047,79 (±37,57)
CF20F3	22,17 (±1,44)	1060,29 (±51,98)
CF30F3	15,51 (±4,36)	903,98 (±178,02)

Observa-se através dos resultados apresentados na tabela 2 que a resistência à tração dos compósitos poliméricos com carga de resíduo de caulim flint apresentou uma semelhança na resistência mecânica nas proporções de 10, 30 e 40% de resíduo de caulim quando comparados com a matriz plena.

Os resultados de resistência à tração apresentados neste trabalho foram maiores do que os resultados presentes no trabalho de Costa [4], onde os valores de resistência à tração foram diminuindo progressivamente de acordo com o aumento na proporção de caulim na matriz, tendo como maior valor obtido 23,83 MPa na fração de 10%.

Os resultados de resistência mecânica mostrados no presente trabalho, com a utilização de compósitos com carga de resíduo industrial de caulim, também foram superiores ou semelhantes aos encontrados na literatura com a utilização de outros resíduos industriais. Onde Costa [4] confeccionou compósitos de resíduo industrial de lama vermelha e obteve resistência à tração no valor de 24,85 MPa na fração de 10% e 22,27 MPa para resíduos de cinzas na proporção de 20%. Sendo esses os maiores valores apresentados.

Os resultados apresentados na tabela 2 também mostram de maneira geral que houve um aumento na resistência mecânica em relação à matriz plena de todas as proporções de fibras utilizadas como carga na matriz, onde a fração de 1% de fibra de bambu 15 mm na matriz polimérica possuiu o maior valor de resistência à tração, já nas frações de 2% e 3% observa-se uma diminuição gradativa da resistência à tração, fato esse pode ser devido uma menor distribuição da resina com a fibra.

Os compósitos de bambu obtiveram valores de resistência superiores comparados com outros pesquisadores: Costa [13]; Santos [1]; e Taborda-rios [14].

Na tabela 2, foi possível observar também através dos resultados que a resistência à tração dos compósitos poliméricos híbridos com reforço de resíduo de

caulim e fibras de bambu 15 mm obteve nas proporções de 10%RC + 3%F e 30%RC+3%F valores menores que o valor de resistência mecânica da matriz plena. Foi possível observar também que apenas a proporção de 20%RC + 3%F apresentou um valor de resistência mecânica superior ou semelhante à matriz plena.

Segundo Costa [4] as propriedades mecânicas dos compósitos diminuem de acordo com a proporção de carga na matriz, pois quando se aumenta a fração de carga dentro do compósito a resistência à tração desse material diminui, ocasionando porosidades dentro do compósito. Fato que segundo ele é pela dificuldade de impregnação e molhabilidade da interface matriz/fibra/carga.

Canevarolo Jr. [15] diz que quando o módulo de elasticidade da segunda fase for maior do que o da matriz, o resultado obtido implicará num aumento nas propriedades mecânicas do material.

A figura 5 ilustra o gráfico de barra comparativo de compósitos com reforço de fibra (fig. 5 (a)), compósitos com resíduo industrial de caulim (fig. 5 (b)) e de compósitos híbridos com reforço de resíduo de caulim e de fibras de bambu 15 mm (fig. 5 (c)) comparados com a matriz plena.

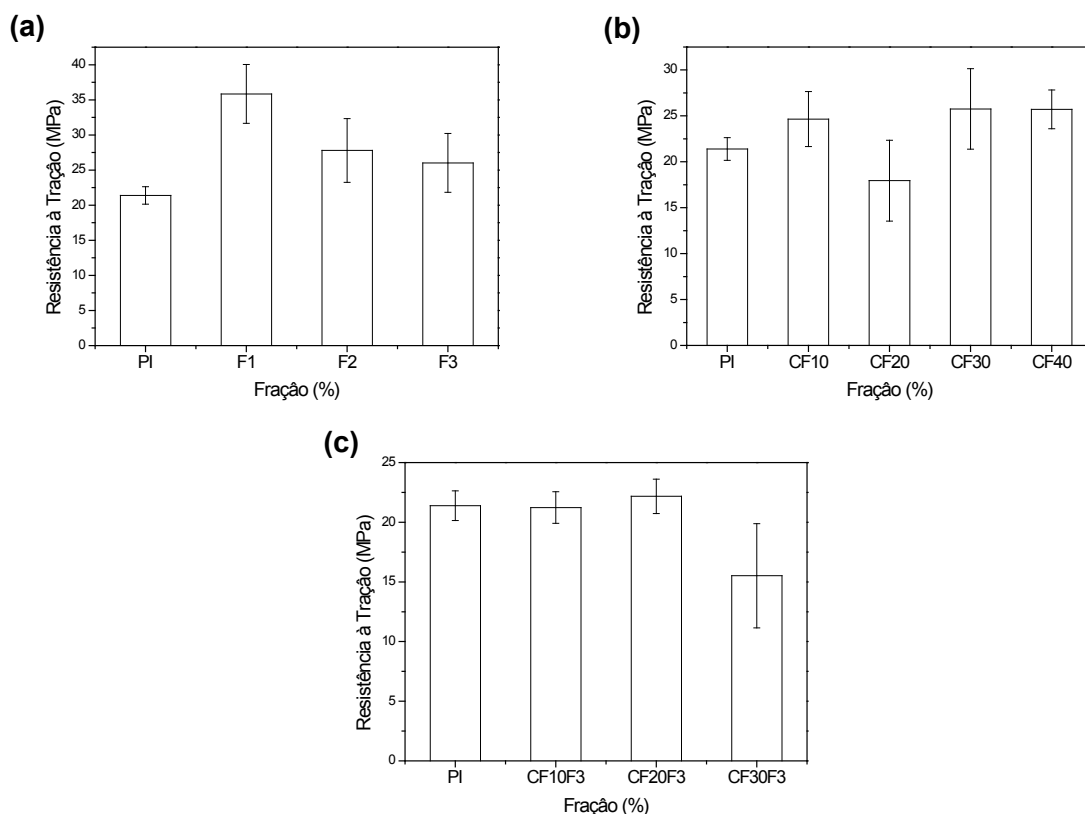


Figura 5. Gráficos barra comparativo dos compósitos estudados

Por meio da Análise de Variância (ANOVA) para testar as médias populacionais das variâncias amostrais e o Teste de Tukey foram realizadas comparações entre os materiais estudados com a finalidade de evidenciar diferenças significativas entre as resistências à tração entre as amostras de matriz plena e as frações de resíduo de caulim (CF10, CF20, CF30 e CF40), as frações de fibras de bambu 15 mm (F1, F2 e F3) e as frações de híbridos Caulim/Fibra (CF10F3, CF20F3 e CF30F3). Utilizando o *software* Microsoft Excel 2013, na função

“ANOVA: único fator” se obtém a tabela de análise de variância para uma confiança de 95%. A tabela 3 apresenta os dados gerados pela ANOVA.

Tabela 3 – Dados da Análise de Variância (ANOVA)

FONTE DE VARIAÇÃO	F	valor-P	F crítico	DMS
Caulim	1,6453	0,2021	2,8661	-
Fibra	12,7054	0,0002	3,2389	6,8445
Híbrido	7,7254	0,0021	3,2389	4,4730

Com os dados apresentados na tabela com nível de significância 5% é possível observar que o $F(1,6453)$ para a amostra de caulim foi inferior ao seu $F_{crítico}(2,8661)$, valor tabelado, o que implica dizer que o caulim nas frações de: CF10, CF20, CF30 e CF40 não apresentaram uma influência na produção das placas de compósito. A tabela também apresenta valores para as amostras de compósitos com Fibras e compósitos Híbridos, onde as mesmas apresentaram valores superiores aos valores tabelados ($F_{crítico}$), mostrando assim que essas amostras apresentaram uma influência significativa como reforço na matriz polimérica. Além disso, foi utilizado o teste de Tukey que permite a comparação das médias uma a uma. As Tabelas 4 e 5 apresentam o resultado do teste de Tukey para os compósitos reforçados com fibras e compósitos híbridos.

Tabela 4 – Resultado do Teste de Tukey para compósitos reforçados com fibras

Fração	A	B	C	D	
MP	A	-	14,4481	6,3987	4,6287
F1	B	14,4481	-	8,0494	9,8194
F2	C	6,3987	8,0494	-	1,7700
F3	D	4,6287	9,8194	1,7700	-

O resultado do teste de Tukey apresentado na tabela 4 mostra que o compósito com reforço de fibras de bambu no comprimento de 15 mm na fração de 1% apresentou a melhor resistência à tração quando comparado com as outras frações.

Tabela 5 – Resultado do Teste de Tukey para compósitos híbridos

	MP	CF10F3	CF20F3	CF30F3
MP	-	0,1631	0,7789	5,8791
CF10F3	0,1631	-	0,9420	5,7160
CF20F3	0,7789	0,9420	-	6,6580
CF30F3	5,8791	5,7160	6,6580	-

Na tabela 5 é possível observar que os compósitos híbridos com carga de resíduo de caulim e reforço de fibras de bambu 15 mm na fração de CF30F3 apresentou uma resistência á tração inferior às demais frações híbridas analisadas, fato esse que pode ser observado no gráfico da figura 5 (c).

3 CONCLUSÃO

A técnica utilizada para a fabricação dos materiais compósitos de matriz polimérica sugerida foi satisfatória, já que os compósitos atingiram o processo de polimerização da cadeia na matriz.

Com a fabricação dos compósitos com carga de resíduo de caulim pode-se dizer que os mesmos possuíram valores de resistência semelhantes quando comparados com o compósito de matriz plena, ou seja, não possuíram influência dentro da matriz polimérica.

Os compósitos fabricados com reforço de fibras de bambu no comprimento de 15 mm na proporção de 1 % apresentaram o melhor resultado de resistência mecânica.

Os compósitos híbridos de resíduo e fibras de bambu de 15 mm apresentaram uma boa influência na matriz polimérica até a fração de 20% de caulim flint + 3% de fibras de bambu (CF20F3).

Com essas considerações podemos concluir que as fibras de bambu no comprimento de 15 mm foram eficientes na resistência mecânica e a não influencia do resíduo de caulim na redução das propriedades mecânicas, especificamente, sinaliza bons impactos econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

- 1 Santos AJG, Borges DR, Oliveira LS, Prazeres ER, El Banna WR, Costa DS, et al. Influência da incorporação de fibras de bambu (*Bambusavulgaris*) e resíduo de cobre em matrizes poliméricas termofixas. Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica. 2017; 24: Anais... Rio Grande.
- 2 Rezende MC. O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 2000; 10(2): E4-E10.
- 3 Dreger AA, Barbosa LA, Santa-na RMC, Schneider EL, MorissoFDP. Caracterização mecânica e morfológica de solados produzidos com resíduos de laminados de PVC da indústria calçadista. *Revista Matéria*. 2018; 23(1): 1517-7076.
- 4 Costa DS. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais [tese de doutorado]. Pará: Universidade Federal do Pará; 2016.
- 5 Cunha EJS. Influência do uso de resíduo do processo bayer nas propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de base polimérica reforçados com fibra de curauá (*ananas lucidus*. Mill) [tese de doutorado]. Pará: Universidade Federal do Pará; 2015.
- 6 Silva HSP. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro [Dissertação de mestrado]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2010.
- 7 Ventura AFM. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. *Ciên. e Tec. Mat*. 2009 [acesso em 31 jan. 2018]; 21(3-4): 10-19. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctm/v21n3-4/v21n3-4a03.pdf>>.
- 8 Askeland DR. *Ciência e engenharia dos materiais*. Tradução Solange Aparecida Visconti. 3ª edição. São Paulo: Cengage Learning; 2014.
- 9 Zakikhani P, Zahari R, Sultan MTH, Majid DL. Extraction and Preparation of Bamboo Fibre-Reinforced Composites. *Materials and Design*. 2014; 63:820-828.

- 10 Anjos CM, Neves GA. Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal. Revista Eletrônica de Materiais e Processos. 2011; 6(2): 1809-8797.
- 11 Rocha junior CAF, Angélica RS, Neves RF. Synthesis of faujasite-type zeolite: comparison between processed and flint kaolin. Cerâmica. 2015;61:259-268.
- 12 Carneiro BS, Angélica RS, Scheller T, Castro EAS, Neves RF. Caracterização mineralógica e geoquímica e estudo das transformações de fase do caulim duro da região do Rio Capim, Pará. Cerâmica. 2003 [acesso em 8 fev. 2018]; 49(312): 237-244. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v49n312/a0849312.pdf>>.
- 13 Costa D S, Pereira LCO, Guimarães MF, Fujiyama RT. Composite Lamites with Poliester Matrix and Bamboo Fibres. SAE Technical Paper Series. 2012; 36:0297.
- 14 Taborda-Rios JÁ, Cañas-Mendoza LA, Tristancho-Reyes JL. Estudio comparativo las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio. DYNA. 2017; 84(202): 35-41.
- 15 Canevarolo JSV. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiro. São Paulo: Artliber; 2006.