

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLI (METACRILATO DE METILA) REFORÇADO COM FIBRAS DE COCO

Adrielli Eloisa Ciquelero¹
Igor Schmidt²

RESUMO

O uso de fibras naturais para agir como reforço em materiais compósitos tem gerado interesse no mercado, principalmente por utilizar os recursos naturais disponíveis, assim ajudando na sustentabilidade ambiental e também por possuir baixo custo. No presente artigo foram preparados compósitos de Poli Metacrilato de Metila (PMMA), reforçado com fibras de coco verde. Foi avaliada a influência de diferentes comprimentos da fibra, onde foram selecionados os tamanhos 10, 20 e 40 milímetros. O compósito sem adição de fibra chegou a 40,18 MPa de tensão de ruptura, porém, 6,55 de desvio padrão. Já as amostras com adição de fibras, obtiveram valores próximos de tensão de ruptura, e entre elas, o melhor valor complementando com o desvio padrão é a amostra de 20 mm, com tensão de ruptura de 32,84 MPa e 1,49 mm/mm de deformação.

Palavras-chave: PMMA. Fibras de coco. Ensaio de Tração.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fibras naturais como reforço nos materiais compósitos tem ganhado mercado, principalmente com o baixo custo das fibras, por se tratar de um material biodegradável e também por possuir propriedades mecânicas consideráveis. O compósito em questão é o Poli Metacrilato de Metila (PMMA), também conhecido como acrílico, reforçado com a fibra natural, o mesocarpo, fibra extraída do fruto coco verde. A combinação destes materiais pode variar em vários aspectos, o tamanho das partículas, estrutura química, a forma de realizar a combinação, ou seja, materiais compósitos são muito versáteis.

O avanço de muitas tecnologias é ligado com a utilização dos materiais disponíveis no mundo e suas propriedades. Então, na medida que as tecnologias vão avançando, a necessidade de desenvolver novos materiais também vai aumentando. A partir disto, inúmeras pesquisas foram realizadas com o objetivo de desenvolver diversos materiais com diferentes características a fim de satisfazer estas necessidades, entre eles destaca-se os materiais compósitos, tanto naturais quanto sintéticos. Partindo deste princípio buscamos saber **qual o comportamento das propriedades mecânicas do PMMA reforçado com fibras de coco?**

¹ Graduanda em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2023). E-mail: adriellieloisa@hotmail.com

² Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - E-mail: igor@uceff.edu.br

Os materiais compósitos têm assumido um papel de ser um elemento com propriedades melhoradas quando comparado aos materiais originais, visto que são projetados para exibir uma combinação das melhores características de cada um dos materiais constituintes de modo a se obter uma otimização das propriedades. Além de permitirem a variação de materiais, como estrutura química e geometria, a combinação do PMMA com fibras naturais pode aumentar as propriedades mecânicas e diminuir o consumo de materiais de fontes não renováveis.

Com isso, o presente artigo busca analisar as propriedades mecânicas do PMMA reforçado com as fibras de coco. A análise de resultados é concentrada na resistência e deformações devido à combinação do PMMA com fibras naturais. Os resultados foram discutidos após as análises de laboratório, onde realizou-se os testes de tração.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

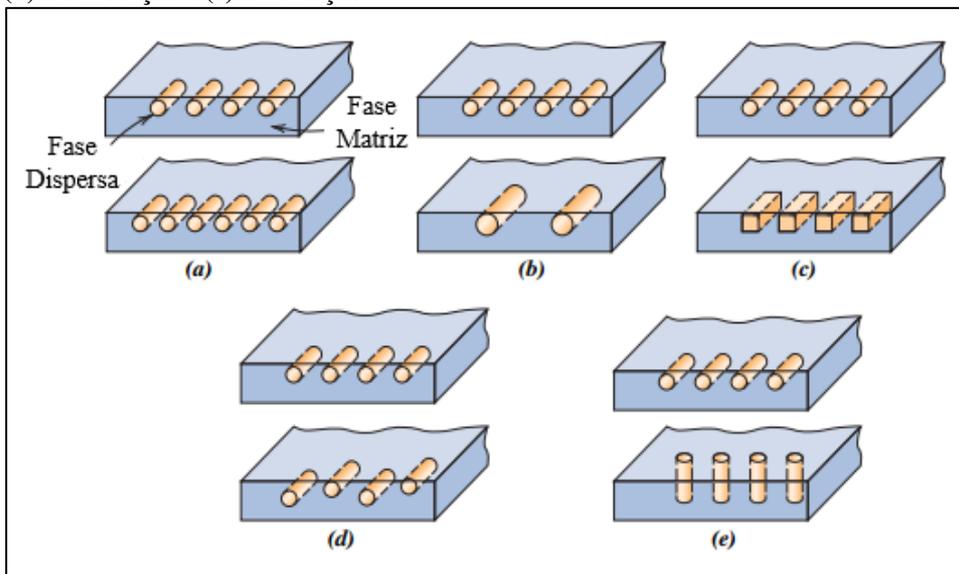
2.1 COMPÓSITO

O principal objetivo no desenvolvimento de materiais compósitos é de otimizar as propriedades de diferentes materiais, formando uma propriedade final resultante da combinação de dois ou mais materiais, visto que essa propriedade não poderia ser encontrada em um único material. Concreto e fibra de vidro são alguns exemplos de materiais compósitos (ASKELAND *et al.*, 2006).

Um compósito pode ser conceituado como qualquer material composto por duas ou mais fases completamente distintas, que possua uma quantidade relevante das propriedades das fases que os constituem, onde é possível obter uma combinação de propriedades com melhores resultados. A primeira das fases é conhecida como matriz, esta é contínua e envolve a segunda fase, conhecida como fase dispersa, ou seja, o reforço (Lopes, 2017).

A Figura 1 é uma demonstração de como identificar a diferença entre fase matriz e fase dispersa e como a fase dispersa pode ter diferentes características, como a concentração, tamanho, forma, distribuição e orientação (Callister Jr.; Rethwish, 2013).

Figura 1 – Representações esquemáticas das características espaciais e geométricas das partículas da fase dispersa que pode influenciar as propriedades dos compósitos: (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação.



Fonte: Adaptado de Callister Jr. e Rethwish (2013).

Os principais materiais base utilizados na fase matriz de compósitos, de acordo com Callister Jr. e Rethwish (2013), são metais, polímeros e cerâmicas. Prevenir quanto a propagação de trincas frágeis de uma trinca para outra, ligar as fibras umas às outras e também proteger as fibras de danos externos, são as principais responsabilidades desta fase.

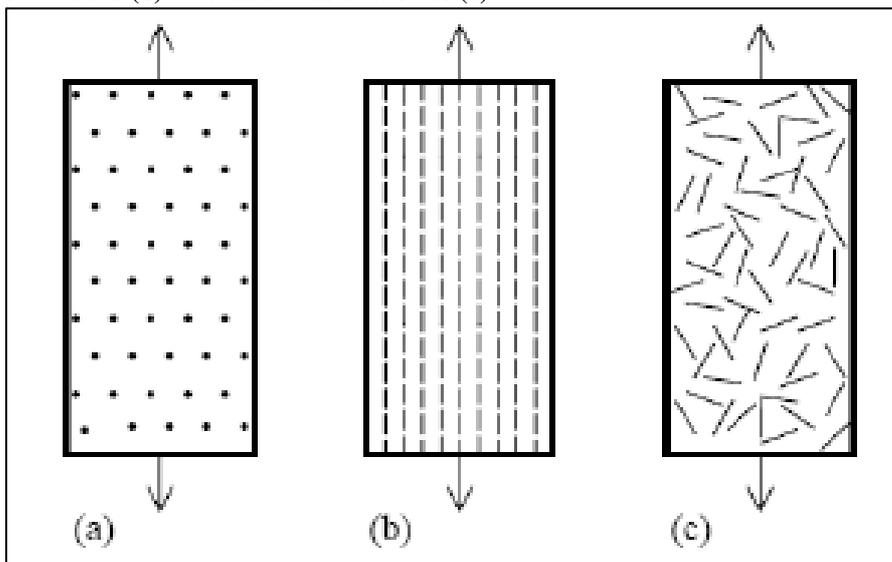
A segunda fase é dividida em três categorias que se dividem os materiais compósitos: compósitos estruturais, compósitos reforçados com fibra e ainda os compósitos reforçados com partículas (Lopes, 2017).

Os compósitos estruturais podem ter na sua composição materiais compósitos ou homogêneos. No entanto, para esta categoria, a estrutura e geometria do qual o compósito é produzido tem tanta importância quanto as características dos materiais (Callister Jr.; Rethwish, 2013).

Os compósitos reforçados com fibras são dados a partir de fibras ou filamentos utilizados como reforço para compósitos e são principalmente para suportar carga mecânica. Os filamentos podem ser encontrados com base em carbonos, metais, cerâmicas, polímeros e até mesmo fibras naturais (Neto; Pardini, 2006).

A Figura 2, é uma demonstração da orientação dos compósitos.

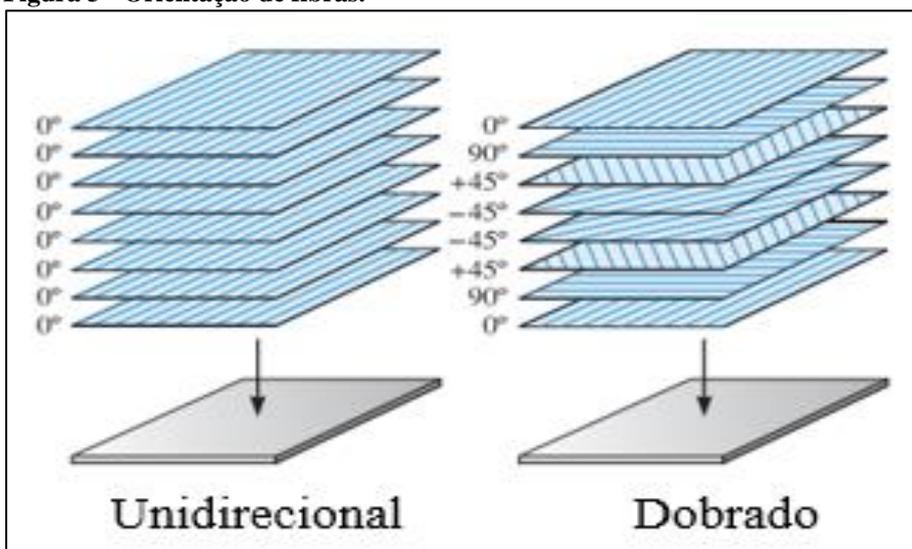
Figura 2 - Orientação dos compósitos: compósito particulado (a), compósitos reforçados por fibras curtas orientadas (b) e fibras curtas aleatórias (c).



Fonte: Adaptado de Tita (1999).

O lado esquerdo da Figura 3 a seguir ilustra um arranjo unidirecional, no qual as fibras possuem propriedades com rigidez e resistência boas paralelas as fibras, e estão alinhadas com a direção da tensão aplicada. No entanto, se as cargas forem perpendiculares às fibras, o resultado será de propriedades ruins. Já no lado direito, está representado a fibras dobradas, que significa ter um arranjo diferente em cada camada, resultando em boas resistências nas direções apresentadas (Askeland *et al.*, 2006).

Figura 3 - Orientação de fibras.



Fonte: Adaptado de Askeland et al. (2006).

Dentro da categoria de compósito reforçado com partículas, ainda há a divisão de compósitos com partículas grandes e compósitos reforçados por dispersão, e o que diferencia os dois são os mecanismos de reforço. A palavra “grande” é utilizada para mostrar que esse reforço se dá a nível macroscópico e não molecular ou atômico, podendo ser utilizados com metais, cerâmicas e polímeros. Já nos reforços por dispersão, as partículas possuem diâmetros entre 10 e 100 nanômetros, portanto, suas interações acontecem a nível molecular ou atômico (Callister Jr.; Rethwish, 2013).

2.2 FIBRAS NATURAIS

O principal foco da utilização de fibras naturais em um compósito é que, além de ser utilizado um material reciclável e com baixo custo, as fibras naturais também servirão como um reforço mecânico. Estas fibras são principalmente de origem vegetal, e tem como principais vantagens: baixa massa específica, baixo custo, são recicláveis, baixo consumo de energia na produção, etc (Neto; Pardini, 2006).

Thakur e Singha (2010) explicam que o grau de polimerização da celulose, a orientação das fibras e a porcentagem de celulose, são fatores que influenciam nas propriedades mecânicas das fibras. Um exemplo é que para se obter uma maior resistência a tração, deve-se utilizar fibras com baixo ângulo microfibrilar, alta porcentagem de celulose e alto grau de polimerização.

Ainda que as fibras naturais possuam boas vantagens, elas também têm algumas desvantagens. Neto e Pardini (2006) destacam: propriedades mecânicas muito variadas, pouco estáveis com seu tamanho, temperaturas de processamento no máximo de 200°C.

A Tabela 1 apresenta algumas propriedades das principais fibras, sejam naturais ou sintéticas.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas de fibras naturais e de fibras sintéticas usadas como reforço.

Fibra	Densidade (g/cm³)	Alongamento (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Coco	1,2	30	175	4,0-6,0
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Cânhamo	-	1,6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128

Carbono padrão	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0
Continua				

Continuação

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22
Kraft	1,5	-	1000	40
E-vidro	2,5	2,5	2000-3500	70

Fonte: Bledzki e Gassan (1999).

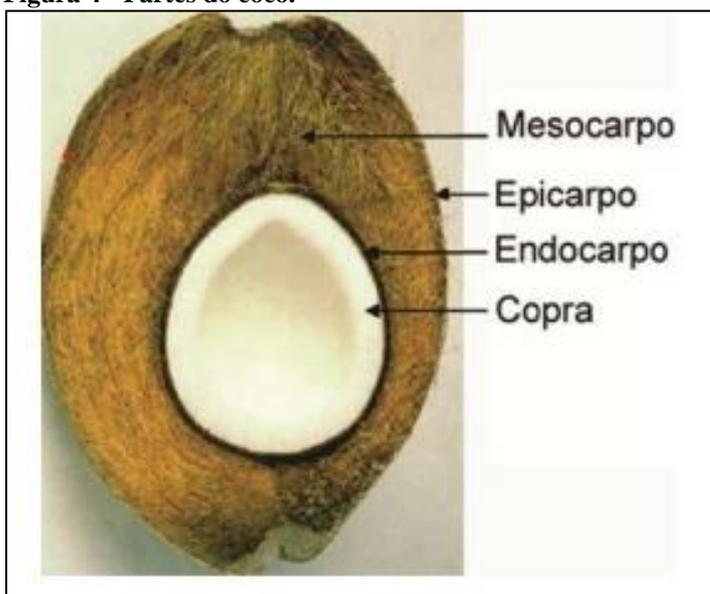
2.2.1 Fibras de coco verde

A utilização de fibras de coco verde para produzir compósitos, não só reduz a geração de resíduos sólidos, como também é um processo natural e renovável (PEREIRA *et al.*, 2017).

Além de fornecer alimento, parte do resíduo do coqueiro (*Cocos nucifera*, Linn), ou seja, as fibras, podem ser reutilizadas e ser um recurso biodegradável (Satyanarayana *et al.*, 1982).

Para Barbosa *et al.* (2018), o mesocarpo é um compósito natural de uma matriz contínua de lignina reforçada por fibras a base de celulose. A partir do fruto verde estas fibras podem ser extraídas e então utilizadas na constituição do compósito. Na Figura 4 pode-se observar as diferentes partes em que se divide o coco.

Figura 4 - Partes do coco.



Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2018).

2.3 POLÍMEROS

Askeland *et al.* (2006) explicam que a definição da palavra polímero é a partir da junção de “*poli*”, que quer dizer muitas, e “*mer*”, que significa unidade de átomos ou moléculas, ou seja, o termo polímero significa muitas unidades de átomos ou moléculas. Os polímeros podem ser encontrados de forma natural ou sintética. Leonel (2020), exemplifica couro, celulose, seda e algodão como polímeros naturais de origem biológica; enquanto os polímeros sintéticos são encontrados a partir do processamento de carvão mineral ou petróleo.

Para Mano e Mendes (1999), polímeros são macromoléculas (molécula de alta massa molar) representadas por sua estrutura química, tamanho e interações intermoleculares.

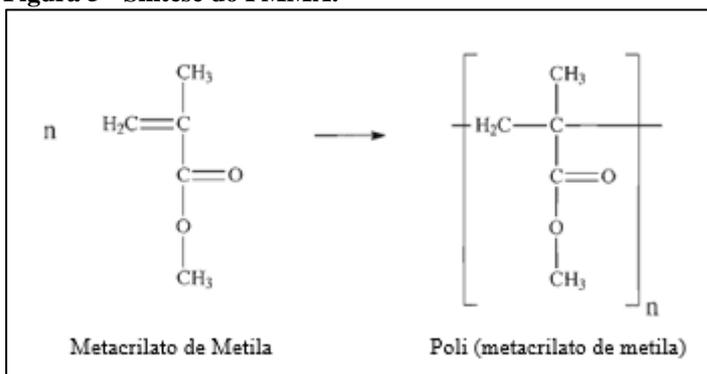
A partir das características tecnológicas, pode-se classificar os polímeros sintéticos em: termoplásticos e termofixos (Manrich, 2005).

- Termoplásticos: nesse caso, podem ser fundidos e solidificados repetidamente, tendo pouca ou nenhuma variação em suas propriedades. Tem como as características principais, a maior tenacidade à fratura e maior resistência ao impacto
- Termofixos: diferente dos polímeros citados acima, neste após a realização do processo de cura, não poderá ser fundido ou dissolvido.

Como foco neste trabalho tem-se o PMMA, conhecido comercialmente como acrílico, sendo muito utilizado devido à sua transparência e fácil coloração, e além disso, possui boas propriedades mecânicas e térmicas (Canevarolo Jr., 2006).

Mano (2019), afirma que o PMMA é um polímero termoplástico muito semelhante ao vidro, sendo obtido devido ao monômero metacrilato de metila. Quando acontece a polimerização a partir de soluções ou emulsão, há uma quebra das duplas ligações entre átomos de carbonos do metacrilato de metila, formando novas ligações com outras moléculas e assim produzindo cadeias poliméricas. A Figura 5, representa a estrutura química do monômero e então do polímero formado após a polimerização.

Figura 5 - Síntese do PMMA.



Fonte: Adaptado de Canevarolo Jr. (2006).

É a partir das reações de polimerização já mencionadas que são originados os polímeros, podendo ser classificada em poliadição e policondensação (Leonel, 2020).

Na poliadição, não há formação de subproduto e os pesos moleculares são altos, enquanto na policondensação, há formação de subproduto e os pesos moleculares são menores que a poliadição (Mano, 2019).

Mano (2019), aponta também modificação de polímeros como uma reação de polimerização, a qual tem resultados em reações químicas de polímeros existentes, podendo diversificar as aplicações destes materiais. A moldagem manual (hand lay-up) é um processo simples para o processamento de compósitos. Inicialmente, é necessário aplicar um produto desmoldante na superfície do molde para facilitar a retirada da peça após a cura. Em seguida, a resina é misturada com o catalisador adequado, e posteriormente, combina com o reforço, ou seja, as fibras. O processo de cura pode ser realizado com a temperatura ambiente ou em estufa, dependendo do tipo de polímero utilizado (Neto; Pardini, 2006).

2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

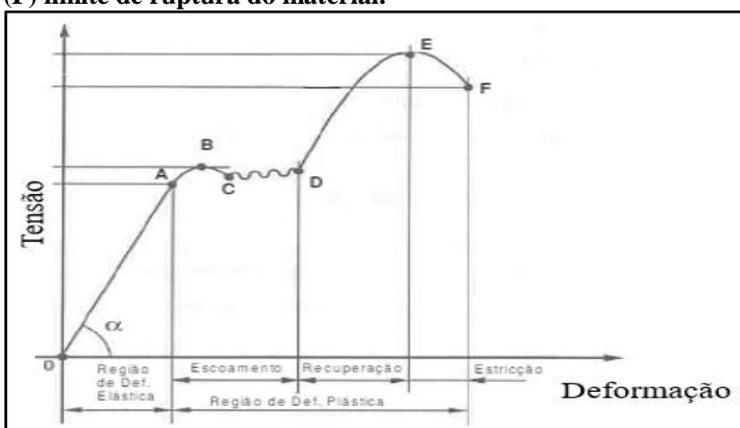
As propriedades mecânicas dos polímeros, para Canevarolo Jr. (2006) são encontradas a partir dos resultados obtidos por atuações mecânicas, como tensão ou deformação. E essas propriedades, dependem de fatores como temperatura, tempo, estrutura química e processamento do material.

Quando uma pequena tensão de tração é aplicada a um material, ocorre uma deformação elástica. Nesse caso, o material se alonga ligeiramente, mas após a remoção da carga, ele retorna as suas dimensões originais. No formato de comportamento, a deformação é proporcional a

tensão, e essa relação entre tensão e deformação é chamada de módulo de elasticidade (Shackelford, 2008).

Dependendo das características do material, eles podem ser classificados como dúctil ou frágil. O material é dúctil quando na realização do ensaio de tração, este apresenta deformação plástica e após elástica para então romper, como por exemplo: alumínio, aço, bronze, etc. Já o material frágil não apresenta deformação plástica, passa direto da deformação elástica e então rompe, acrílico, concreto e cerâmica são alguns exemplos de materiais frágeis (Senai, 2001). A Figura 6, representa o gráfico para o material dúctil.

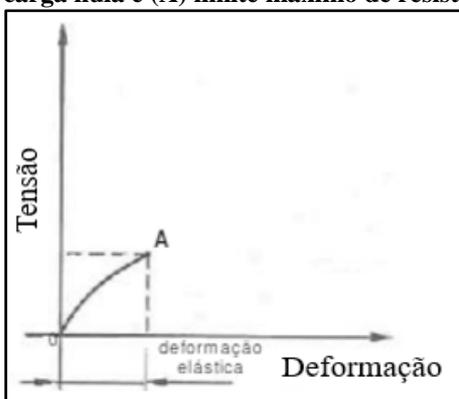
Figura 6 – Representação do gráfico tensão versus deformação para material dúctil: (0) início de ensaio carga nula, (A) limite de proporcionalidade, (B) limite superior de escoamento, (C) limite inferior de escoamento, (D) final de escoamento início da recuperação do material, (E) limite máximo de resistência e (F) limite de ruptura do material.



Fonte: Adaptado de SENAI (2001).

Já para o material dúctil, segue Figura 7 com sua representação.

Figura 7 – Representação do gráfico tensão versus deformação para material frágil: (0) início de ensaio carga nula e (A) limite máximo de resistência, ponto de ruptura do material.

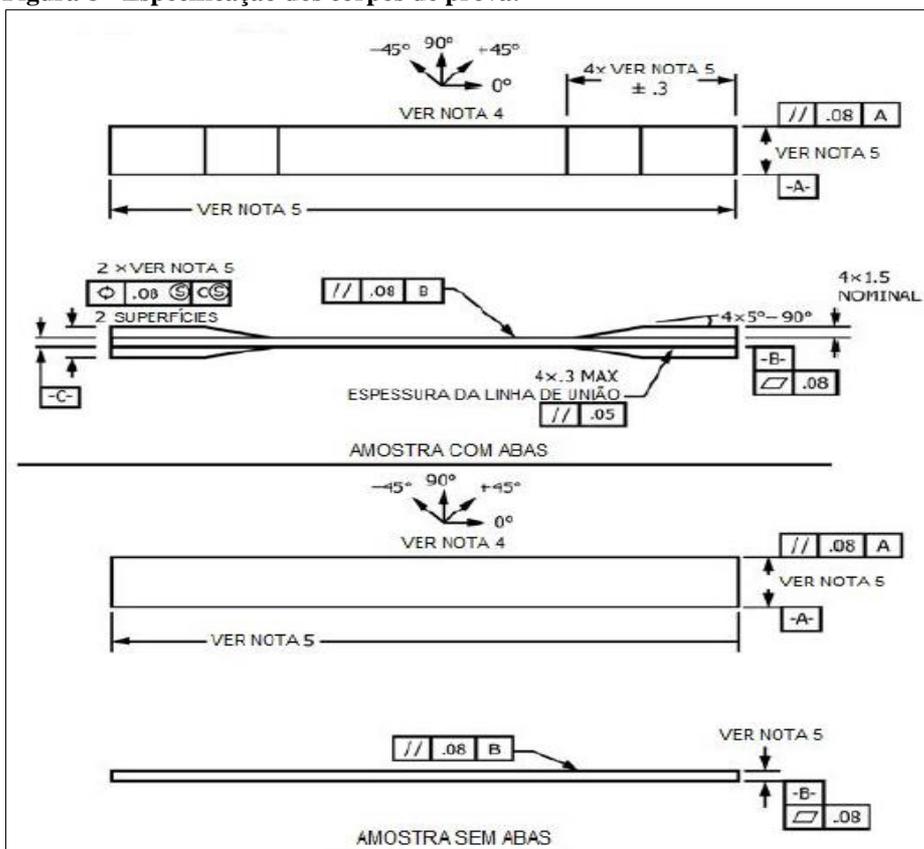


Fonte: Adaptado de SENAI (2001).

2.5 ENSAIO DE TRAÇÃO

A partir da norma ASTM D3039 (2014), encontram-se os princípios para realização dos ensaios de tração em materiais compósitos. O ensaio de tração consiste em fixar o corpo de prova e aplicar uma carga com velocidade constante até a ruptura do material. A Figura 8 mostra o desenho e especificações necessárias para o corpo de prova do ensaio.

Figura 8 - Especificação dos corpos de prova.



Fonte: Adaptado da norma ASTM D3039 (2014).

A Figura 8 acima indica para observar primeiramente qual será o material do teste para então fazer a seleção correta dos equipamentos e instrumentos que serão utilizados no ensaio. Para entender o detalhamento, a Tabela 2, descreve as dimensões recomendadas para a Figura 08 (ASTM D3039, 2014).

Tabela 2 – Dimensões referentes a Figura 08.

Orientação das Fibras	Largura (mm)	Comprimento total (mm)	Espessura (mm)	Comprimento do guia (mm)	Espessura da guia (mm)	Ângulo da guia (°)
0° unidirecional	15	250	1	56	1,5	7 ou 90
90° unidirecional	25	175	2	25	1,5	90

Equilibrada e simétrica	25	250	2,5	-	-	-
Aleatório-descontínuo	25	250	2,5	-	-	-

Fonte: Adaptado da norma ASTM D3039 (2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo experimental foi realizado no laboratório de metalografia da Unidade Central de Educação FAEM Faculdade – UCEFF, campus Chapecó/SC. Foram necessárias aproximadamente cinco noites para moldagem dos corpos de prova, e em duas noites foram realizados os testes de tração.

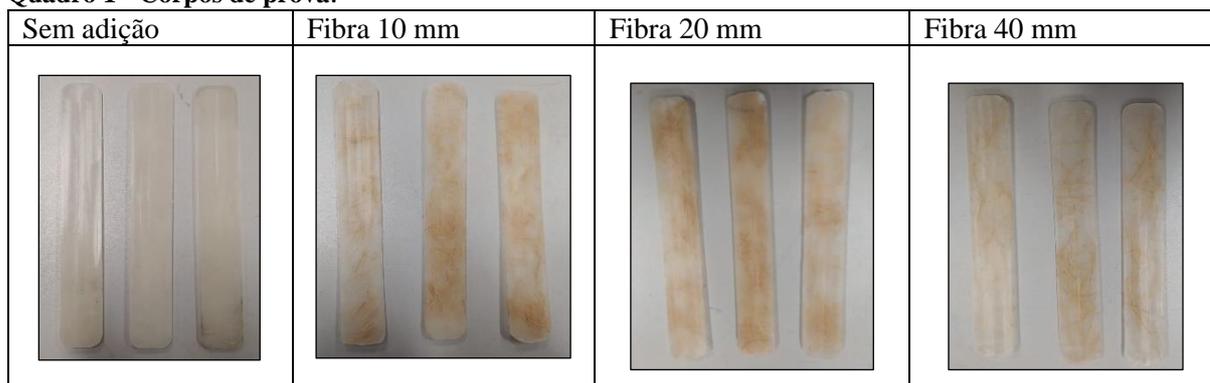
Para a confecção dos corpos de prova foi utilizada uma matriz em aço inoxidável 304 com dimensões de acordo com a norma ASTM D3039 (2014), onde para fibras aleatório-descontínuo as medidas são 25 mm de largura, 250 mm de comprimento e 2,5 mm de espessura. Nesta matriz foi aplicado o desmoldante para facilitar a retirada dos materiais após a cura de 20 minutos. A partir disto foram moldados os corpos de prova, ou seja, a preparação do compósito.

Conforme descrito anteriormente, a matriz do compósito utilizado é o PMMA, uma resina acrílica que seu aspecto físico é em pó, porém, para realizar o embutimento a frio foi necessário preparar a mistura com o catalisador. Esta mistura é feita a partir da proporção de 2:1 que é recomendada pelo fornecedor do polímero, ou seja, foi utilizado 16 gramas do PMMA em pó para 8 gramas do catalisador.

A obtenção destas fibras de coco verde foi feita manualmente, após descascar as frutas, as fibras foram retiradas do coco e feita uma limpeza para remover o que não seria utilizado. Em seguida, estas fibras foram separadas em diferentes comprimentos de 10, 20 e 40 milímetros e a proporção utilizada para cada amostra foi de 0,16 gramas de fibra. Os comprimentos foram definidos de forma aleatória com a intenção de verificar se a diferença de comprimento faria alguma variação de resultados.

Primeiramente foram preparadas três amostras de somente PMMA com catalisador e então mais três amostras do compósito com reforço para cada tamanho citado acima (10, 20 e 40 mm). Após avaliação dos resultados, verificou-se a necessidade de mais amostras para comparação, então foram preparadas mais duas amostras para os quatro diferentes tipos já citados.

O Quadro 1 a seguir mostra os corpos de prova já prontos, da esquerda para a direita, na ordem da amostra somente com PMMA e então deste polímero reforçado com as fibras de 10, 20 e 40 milímetros.

Quadro 1 - Corpos de prova.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os ensaios de tração foram realizados da forma que todos os corpos de prova fossem ensaiados até a ruptura e com velocidade de deslocamento do travessão de 2 mm/min.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, a partir dos resultados obtidos no ensaio de tração, foram calculadas as tensões de ruptura e, em seguida, foram geradas as curvas de tensão de ruptura em função da deformação específica. A partir disso, foram calculadas as médias e desvio padrão. Destaca-se que esse procedimento foi realizado nos quatro diferentes tipos de corpos de prova, sendo eles: corpos de prova sem adição de fibras e corpos de prova com adição de fibras de 10, 20 e 40 mm de comprimento.

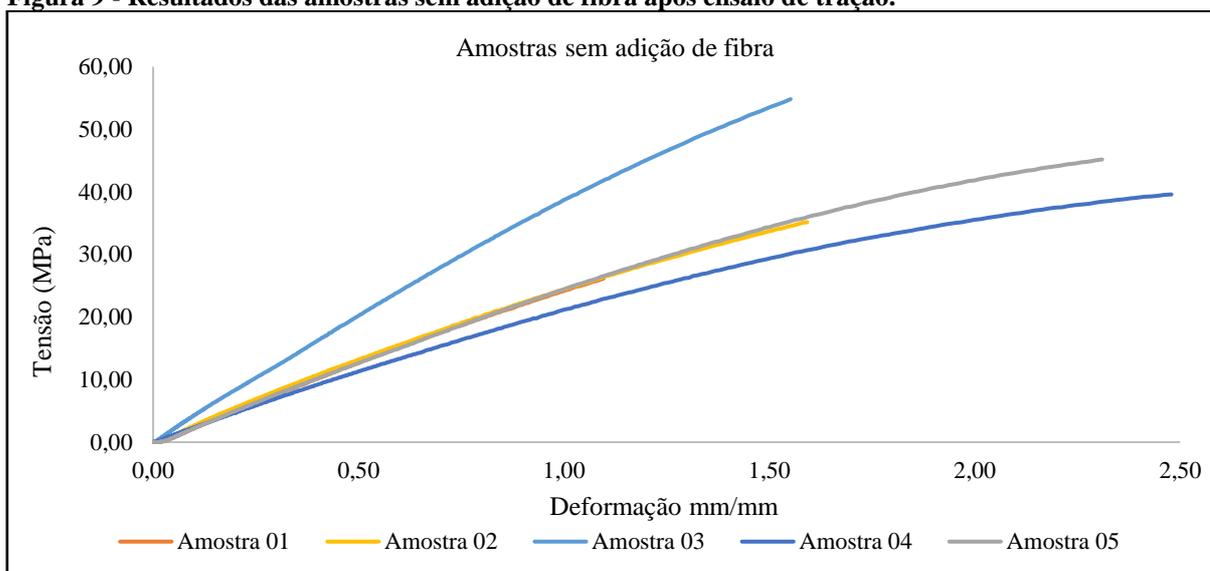
A Tabela 3 a seguir mostra os resultados da tensão de ruptura, em MPa, e da deformação específica, em mm/mm.

Tabela 3 – Resultados das amostras sem adição de fibra.

	A 01	A 02	A 03	A 04	A 05	Média geral	Desvio Padrão
Tensão de ruptura (MPa)	26,16	35,16	54,82	39,59	45,18	40,18	6,55
Deformação específica (mm/mm)	1,10	1,59	1,55	2,48	2,31	1,81	0,39

Fonte: Elaboração própria (2023).

Conforme apresentado na Figura 9, é possível observar a variabilidade de resultados nas amostras do polímero sem a adição de fibras, bem como a fragilidade do material.

Figura 9 - Resultados das amostras sem adição de fibra após ensaio de tração.

Fonte: Elaboração própria (2023).

É possível observar que as amostras 04 e 05 apresentaram os maiores valores de elasticidade, resultando em deformações de 2,48 e 2,31 mm/mm, respectivamente. Por outro lado, a amostra 03 obteve a maior tensão de ruptura, de 54,82 MPa, porém com deformação de 1,55 mm/mm.

A amostra 01 apresentou a menor tensão de ruptura das quatro amostras, de 26,16 MPa, e também a menor deformação, de 1,10 mm/mm. A curva da amostra 01 está praticamente sobreposta às curvas das amostras 02 e 05, as quais possuem tensões de ruptura de 35,16 MPa e 45,18 MPa, e deformações de 1,59 e 2,31 mm/mm, respectivamente.

Entretanto, devido à variação das tensões e deformações, essas amostras apresentaram um significativo valor de desvio padrão, que foi de 6,55 conforme demonstrado na Tabela 03. Por outro lado, as deformações variaram menos, o que resultou no desvio padrão de 0,39.

Já os resultados obtidos nas amostras com adição de fibra 10 mm apresentam valores um pouco mais próximos em comparação ao último gráfico apresentado, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados das amostras com adição de fibra 10 mm.

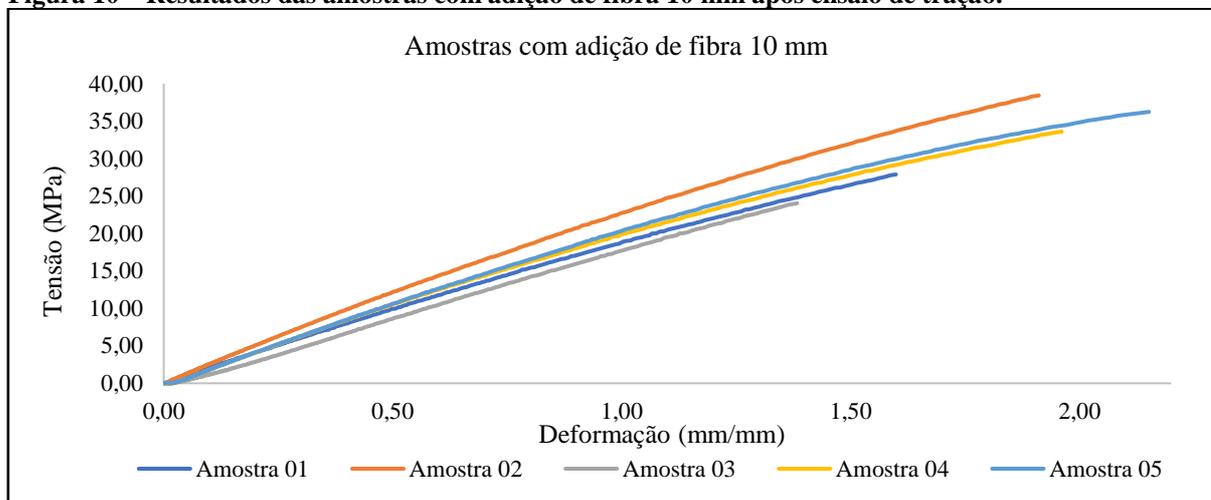
	A 01	A 02	A 03	A 04	A 05	Média geral	Desvio Padrão
Tensão de ruptura (MPa)	27,89	38,44	24,04	33,61	36,25	32,05	4,05
Deformação específica (mm/mm)	1,60	1,91	1,38	1,96	2,15	1,80	0,21

Fonte: Elaboração própria (2023).

Esperava-se que, com a adição das fibras, os resultados pudessem ser um pouco melhores do que o polímero sem adição, ou seja, maiores tensões de ruptura e deformação antes

de romper, porém o comportamento encontrado indica que ainda é um compósito frágil, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Resultados das amostras com adição de fibra 10 mm após ensaio de tração.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Observando a Tabela 4, pode-se verificar que o desvio padrão está em 4,05, sendo resultados mais confiáveis que os resultados das amostras sem adição de fibras. A maior tensão de ruptura foi encontrada na mostra 02, de 38,44 MPa e deformação 1,91 mm/mm. As amostras 01 e 03 obtiveram os menores valores tanto de deformação quanto de tensão de ruptura. Estas tensões de ruptura com menor valor, podem ter acontecido devido a adição das fibras, pois elas podem ter aumentado a quantidade de falhas no material, o que facilitaria a ruptura em tensões mais baixas, isso também se justifica porque o PMMA possui comportamento de material frágil.

Já, as amostras 04 e 05 tiveram tensões de ruptura de 33,61 e 36,25 MPa, respectivamente, aproximando-se da amostra 01. Além disso, essas amostras também apresentaram deformações ligeiramente maiores, de 1,96 e 2,15 mm/mm, respectivamente.

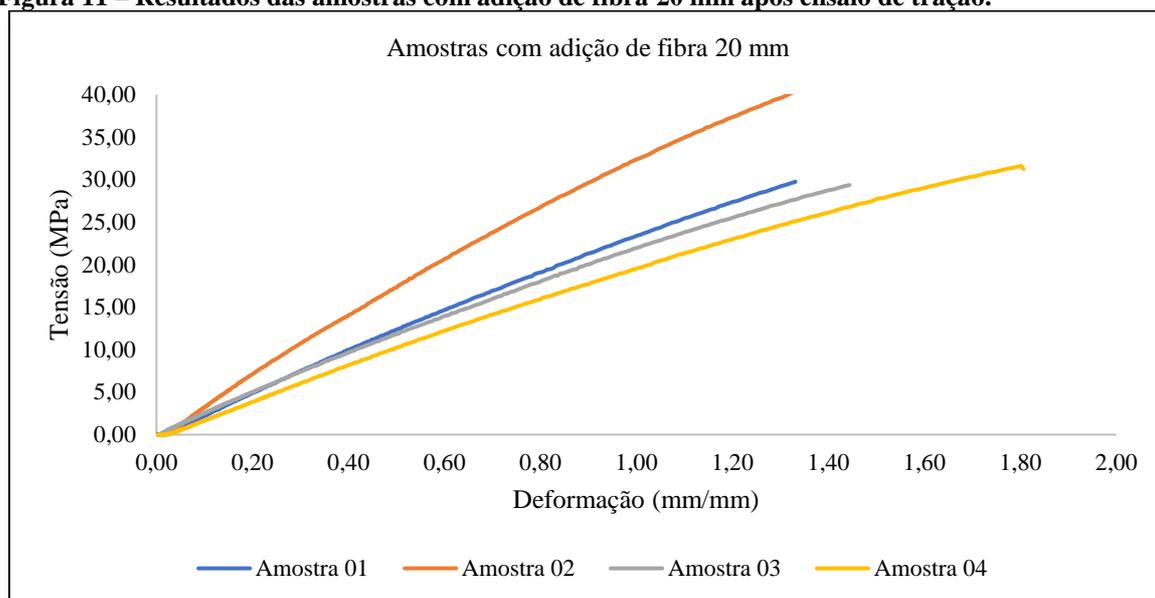
Os resultados obtidos para as amostras com adição de fibra 20 mm são mostrados na Tabela 5. Neste caso, estão apenas os resultados de quatro amostras, visto que a quinta amostra foi descartada por ter sido rompido com muita facilidade.

Tabela 5 – Resultados das amostras com adição de fibra 20 mm.

	A 01	A 02	A 03	A 04	Média geral	Desvio Padrão
Tensão de ruptura (MPa)	29,76	41,01	29,37	31,24	32,84	3,27
Deformação específica (mm/mm)	1,33	1,37	1,44	1,81	1,49	0,13

Fonte: Elaboração própria (2023).

O compósito ainda apresentou aleatoriedade dos resultados das amostras rompidas, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Resultados das amostras com adição de fibra 20 mm após ensaio de tração.

Fonte: Elaboração própria (2023).

Os valores mais próximos observados nas amostras 01 e 03, as quais tiveram tensão de ruptura de 29,76 e 29,37 MPa e deformação de 1,33 e 1,44 mm/mm, respectivamente. A amostra 04 teve a tensão de ruptura próxima da amostra 01 e 03, de 31,24 MPa, porém ela apresentou uma maior deformação, chegando a 1,81 mm/mm. Já para a amostra 02, apesar de ter a tensão de ruptura mais alta, de 41,01 MPa, a sua deformação ficou a mais baixa, chegando somente a 1,37 mm/mm.

Estas amostras foram as que chegaram ao menor desvio-padrão deste trabalho, sendo de 3,27 na tensão de ruptura e 0,13 na deformação, de acordo com a Tabela 05. Esse resultado se dá porque as amostras apresentaram valores de tensão e deformação mais próximos entre si.

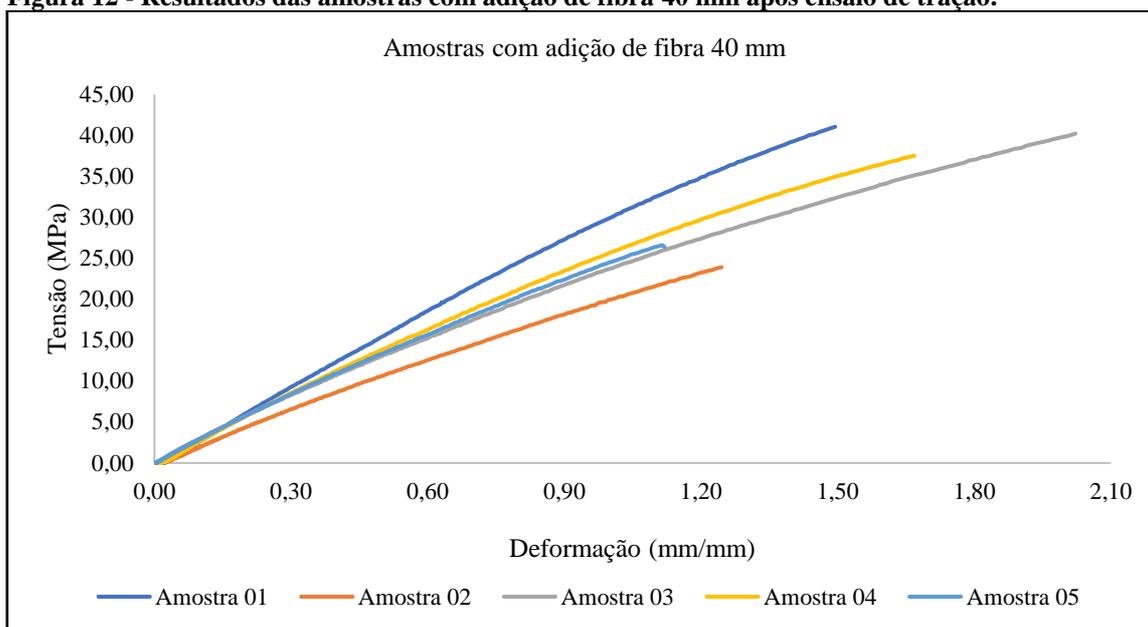
E por fim, a Tabela 6 a seguir mostra os resultados para as amostras com adição de fibras de 40 mm.

Tabela 6 – Resultados das amostras com adição de fibra 40 mm.

	A 01	A 02	A 03	A 04	A 05	Média geral	Desvio Padrão
Tensão de ruptura (MPa)	41,07	23,91	40,23	37,54	26,35	33,82	5,79
Deformação específica (mm/mm)	1,49	1,25	2,02	1,67	1,12	1,51	0,22

Fonte: Elaboração própria (2023).

A Figura 12 a seguir mostra a aleatoriedade dos resultados para essas amostras.

Figura 12 - Resultados das amostras com adição de fibra 40 mm após ensaio de tração.

Fonte: Elaboração própria (2023).

As amostras 02 e 05 foram as de comportamento mais frágil, suas tensões de ruptura não chegaram nem a 30 MPa, e a deformação foi menor que 1,30 mm/mm. Já as amostras 01, 03 e 04 tiveram bons resultados, que ficaram próximos uns dos outros. A amostra 01 apesar da tensão de ruptura de 41,07 MPa ter sido a maior apresentada, também foi a com menor deformação. E a amostra 03 com tensão de ruptura 40,23 MPa alcançou 2,02 mm/mm de deformação.

Enfim, a Tabela 7 a seguir apresenta as médias e os desvios padrões dos 04 diferentes conjuntos de amostras realizados.

Tabela 7 – Médias gerais.

	Sem adição	10 mm	20 mm	40 mm
Tensão de ruptura (MPa)	40,18	32,05	32,84	33,82
Desvio Padrão da tensão de ruptura	6,55	4,05	3,27	5,79
Deformação específica (mm/mm)	1,81	1,80	1,49	1,51
Desvio Padrão da deformação	0,39	0,21	0,13	0,22

Fonte: Elaboração própria (2023).

Sendo assim, observa-se que a amostra sem adição de fibra apresentou maior tensão de ruptura, de 40,18 MPa, entretanto, também obteve o maior desvio padrão entre as amostras. E na parte de deformação específica, a amostra sem adição de fibra quase se igualou à amostra com adição de fibra 10 mm.

As amostras com adição de fibra tiveram pouca variação de tensão de ruptura, sendo valores entre 32 e 34 MPa. E dentre estas, a mais confiável, ou seja, a amostra com menor

desvio padrão, é a amostra com adição de fibra 20 mm, a qual teve a tensão média de ruptura de 32,84 MPa e 3,27 de desvio padrão, bem como 1,49 mm/mm de deformação e somente 0,13 de desvio padrão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variação dos valores de tensão de ruptura e deformação específica do material compósito pode estar relacionada com o método de laminação manual ou também com a orientação das fibras.

Com base nos resultados apresentados, observa-se que, apesar do desvio padrão da amostra sem fibra ser de 6,55, estas apresentaram a maior tensão de ruptura, que chegou a 40,18 MPa. Comparando as amostras com adição de fibras, mesmo que fosse variado o tamanho da fibra, tanto para 10, 20 ou 40 mm, foram obtidos valores próximos de tensão de ruptura, e entre elas, os melhores resultados considerando também o desvio padrão, são os resultados da amostra com adição de fibra 20 mm, com tensão de ruptura de 32,84 MPa. Já a amostra que apresentou maior deformação específica foi a amostra com adição de fibra 10 mm, chegando a 1,80 mm/mm. Para as amostras 20 e 40 mm, a deformação foi de 1,49 e 1,51 mm/mm, respectivamente.

Portanto, é possível afirmar que neste estudo a adição de fibras como reforço no compósito não promoveu alteração na tensão de ruptura quando comparado ao PMMA sem adição de fibras. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que as fibras podem ter aumentado a quantidade de falhas no material compósito, o que torna a ruptura mais propensa a ocorrer em tensões mais baixas, e também porque o PMMA possui comportamento de material frágil.

Uma sugestão para trabalhos futuros é aumentar a proporção de quantidade de fibras, ou seja, ao invés de fazer as amostras com diferenças de tamanho, fazê-las com diferenças de quantidade de fibras.

REFERÊNCIAS

ASKELAND, Donald R.; FULAY, Pradeep P.; WRIGHT, Wendelin J. **The Science and Engineering of Materials**. 06. ed. Stamford/USA: Cengage Learning Customer & Sales Support, 2006.

ASTM. D3039/3039M/: **Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**, 2014.

BARBOSA, Richard Antony; SOUZA, George Ribeiro; SILVA, Valdirene Aparecida; GONÇALVES, Erika Peterson. **Extração de fibras de coco para aplicação em materiais de engenharia**. Universidade do Vale do Paraíba – UniVap, São José dos Campos/SP, p. 01-06, 2018.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose based fibres**. Progress in Polymer Science, v. 24, p. 221-274. 1999.

CALLISTER Jr., William D; RETHWISH, David G. **Materials Science and Engineering: na introdução**. 01. ed. Hoboken. John Wiley & Sons., 2013.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 02. ed. São Paulo/SP: Artliber Editora Ltda, 2006.

FREDEL, Márcio C.; ORTEGA, Patricia; BASTOS, Edson. **Propriedades mecânicas: ensaios fundamentais**. Santa Catarina, 2015.

LEONEL, Raquel Folmann. **Polímeros e cerâmicas**. 01. ed. Curitiba/PR: InterSaberes, 2020.

LOPES, Bruno Leonardy Sousa. **Polímeros reforçados por fibras vegetais uma revisão sobre esses compósitos**. São Paulo/SP: Editora Edgard Blücher Ltda, 2017.

MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. 01. ed. São Paulo/SP: Artliber Editora Ltda, 2005.

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a polímeros**. 02. ed. São Paulo/SP: Editora Edgard Blucher LTDA, 1999.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como materiais na engenharia**. 08. ed. São Paulo/SP: Editora Edgard Blucher LTDA, 2019.

NETO, Flamínio Levy; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos Estruturais: Ciência e tecnologia**. 01. ed. São Paulo/SP: Editora Edgard Blucher Ltda, 2006.

PEREIRA, Gilmar Brandão; PEREIRA, Glayce Cassaro; BENINI, Kelly Cristina Coelho de Carvalho; BANDEIRA, Cirlene Fourquet; MONTORO, Sérgio Roberto. **Caracterização de compósitos de Poliestireno de Alto Impacto (HIPS), reforçados com fibras de coco verde para eventual aplicação na indústria automobilística**. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, n. 34, p. 15-22, ago. 2017.

SATYANARAYANA, K. G.; PILLAI, C. K.; SUKUMARAN, K.; PILLAI, S. G. K. Structure property studies of fibres from various parts of the coconut tree. **Journal Of Materials Science**, v. 17, p. 2453 - 2462, 1982.

SENAI - PR. DET **Resistência dos Materiais**. Curitiba - PR, 2001.

SHACKELFORD, JAMES F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**. 06. ed. São Paulo/SP: Pearson Education do Brasil, 2008.

Thakur, V, K.; Singha A. S. Natural fibres-based polymers: Part I – Mechanical analysis of Pine needles reinforced biocomposites. **Bulletin of Material Science**, v. 33, p. 257-264, 2010.

TITA, V. **Análise dinâmica teórica e experimental de vigas fabricadas a partir de materiais compósitos poliméricos reforçados**. 1999. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos - SP.