

APLICAÇÃO DE FIBRA DE CARBONO COMO REFORÇO ESTRUTURAL EM UM BIOMATERIAL PARA UTILIZAÇÃO EM PRÓTESES

Rhayssa H. Amante Moreira e Silva, Universidade Federal Fluminense, rhayssa_amante@hotmail.com

Larissa de Oliveira Pereira Fonseca, Universidade Federal Fluminense, larissa.op.fonseca@gmail.com

Jayne Pereira de Gouvêa, Universidade Federal Fluminense, jpg@metal.eimvr.uff.br

Resumo. Ao se projetar uma prótese devem-se levar em consideração diversos fatores como absorção de impacto, armazenamento de energia, flexibilidade do movimento, fixação dos componentes, etc. O presente trabalho mostra o estudo de materiais a serem utilizados em próteses e será mostrado um ensaio de compressão com um material polimérico reforçado com fibra de carbono, realizado de acordo com a norma ISO 7743 e as suas propriedades obtidas com o experimento. Será mostrado o ajuste das curvas encontradas, a fim de analisar a rigidez do material. É de consenso que a condição da fibra influencia no compósito formado. Os resultados mostraram que existe uma boa adesão fibra/matriz, devido aos valores de rigidez obtidos, o que garante uma boa resistência mecânica deste material. Através da análise dos resultados do ensaio de compressão, nota-se que os CP's que apresentaram maiores valores de rigidez, também apresentaram uma relação entre força e deslocamento mais linear.

Palavras chave: Próteses. Fibra de Carbono. Reforço. Compressão. Rigidez.

1. INTRODUÇÃO

A perda de um órgão ou de uma parte do corpo gera, além da perda da função, transtornos sociais e psicológicos. Os avanços alcançados na área da Saúde, aliados à Engenharia e a outros ramos da Ciência, motivados principalmente pelo aumento da expectativa e da qualidade de vida, têm possibilitado o desenvolvimento de técnicas que buscam restabelecer as funções totais ou parciais do órgão ou do tecido da pessoa que sofreu algum tipo de mutilação ou foi acometida por alguma doença. Dentre estas técnicas, a que apresenta maior versatilidade e possibilidades de desenvolvimento é a que oferece aos pacientes a substituição total ou parcial do tecido danificado por implantes constituídos por biomateriais (Oréfice, 2005). Isso tem resultado no desenvolvimento de implantes de diversos tipos, com diferentes formatos e constituídos de vários biomateriais tanto que hoje é praticamente impossível saber o número de modelos de próteses disponível no mercado mundial.

Nas últimas décadas, o setor de biomateriais não só cresceu em número de produtos disponíveis e em desenvolvimento, mas também avançou economicamente de maneira significativa. Seu impacto na melhoria da qualidade da vida humana é inegável e sua contribuição futura deve ser numericamente mais elevada, tendo em vista a tendência bem estabelecida de envelhecimento populacional.

Nas estruturas utilizadas no setor aeroespacial, os requisitos de baixa massa, alta resistência mecânica e rigidez, além da estabilidade dimensional fomentaram, nas últimas décadas, a pesquisa e o desenvolvimento de materiais compósitos avançados, tais como os reforçados com fibra de carbono, difundindo seu uso neste setor em larga escala. Mais recentemente, não somente no setor aeroespacial, mas em particular na área de bioengenharia, o emprego de materiais compósitos de alto desempenho vem encontrando um vasto campo de utilizações. A substituição de membros amputados, principalmente pés e pernas, tem usado como recurso uma ampla diversidade de materiais, mas encontrou nos materiais compósitos o seu grande aliado, pelas mesmas características que vem atendendo a outros setores industriais, tais como uma ótima relação massa/resistência mecânica e sua capacidade de ser produzido conforme as solicitações impostas à peça.

As boas propriedades mecânicas dos materiais compósitos com fibra de carbono são função não só das características intrínsecas dos componentes como também da adesão entre matriz e reforço (Wu, 1997). Uma adesão interfacial melhorada é normalmente alcançada com a utilização de fibra de carbono que tenha recebido tratamento superficial (Lebrão, 2005). Alguns autores sugerem um procedimento mais comum, utilizando como recobrimento das fibras o próprio polímero e que vai atuar como interface devido à maior capacidade de penetração da matriz nesta zona interfacial (King, 1993). Além disso, as forças geradas na matriz durante o teste de compressão podem ser melhores distribuídas pela interface polimérica, resultando em um aumento da resistência do material.

Com o aumento do uso deste compósito na área médica, devido também à sua versatilidade de processamento e moldagem, verifica-se a necessidade de equipamentos, processos, técnicas e metodologias de fabricação para a

obtenção de próteses com formas geométricas complexas a baixo custo e tempos de desenvolvimento e/ou fabricação reduzidos.

Diante desses fatos, onde existe essa grande dificuldade das práticas já utilizadas e o interesse em trazer as pessoas que necessitam do uso de próteses, uma melhor qualidade de vida, este trabalho tem como objetivo, o desenvolvimento de um material reforçado com fibra de carbono, pois esta apresenta maior resistência mecânica e menor massa específica quando comparada a outros materiais já usuais.

Nesse sentido, é de grande importância, o estudo dos efeitos das camadas e direções em que as fibras de carbono são colocadas no corpo de prova, sendo ensaiada em planos diferentes; é também de grande relevância a lubrificação deste material.

Portanto, a fim de se alcançar o objetivo, buscar-se-á desenvolver materiais, que de uma maneira confiável, possuem a rigidez necessária para que este resista às falhas por tração e rasgamento em potencial de utilização, submetido à força compressiva, e, assim utilizar suas propriedades para auxiliar na definição destes para serem utilizados em materiais para fabricação de próteses.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

No presente trabalho foi utilizado, como reforço, um tecido de fibra de carbono de 0,40mm de espessura, com gramaturas bidirecionais, fornecida pela empresa TEXIGLASS. A fibra foi cortada em formas circulares, um pouco menor que o diâmetro do molde, de modo que esta ao ser colocada não encostasse a borda.

Como matriz polimérica foi utilizada uma borracha de silicone rígida preta, lote 0916016, disponível comercialmente, fornecida na forma líquida pela empresa Redelease. Essas matrizes foram transformadas em sólidas, sendo na fase líquida acrescida de um catalisador em 5% em peso, fornecido pela mesma empresa.

Os moldes para o envazamento da borracha de silicone foram confeccionados em uma impressora 3D, para que os corpos de prova tivessem as medidas determinadas pela ISO 7743. Norma que determina métodos para a realização de ensaios de compressão, a fim de obter propriedades de tensão-deformação de borrachas vulcanizadas ou termoplásticas. Através da Fig. (1) temos uma melhor representação de tais moldes, bem como estes já preenchidos pelo compósito.

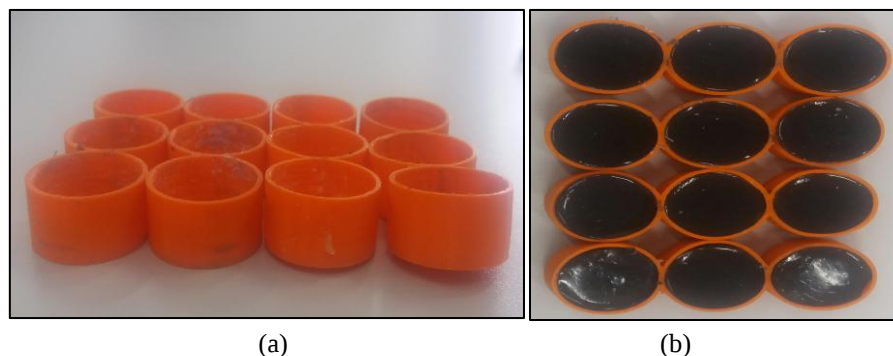


Figura 1. (a) Vista lateral dos moldes confeccionados em impressora 3D (b) Vista superior dos corpos de prova já prontos para a cura, com altura e diâmetro de acordo com a Norma ISO 7743.

2.1.1. Preparação dos Corpos de Prova

O processamento dos corpos de prova foi realizado em um molde circular com $\pm 29,5$ mm de diâmetro e $\pm 12,5$ mm de altura, de modo a atender as especificações da Norma ISO 7743. As fibras foram cortadas de forma circular, com diâmetro de aproximadamente 26 mm e impregnadas pelo próprio polímero, por cerca de 5 minutos para secagem, conforme a Fig. (2) de modo a ocorrer percolação e o escoamento da matriz ao longo do plano do reforço.

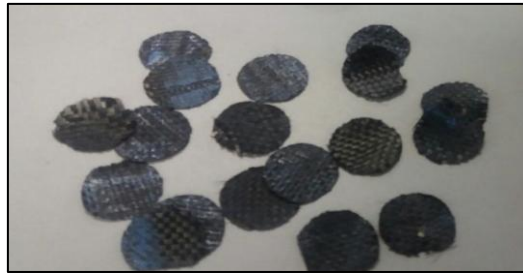


Figura 2. Fibra de carbono já cortada, impregnadas pelo próprio polímero.

Após preparada a fibra, pesou-se o silicone em uma balança de precisão, acrescido de catalisador em de 5% do seu peso. Já com os moldes untados com parafina, de modo a facilitar o desmolde do compósito, o silicone foi colocado pela metade, intercalado pela colocação da fibra posicionada no centro e posteriormente o seu restante, o que pode ser melhor representado pela Fig. (3). Cada corpo de prova apresentava em média 8,3 g de silicone já com o catalisador.

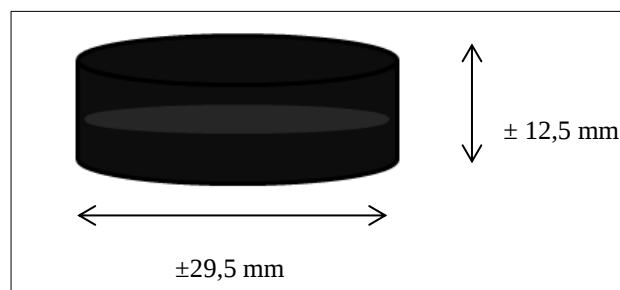


Figura 3. Representação da colocação da fibra de carbono na matriz polimérica.

Para os corpos de prova preparados com mais de uma fibra, as fibras foram coladas cuidadosamente umas as outras, com o próprio polímero, a fim de que não ocorressem descontinuidades. Foram preparados 12 corpos de prova, sendo estes de quatro tipos diferentes, conforme mostra a Tab. (1).

Tabela 1. Valores referentes à quantidade de camadas de fibra colocada em cada corpo de prova.

CPs	Camada(s) de Fibra
1 A, B e C	-
2 A, B e C	1
3 A, B e C	2
4 A, B e C	3

O sistema foi curado a temperatura de 25 °C por 24 horas. Faz-se necessário um período de pós-cura de 24 horas, para que o material atinja o máximo de suas propriedades mecânicas e desta forma, se garanta o maior aproveitamento possível da desmoldagem, totalizando assim, a cura total em 48 horas. Após o processo de cura e pós-cura, os corpos de prova foram desmoldados, conforme mostra a Fig. (4) todos identificados, para realização do ensaio.



Figura 4: Corpo de prova desmoldado após a cura.

2.2 Métodos

2.2.1. Ensaio de Compressão

Os ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Mecânica Aplicada da EEIMVR/UFF, na máquina de tração/compressão EMIC série 23 com capacidade de 20 KN.

Os ensaios foram realizados conforme a ISO 7743, já citada na seção anterior. A norma diz que o ensaio de compressão com tais materiais deve ser feito com uma camada de óleo lubrificante sobre as faces superior e inferior do corpo de prova. O corpo de prova foi posicionado com as faces superior e inferior ungidas de óleo lubrificante sobre o prato de metal já existente na máquina, conforme mostrado pela Fig. (5). Foi colocada uma placa de metal de aço 72, com 50,82 mm de diâmetro e 7,10 mm de altura, em formato cilíndrico sobre a face superior do corpo de prova para que ambas as faces estivessem em contato com uma superfície plana a fim de não alterar ou prejudicar o ensaio. O principal objetivo da presença do óleo lubrificante é a eliminação de qualquer tipo de atrito nas superfícies, a fim de evitar o desgaste prematuro do polímero.



Figura 5: Posicionamento dos Cp's de forma correta para o ensaio de compressão.

O óleo lubrificante utilizado foi um mineral puro de baixa viscosidade.

A velocidade de aplicação da força durante o ensaio, o deslocamento máximo, as dimensões e formato do corpo de prova também estavam de acordo com a norma.

Os dados do ensaio de compressão estão dispostos na Tab. (2).

Tabela 2. Parâmetros do ensaio de compressão.

Parâmetros	Valores
Velocidade	1 mm/min
Força máxima aplicada	100 N
Deslocamento máximo	2 mm

Todos os ensaios realizados foram finalizados, quando atingida sua deformação (deslocamento) máxima, o que não levou a falha do corpo de prova ensaiado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do ensaio de compressão, foram gerados os dados de Tempo (s), Força (N), e Deformação (mm) correspondente a cada corpo de prova, sendo estes com ou sem a fibra de carbono, de modo a comparar a rigidez entre eles, comprovando assim, a eficiência ou não do reforço.

Foram gerados em média, a cada ensaio realizado, 400 pontos. Porém, a fim de obter uma maior precisão dos resultados, foi feita uma seleção destes, através de uma interpolação, passando a considerar os dados de 10 em 10 pontos e também realizado o ajuste de curva, sendo então finalizado quando atingida sua força ou deformação máxima, como mostra a Tab. (3).

Após a obtenção do par ordenado (força e deslocamento) e feito o refinamento dos dados, foi possível plotar os gráficos de Força x Deslocamento, referente a cada CP ensaiado. Feito isso, ajustou a melhor reta que passa pelos pontos do gráfico, considerando-se uma deformação inicial e força inicial igual à zero.

Desta maneira, a equação da reta genérica ajustada ficou da forma apresentada na Equação 1:

$$F = K.x \quad (\text{Eq.1})$$

Onde F é a força em cada ponto do ensaio, dada em Newton (N), K é a rigidez obtida através do coeficiente angular da reta, dada em Newton por milímetro (N/mm) e x é o deslocamento em cada ponto do ensaio, dado em milímetros (mm).

Tabela 3. Dados resultantes do ensaio de Compressão.

CPs	Identificação	Força Máxima (N)	Deformação Máxima (mm)
1 (Sem fibra)	A	93,739	0,9233
	B	92,390	0,9941
	C	98,459	0,7308
2 (Com 1 fibra)	A	90,367	0,8457
	B	97,785	0,3915
	C	92,391	0,8546
3 (Com 2 fibras)	A	91,041	0,8503
	B	93,739	0,6231
	C	94,413	0,4196

Os ensaios referentes aos compósitos reforçados com 3 camadas de fibras não foram realizados, pois a aderência fibra/matriz não se mostrou satisfatória, por ser a fibra uma manta impermeável, o silicone não adentrou em suas tramas, causando seu descolamento e consequentemente uma ruptura do corpo de prova.

Analisando tais dados, foi feita uma média dos valores de força e deformação para cada um dos três tipos ensaiados, gerando assim, um gráfico comparativo, visto na Fig. (3), dos valores de rigidez referentes aos corpos de prova sem fibra, com uma e duas camadas de fibra, respectivamente.

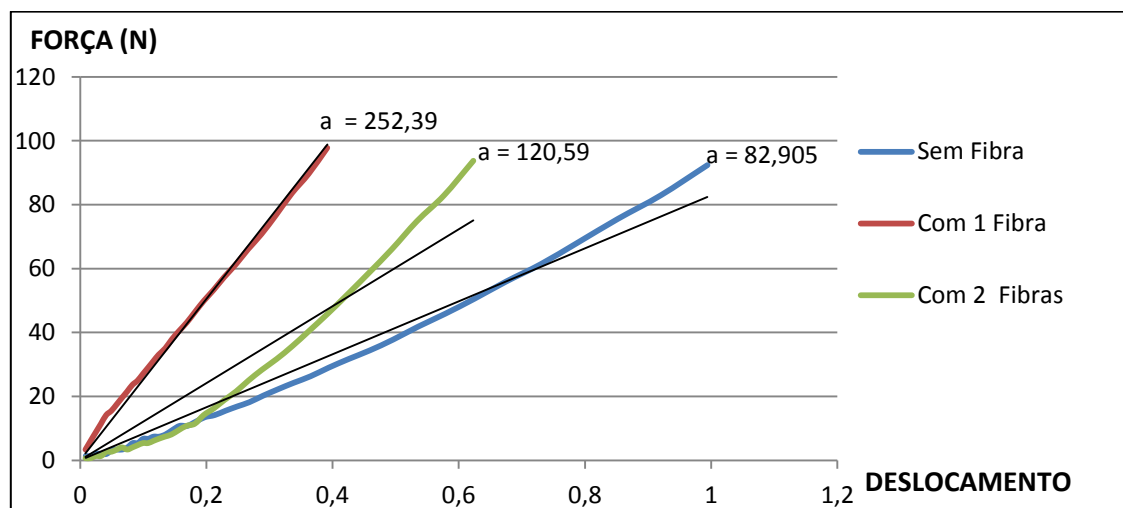


Figura 3. Gráfico comparativo dos valores de rigidez.

A amostra do compósito com uma camada de fibra de carbono (2), apresentou um valor de rigidez bem superior, comparado aos demais. Já o compósito com duas fibras (3) teve seu valor bem inferior ao que possui apenas uma camada, porém maior que o sem fibra (1). No compósito com duas camadas, provavelmente não ocorreu uma adesão entre as camadas de fibra de carbono.

O conteúdo volumétrico de fibras no compósito tem um imenso impacto nas propriedades mecânicas do material. Entretanto o aumento no conteúdo de fibras pode resultar em uma maior resistência a infiltração da matriz no reforço durante o processamento, podendo gerar descontinuidades no compósito final (Lee, 1995).

Com o objetivo de caracterizar melhor os compósitos em estudo, foi feito um corte vertical dividindo o CP ao meio, para analisar os tipos de fratura do material e as possíveis falhas. Acredita-se que ocorreu no corpo de prova 2, a ruptura intralaminar, ocasionada pelo desprendimento das fibras ou a delaminação, que consiste em um descolamento entre duas camadas contínuas, o que é muito comum nos materiais de fibras contínuas.

4. CONCLUSÕES

Observando os resultados da rigidez para os três diferentes compósitos, percebe-se um valor significativo para o compósito reforçado apenas com uma camada de fibra, sendo uma boa alternativa para seu uso em próteses, possibilitando atender os requisitos da funcionalidade necessária de sua estrutura.

Já os compósitos com duas camadas ou mais, que não apresentaram um valor significativo de rigidez, provavelmente não ocorreu uma adesão entre as camadas da fibra de carbono.

Não se pode esquecer as variáveis correlacionadas ao processo, tais como características do polímero e do reforço, geometria do molde, tempo de moldagem, temperatura, permeabilidade da fibra, viscosidade do polímero, dentre outras. Para minimizar os problemas que podem surgir e comprometer os processos envolvidos torna-se necessário uma rigorosa fabricação do material, atentando-se para que não possa ocorrer falhas ou fraturas no mesmo.

Vale ressaltar, que em busca de uma melhoria nessa adesão entre as camadas de fibra, existem outras configurações possíveis, porém requer um pouco mais de tempo de análise.

Conclui-se também que a rigidez é diretamente proporcional a linearização das curvas geradas, o que é notório nas representações gráficas, onde para as maiores valores de rigidez, foram geradas curvas mais lineares.

5. REFERÊNCIAS

- KING, J.A.; Buttry, D. A. & Adams, D. F. – **Polymer Composites**, 14, 301 (1993).
- LEBRÃO, G.W.; Marinucci, G.; Rossi, J. L. Análise de custo em materiais compósitos carbono epóxi, **III Congresso Brasileiro de Carbono**, Rio de Janeiro, 2005.
- LEE, C-L.; Wei K-H. – **Journal of Applied Polymer Science**, 77, p. 2149 (2000).
- ORÉFICE, R.L. 2005. **Biomateriais e Biocompatibilidade**. In: F. ORÉFICE (org.), *Uveíte: Clínica e Cirúrgica: Texto & Atlas*. 2ª ed., Rio de Janeiro, vol.2, p. 1317-1351.
- WU, G. – **Polymer Journal**, 29,705(1997).

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa TEXIGLASS pelo fornecimento dos reforços em fibra de carbono, e a Técnica Isabela Santana de Oliveira do Laboratório de Ensaio Mecânicos pela ajuda na realização dos ensaios.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores Rhayssa Helena Amante Moreira e Silva, Larissa de Oliveira Pereira Fonseca e Jayme Pereira de Gouvêa são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.