

TÍTULO

DESENVOLVIMENTO DE MÚSCULOS ARTIFICIAIS EM FIBRA DE CARBONO

Jasmine Vitória (IC), Antônio Carlos Ancelotti Júnior (PQ)¹*Universidade Federal de Itajubá***Palavras-chave: Compósitos. Fibra de Carbono. Músculo artificial. Silicone.****Introdução**

A humanidade, desde seus primórdios, impulsionada por um desejo inabalável de progresso, dedica-se incansavelmente ao desenvolvimento de novas tecnologias. Essa busca incessante por evolução nos conduziu a um momento singular, onde a relação entre homem e máquina se estreita cada vez mais. Nesse contexto, surge o estudo promissor dos músculos artificiais, um campo de pesquisa com potencial transformador para diversos setores da sociedade, ainda em ascensão no Brasil. A implementação de fios de músculo artificial em próteses biônicas e robôs desponta como um marco inovador, abrindo portas para um futuro onde os limites da capacidade humana se expandem para além do imaginável. Os músculos artificiais surgem como uma promessa empolgante no campo da engenharia biomédica, imitando os princípios funcionais dos músculos naturais com respostas rápidas e eficientes a estímulos externos. No entanto, para alcançar seu pleno potencial e superar as próteses atuais, impulsionadas por motores elétricos e sistemas pneumáticos, é crucial superar desafios relacionados à resistência. Nesse contexto, a exploração de materiais inteligentes se apresenta como um caminho promissor, como por exemplo ligas metálicas com memória de forma, polímeros eletroativos e materiais piezoelétricos se destacam como protagonistas nessa jornada [1]. Outro material que vem se destacando no campo de estudos para a produção de músculo artificiais é a fibra de carbono, isso se deve as suas propriedades mecânicas superiores, especialmente em aplicações que requerem alta resistência e baixa densidade. Composta principalmente de átomos de carbono dispostos em uma estrutura cristalina, a fibra de carbono possui uma combinação única de alta resistência específica e rigidez, superando materiais

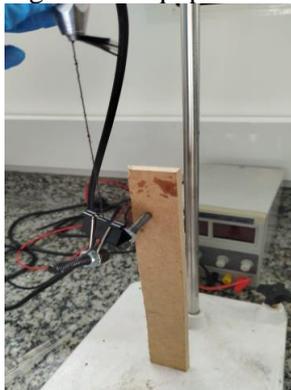
tradicionais como aço e alumínio (Singh et al., 2022). Essas características tornam a fibra de carbono ideal para aplicações na indústria aeroespacial, automotiva e em equipamentos esportivos, onde a redução de peso sem comprometer a resistência é essencial. Além das propriedades mecânicas, a fibra de carbono exibe excelente resistência à corrosão e estabilidade térmica. Segundo Zhao et al. (2023), a estabilidade térmica da fibra de carbono a torna adequada para operações em ambientes de alta temperatura, enquanto sua resistência à corrosão permite seu uso em condições ambientais adversas, como na construção de estruturas marítimas e em componentes expostos a agentes químicos agressivos. Ademais, a baixa expansão térmica da fibra de carbono contribui para a estabilidade dimensional de estruturas críticas, minimizando a deformação causada por variações de temperatura (Li et al., 2021). As propriedades das fibras combinada com o silicone demonstra uma combinação efetiva para a produção de músculo artificial, pois o silicone proporciona a elasticidade necessária para que ocorra a dilatação e contração do material.

Metodologia

O desenvolvimento desta pesquisa, foi realizada no Laboratório de Materiais Compósitos, localizado no prédio Hangar na Universidade Federal de Itajubá, com isso foram utilizados rolos de fibra de carbono e silicone comercial como matérias-primas para a fabricação de um músculo artificial. A fibra de carbono foi submetida a um processo de torção, realizado com o auxílio de um torno mecânico, a fim de conferir propriedades mecânicas semelhantes às dos músculos biológicos. A cura do material foi em realizada em temperatura ambiente e também a 60°C

no período de 24 e 18 horas respectivamente. Para garantir a precisão durante o processo de cura do silicone, uma estrutura confeccionada manualmente foi empregada para fixação dos músculos artificiais, garantindo a uniformidade da forma e das propriedades mecânicas desejadas. Após a fabricação, o músculo artificial foi submetido a uma série de testes rigorosos, incluindo análises térmicas, elétricas e químicas, com o objetivo de avaliar a sua capacidade de dilatação e contração em resposta a diferentes estímulos. Estes testes permitiram verificar a eficiência do músculo artificial em replicar movimentos semelhantes aos dos músculos naturais, além de avaliar a sua estabilidade e durabilidade em condições variáveis. Para serem feitos esses testes foi improvisado um equipamento que podemos ver na Figura 1, para poder observar melhor a resposta do músculo diante dos testes.

Figura 1 – Equipamento improvisado para os testes



Neste equipamento um dos lados da fibra do músculo foi preso em um misturador e a outra extremidade foi improvisado um peso e um método para ver caso houvesse contração, essa parte foi feita usando um Binder clips com 2 parafusos e 2 porcas e entre esse espaçamento um arame que ficava em contato com uma ripa de madeira, cuja foram feitas medidas com uma régua em sua lateral para podemos observar quanto a fibra contraiu, após montado esse equipamento foram feitos os testes.

O teste elétrico foi realizado através da conexão de um fio ligado em uma fonte e através de um fio foi colocado o polo positivo e negativo na fibra já torcida e curada.

O teste químico foi feito de um estimulador Hexano P.A, no qual a fibra já torcida e curada foi mergulha em um béquer de 150 ml com o produto para verificar se houve alguma dilatação

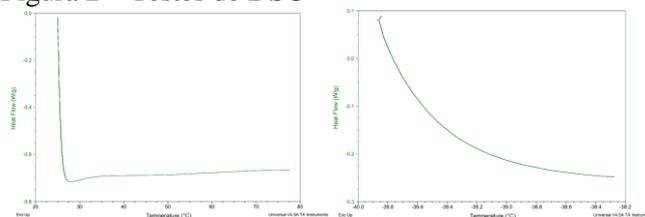
O teste térmico foi feito através de um soprador, no

qual a temperatura máxima é de 100°C, com a finalidade de observar alguma dilatação ou contração.

Resultados e discussão

O resultado da pesquisa, mostrou-se ineficiente, uma vez que o silicone comercial não apresentou o comportamento esperado. Isso pode-se notar pela Figura 2.

Figura 2 – Testes de DSC



Na figura acima podemos ver dois gráficos de DSC com variação de temperaturas diferentes para o silicone. Esses testes foram feitos especificamente para ver a temperatura de transição vítrea (T_g) que para polímeros, é a temperatura em que o material passa de um estado vítreo rígido para um estado mais flexível e as reações exotérmicas e endotérmicas a DSC pode identificar processos em que o material absorve ou libera calor, como oxidação, decomposição ou cura (no caso de polímeros). Com isso podemos observar que o silicone comercial realmente não mostrou o comportamento ideal, o que acabou mostrando limitações nos ensaios feitos.

No teste elétrico ao conectar os polos positivo e negativo na fibra torcida e curada, observou-se uma breve contração inicial do material. No entanto, logo em seguida, o silicone começou a apresentar sinais de combustão, comprometendo a integridade da amostra. Esse comportamento indica que o material não resistiu adequadamente à passagem de corrente elétrica nas condições estabelecidas, resultando em degradação térmica.

No teste químico com Hexano P.A, a fibra foi mergulhada no solvente com o objetivo de observar dilatações ou mudanças estruturais. No entanto, o silicone comercial utilizado na fibra apresentou dissolução parcial no solvente, não proporcionando resultados satisfatórios. Esse comportamento demonstra a incompatibilidade do material com o solvente testado, inviabilizando seu uso em ambientes com exposição a substâncias similares.

No teste térmico realizado com um soprador a uma temperatura máxima de 100°C, não foram observados sinais de dilatação ou contração significativos na fibra torcida e curada. A estabilidade dimensional do silicone sob essas condições sugere que, dentro desse intervalo de temperatura, o material mantém suas propriedades sem alterações perceptíveis.

Conclusões

Dessa forma, apesar das tentativas de desenvolver um músculo artificial à base de silicone e fibra de carbono com um enfoque em viabilidade econômica, os resultados não foram satisfatórios. A combinação dos materiais mostrou limitações significativas, especialmente no processo de torção, que resultou no rompimento da fibra de carbono. A falta de resistência adequada à tensão mecânica, aliada à incapacidade do silicone de oferecer suporte estrutural durante a torção, inviabilizou o sucesso da proposta. Novas abordagens com materiais mais resistentes ou ajustes no processo de torção serão necessários para melhores resultados.

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Antônio Carlos Ancelotti Júnior, pela orientação, paciência e apoio inestimável durante o desenvolvimento deste projeto de Iniciação Científica. Sua dedicação, conhecimento e disposição para compartilhar sua experiência foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e para o sucesso desta pesquisa. Cada orientação e conselho foram fundamentais para a superação dos desafios enfrentados ao longo do trabalho. Agradeço também à FAPEMIG pelo financiamento e apoio financeiro concedido, sem os quais este projeto não seria possível. O patrocínio fornecido foi fundamental para viabilizar as pesquisas e possibilitar o desenvolvimento de novas ideias no campo de estudo. Essa oportunidade de explorar o conhecimento científico com recursos adequados foi essencial para a execução do projeto. Finalmente, agradeço à Universidade Federal de Itajubá por disponibilizar o laboratório e os materiais necessários para a realização dos experimentos. A infraestrutura fornecida foi fundamental para o andamento do trabalho e possibilitou a obtenção de resultados concretos. Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste projeto.

Referências

[1] S. Clarson, J. Semlyen, Siloxane Polymers,

Prentice Hall, 1993.

[4] Chen, J., Liu, X., & Zhang, H. (2023). Thermal Conductivity Optimization of Carbon Fibers for Advanced Composite Applications. *Journal of Materials Science*, 58(4), 1456-1467..

[6] Kim, S., Lee, J., & Park, M. (2022). Electrical Properties of Carbon Fiber Composites: Applications in Electromagnetic Shielding. *Advanced Functional Materials*, 32(8), 2201835.

[7] Li, K., Zhao, Q., & Sun, Y. (2021). Dimensional Stability of Carbon Fibers Under Thermal Cycling. *International Journal of Advanced Materials Research*, 142(7), 389-396.

[8] Singh, R., Gupta, A., & Patel, S. (2022). Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Composites: A Review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 154, 106803.

Resistance and Thermal Stability of Advanced Carbon Fiber Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(20), e52036.