

ANÁLISE ESTRUTURAL DE UMA JUNTA DE JOELHO FABRICADA EM COMPÓSITO DE FIBRA DE ALGODÃO

Danilo C. Rodrigues¹ (IC), Felipe S. Eloy (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Análise estrutural. Compósitos naturais. Fibra de algodão. Método dos elementos finitos. Prótese de joelho.

Introdução

O desenvolvimento de próteses que unam conforto ao paciente e baixo custo é demanda em alta no tocante de projetos interdisciplinares em engenharia. Uma alternativa para mitigar o primeiro problema é a aplicação de mecanismos que buscam reproduzir de maneira mais verossímil a biomecânica de um membro perdido, enquanto para o segundo o estudo e fabricação de próteses com materiais de baixo custo.

O presente trabalho buscou, portanto, implementar ambas as soluções para o caso particular de uma junta de joelho, componente fundamental de próteses transfemorais. Para isso, partiu-se do design de uma geometria policêntrica e fabricada com compósito de fibra natural.

A primeira alternativa pode ser implementada por meio do emprego do mecanismo de quatro barras, que simula o natural posicionamento instantâneo do centro de rotação do joelho, além do fenômeno de encurtamento do membro com o decorrer da marcha (Greene, 1983). A Fig. 1 mostra a disposição geral do referido mecanismo.

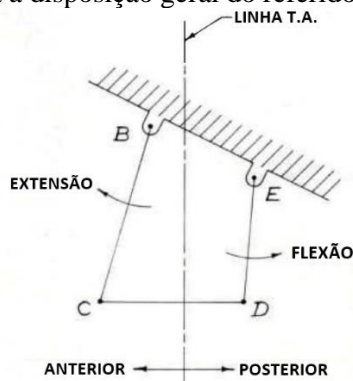


Figura 1 – Mecanismo de quatro barras (Greene, 1983).

Já a segunda é viabilizada por meio da caracterização e utilização de compósitos cujo reforço, por exemplo, é obtido de fontes vegetais ou animais. Para o caso do presente estudo, foi escolhido o compósito de matriz poliéster reforçada por fibra de algodão. Tal escolha se justifica pelo fato desse tipo de reforço ter baixa densidade, baixo custo, boa resistência mecânica e ser ecologicamente amigável por ser biodegradável (Rodrigues, 2022).

Metodologia

Por meio de um software de modelagem 3D, foi possível o desenho da montagem da junta referida com seus devidos componentes, que pode ser visualizada pela Fig. 2.

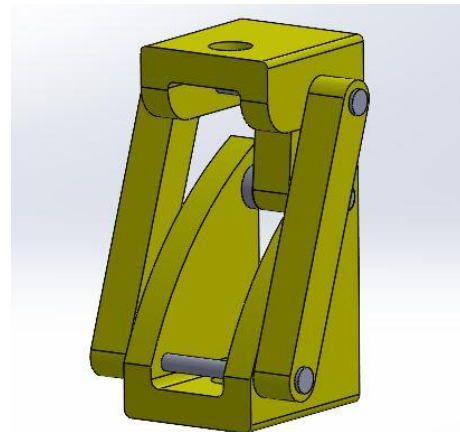


Figura 2 – Vista isométrica da junta (Autores, 2022).

A geometria pode ter seus componentes fabricados em compósito (representados pela cor amarela) facilmente divididos em barras maiores, barra menor, encaixe superior e encaixe inferior. Nos furos localizados no encaixe superior e inferior serão colocados, respectivamente, os elementos de fixação que ligam o componente do joelho ao membro residual (coto) do paciente e do joelho ao componente transtibial da prótese transfemoral. Tal geometria ilustrada servirá de base para as análises seguintes.

Como citado, o mecanismo de quatro barras simula o posicionamento do centro instantâneo de rotação (C.I.R.) do joelho. Este ponto deve estar posicionado posterior à linha que liga o trocânter ao tornozelo, chamada como “Linha T.A.” na Fig. 1. A Fig. 3 mostra a disposição do mecanismo de quatro barras empregado na prótese do presente estudo ilustrando a posição do C.I.R. na fase de suporte da marcha e da referida linha.

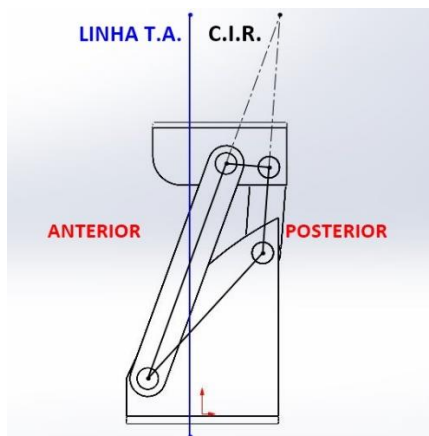


Figura 3 – Plano sagital da junta (Autores, 2022).

Modelado o mecanismo de quatro barras empregado na geometria, é dado segmento ao projeto com a análise estrutural da junta. Tal etapa é importante visto que cotidianamente a prótese será submetida a esforços de diferentes intensidades e, portanto, ela deve ter resistência mecânica suficiente.

O material empregado na análise teve suas constantes elásticas E_T , E_L , ν_{LT} e limites de resistência X_T e Y_T (Berthelot, 1998) obtidos da literatura (Rennó et al., 2019).

Para a determinação de outras constantes elásticas necessárias para aplicação de critérios de falha, foram conduzidos ensaios mecânicos e utilizaram-se equações previstas na teoria dos laminados (Rodrigues e Eloy, 2022). A Fig. 4 mostra o ensaio de compressão realizado no material para serem obtidos X_C e Y_C e a Tab. 1 mostra as novas propriedades descobertas.

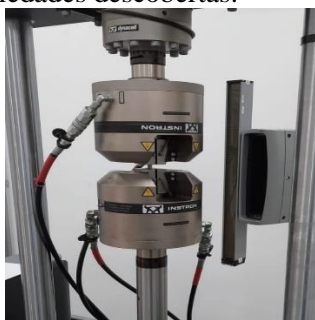


Figura 4 – Ensaio de compressão (Rodrigues e Eloy, 2022).

Tabela 1. Propriedades mecânicas (Rodrigues e Eloy, 2022).

Propriedade mecânica	Valor obtido (MPa)
G_{LT}	1777
S_{LT}	14,698
X_C	80,543
Y_C	55,847

Além das propriedades então aquisitadas, foi feita a estimativa que o reforço estaria disposto na matriz de maneira homogênea e uniforme e, portanto, pode ser assumido que $S_{LT} = S_{LT'}$. A título de estimativa, já que $S_{TT'}$ não é conhecido, foi considerado que $S_{TT'} = S_{LT}$.

Os laminados usados na análise foram dispostos segundo a sequência de empilhamento $[0/45/-45/90]_n$, onde n corresponde à quantidade de laminados empilhados para que fosse obtida a espessura final de cada um dos componentes da Fig. 2. Essa disposição foi escolhida pelo fato do comportamento mecânico do laminado obtido ser aproximadamente isotrópico (Berthelot, 1998). As lâminas que compõem o laminado tiveram sua espessura calculada e foi então extraído o valor de 0,4 mm.

A malha de elementos finitos modelada teve 3038 elementos e 6549 nós. O elemento unitário escolhido é bidimensional triangular com 6 nós. Esse elemento foi escolhido pois a modelagem foi feita a partir da extração da superfície média dos componentes e tal procedimento foi adotado visto que a lâmina tem espessura de dimensão desprezível em comparação com largura e comprimento. Os componentes que fazem parte da montagem da junta de joelho foram conectados no modelo de elementos finitos por meio de elementos rígidos desempenhando o papel dos pinos de maneira simplificada.

Para as condições de contorno do modelo, há a aplicação de uma força distribuída de 1000 N sobre a área relacionada ao contato do elemento de fixação do membro residual com a junta de joelho localizado no encaixe superior. Além disso, foi aplicada uma restrição do tipo engaste na área de contato do elemento de fixação do componente transtibial com a junta de joelho localizado no encaixe inferior.

A Fig. 5 mostra o modelo final em que foi feita a simulação numérica.

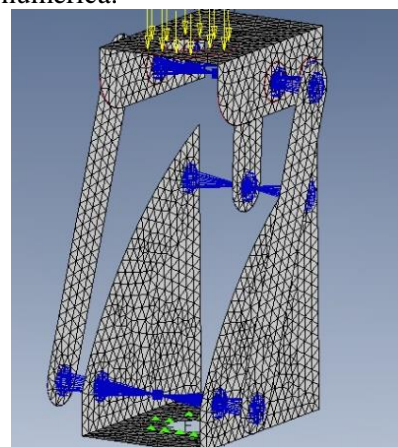


Figura 5 – Modelo de elementos finitos (Autores, 2022).

Resultados e discussão

A partir da Fig. 3, nota-se que a prótese apresenta seu C.I.R., dado pela intersecção da extensão das duas barras, posterior à linha T.A., o que garante inicialmente estabilidade na marcha (Greene, 1983).

Referente ao modelo mostrado na Fig. 4, os resultados foram analisados com base em um critério de falha para materiais compósitos como o do presente estudo. Assim, foi escolhido o Critério da Máxima Tensão (Berthelot, 1998).

A Fig. 5 mostra a deformação da geometria em escala exagerada, dando ideia de como se comportaria a junta de joelho com a aplicação da carga modelada.

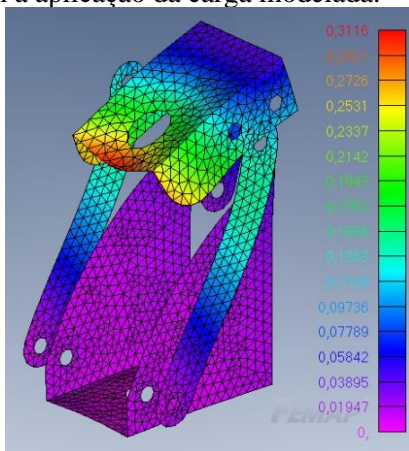


Figura 5 – Translação do modelo (Autores, 2022).

Nota-se que a região a qual sofre maior deformação é a frontal do encaixe superior, com translação máxima de 0,3316 mm. Isso é razoável pois é a região onde a força é aplicada diretamente e não há nenhuma restrição naquela região, diferentemente da região traseira, onde há o pino que exerce força contrária.

A Tab. 2 mostra as tensões normais máximas encontradas no modelo nas direções principais, sendo elas longitudinal à fibra (índice L) e transversal à fibra (índice T) e máxima tensão de cisalhamento.

Tabela 2. Tensões máximas nas direções principais.

Variável de tensão	Valor encontrado (MPa)
σ_L	[6,176, -0,186]
σ_T	[2,673, -0,176]
τ	4,213

A partir da tabela é visto que os valores máximos de tensões normais não excedem os limites de resistência à tração do material, enquanto os valores mínimos não excedem os limites de resistência à compressão, cada um em sua respectiva direção principal. Já a tensão cisalhante

máxima encontrada também não alcança nenhum dos limites de resistência ao cisalhamento do compósito. A partir dessa análise, é possível constatar que a geometria não apresenta risco de falha para a carga modelada.

Conclusões

A partir dos resultados ilustrados, conclui-se que a geometria projetada tem resistência mecânica suficiente para o esforço modelado. Tal esforço pode ser interpretado como o peso aproximado de uma pessoa de 100 kg.

Ademais, é visto pela Fig. 3 que o mecanismo de quatro barras foi implementado corretamente e inicialmente não carece de alterações.

Por fim, é possível concluir que o compósito de fibra de algodão tem potencial aplicação para projetos estruturais do viés do presente trabalho, e é razoável a continuidade do seu estudo de viabilidade em outros modelos.

Agradecimento

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

Referências

- BERTHELOT, J.M. Composite Materials: Mechanical Behavior and Structural Analysis. Springer, 1998.
- GREENE, M.P. Four bar linkage knee analysis. Orthot Prosthet 37, 15–24, 1983.
- RENNÓ, B. et al. Caracterização de compósitos poliméricos reforçados por fibra de algodão para uso auto-mobilístico. II Simpósio de Iniciação Científica Unifei, 2019.
- RODRIGUES, D.C., ELOY, F.S. Comportamento em compressão e cisalhamento do compósito de fibra de algodão e matriz poliéster. XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2022
- RODRIGUES, D.C., ELOY, F.S. Fibra de algodão como reforço de materiais compósitos poliméricos. III Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, 2022.