



PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE PEBD NA FABRICAÇÃO DE MODELOS SIMULADORES DE PROCEDIMENTO CIRÚRGICO INVASIVO

Sancho, E.O.^{1*}; Morais, M.F.²; Araújo, F.T.V³; Rios, A.S.⁴ e Moura Filho, A.J.S.⁵

1 - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Av.
Washington Soares, 1321, Fortaleza, CEP 60811-905, CE. Brasil,

esancho@unifor.br

2 - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Fortaleza (UNIFOR) Av.
Washington Soares, 1321, Fortaleza, CEP 60811-905, CE. Brasil,

melquesfm@gmail.com

3 - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Av. Washington
Soares, 1321, Fortaleza, CEP 60811-905, CE. Brasil, flaviatelis@unifor.br

4 - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Av.
Washington Soares, 1321, Fortaleza, CEP 60811-905, CE. Brasil,

alexandre.rios@unifor.br

5 - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Av.
Washington Soares, 1321, Fortaleza, CEP 60811-905, CE. Brasil,

adroaldo@unifor.br

RESUMO

Os protótipos simuladores de procedimento cirúrgico invasivo são utilizados na formação da área da saúde, ajudando na aprendizagem prática dos alunos. Polímeros podem substituir esses simuladores reduzindo o seu custo, podendo se tornar mais sustentáveis. Para isso foram realizados ensaios mecânicos no PEAD e PEBD, a fim de obter os resultados de resistência à tração e perfuração, conforme as normas, e, os resultados foram comparados com o pericárdio bovino, que é utilizado em um protótipo simulador no ensino da prática de um procedimento cirúrgico. Foi possível

verificar que o saco plástico de embalagem de papel higiênico (PEBD) com 0,17 mm de espessura apresentava resultados de resistência à perfuração próximos do material orgânico, com 19,59 N a 19,45 N, sendo possível a substituição na fabricação de novos protótipos simuladores sem a perda das características mecânicas, reduzindo o custo de aquisição e estimulando o uso de material sustentável.

Palavras-chave: *Ensaio Mecânico, Polímeros, PEBD, Protótipos Simuladores.*

INTRODUÇÃO

Os simuladores nos treinamentos de procedimento médico invasivo têm grande importância na aprendizagem dos alunos, favorecendo a capacitação dos profissionais da saúde e aumento das habilidades práticas destes. Com isso, o aluno pode treinar e aplicar seus estudos em um ambiente similar ao real, sem oferecer riscos ao paciente, além de aumentar a efetividade do procedimento (1).

Porém, nem todas as instituições de ensino tem capacidade de adquirir simuladores funcionais, independente da área de aprendizagem, devido aos valores altos de compra ou aluguel, muitas vezes por serem importados. Isso deve-se ao fato de que existe poucas indústrias nacionais especializadas no ramo, além do custo da matéria prima de fabricação de alguns simuladores serem elevados.

Com o advento da tecnologia, o uso dos computadores se tornou essencial para diversas atividades, sendo ele indispensável para os engenheiros projetistas. O uso de softwares permitiu uma maior qualidade dos resultados encontrados por meios de testes realizados em laboratório. Portanto, além da redução do tempo necessário para executar um projeto, e consequentemente diminuir custos, as análises de melhorias são realizadas com mais facilidade e assertividade.

A preocupação com o meio ambiente já é notória a bastante tempo, começando a partir da observação dos danos causados pelo homem na natureza com as revoluções industriais. Com isso foram feitas reuniões e acordos mundiais, a fim de promover a sustentabilidade nas indústrias, reduzindo emissões de gases nocivos, uso consciente da matéria-prima e economia circular (2).

Por conseguinte, para uma produção sustentável, a aplicação de materiais ecológicos e recicláveis é primordial, garantindo um correto descarte e degradabilidade dos produtos industriais. O estudo da aplicação desses materiais é importante para que não haja redução da vida útil do produto nem prejuízos no desempenho do mesmo, mantendo a qualidade final para o usuário.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo desenvolvido no presente trabalho foi necessário a realização de testes experimentais para avaliar o comportamento do material orgânico usado para os estudos da área da saúde, sendo este o pericárdio bovino, por apresentar características similares ao pericárdio humano, além dos materiais poliméricos PEAD (proveniente de saco plástico de lixo) e PEBD (provenientes de saco plástico de papel higiênico e de embalagem de sabão), analisando se é possível a substituição na fabricação dos protótipos simuladores.

As escolhas dos polímeros foram baseadas na presença abundante desses materiais em aterros sanitários, que tem gerado problemas ambientais. A possibilidade de utilizar esses materiais em protótipos para a área da saúde pode colaborar com a sustentabilidade do meio ambiente.

Na Figura 1 é possível observar os corpos de prova poliméricos, sendo de três diferentes sacos plásticos, nas medidas de 100 mm de comprimento por 20 mm de largura. O primeiro é o saco plástico preto para lixo (PEAD), com 0,010 mm de espessura, com 6 amostras, já para o segundo, foi selecionado o saco plástico de embalagem de papel higiênico (PEBD), com espessuras de 0,040 mm e 0,050 mm, com 6 amostras, e por fim, o terceiro foi de saco plástico de embalagem de sabão (PEBD), com espessura de 0,045 mm, com 4 amostras, todos atendendo ao número mínimo de corpos de provas das normas para esses ensaios.

Figura 1: Corpos de Prova poliméricos: (a) PEAD proveniente de saco de lixo, (b) PEBD proveniente de embalagem de papel higiênico e (c) PEBD proveniente de embalagem de sabão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para realizar o levantamento de dados das características mecânicas reais dos materiais utilizados, foi necessária a realização de ensaios de tração, baseados nas normas NBR 7462 e ASTM D882, e de perfuração, baseados na norma ASTM F1342.

O equipamento usado para realização dos testes foi a Máquina Universal de Ensaio MIBIO II 2000, identificada na Figura 2, da fabricante BIOPDI. Ela possui uma garra fixa (inferior) e uma garra móvel (superior), que permite realizar vários ensaios mecânicos, como de tração, compressão, perfuração, cisalhamento, entre outros.

Figura 2: Máquina Universal de Ensaio utilizada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os gráficos normalmente utilizados para análise do comportamento de um material, quando submetido aos esforços dos ensaios mecânicos, são apresentados com os valores de tensão no eixo vertical e deformação no eixo horizontal. Porém, com essa máquina de ensaios utilizada, os gráficos gerados por ela apresentam os valores de força no eixo vertical e posição no eixo horizontal, não sendo possível alterar para apresentação de outros valores.

Para garantir que os ensaios sejam realizados corretamente, apresentando medições confiáveis dos valores, é necessário verificar a calibração da máquina, para garantir a segurança dos resultados. A máquina possui uma variação de aproximadamente 0,196 N, mostrado no visor, para mais e para menos na medição da garra. Foram realizados testes com três amostras, para comparar o valor apresentado no visor da máquina com uma balança digital calibrada.

As amostras foram pesadas na balança digital, e posteriormente foram medidas as forças que elas geravam na garra, comparando, adotando a gravidade com o valor de $9,81\text{m/s}^2$, com a equação (1):

$$P=m.g \quad (1)$$

Onde “P” é o peso, medido em Newtons (N), “m” é a massa em quilogramas (kg) e “g” é a gravidade, em metros por segundo ao quadrado (m/s^2).

Conforme é observado no Quadro 1, a diferença dos valores medidos na balança digital e na máquina de ensaios fica dentro do mostrado no visor, não sendo um valor representativo para os ensaios que foram realizados.

Quadro 1: Comparação entre os valores obtidos na balança digital e maquina universal de ensaios.

Equipamento	Medidas	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Balança digital	Massa (g)	49,57	397,31	4300,00
	Peso (N)	0,486	3,898	42,183
MIBIO II 2000	Força (N)	0,586	3,912	42,054
Diferença (N)		0,100	0,014	-0,129

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para realização dos ensaios de tração foram fabricados os corpos de prova de diferentes materiais poliméricos, no intuito de comparar as tensões e esforços obtidos nos testes experimentais, e assim ser possível verificar qual o que mais se aproxima do material orgânico. Para esses ensaios, foram utilizadas as normas NBR 7462 e ASTM D882.

Para todos os ensaios de tração realizados, foi adotada a velocidade de afastamento das garras da máquina de 180 mm/min, além disso, os corpos de prova foram fixados com 20 mm em cada garra, deixando aproximadamente 60 mm de distância entre elas para realização do ensaio mecânico.

Para realização dos ensaios de perfuração foram utilizados o pericárdio bovino e o saco plástico de embalagem de papel higiênico (PEBD), no intuito de comparar as tensões obtidas em cada um, e assim ser possível verificar qual o que mais se aproxima do material orgânico para utilização no protótipo simulador. A norma ASTM F1342 foi utilizada para o ensaio de perfuração.

Na Figura 3, é apresentada a disposição do material dos corpos de prova para se obter os resultados do ensaio de perfuração, onde uma camada do material foi fixada em um tubo, com aproximadamente 1" de diâmetro, para centralizar o local da aplicação da força pela ferramenta.

Figura 3: Arranjo do material polimérico para ensaio de perfuração.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A espessura do corpo de prova do pericárdio bovino para esse ensaio foi de 0,335 mm, em todas as amostras, já para o corpo de prova polimérico, a espessura foi de 0,04 mm, porém, para realização dos ensaios, foram utilizadas amostras de 1 a 5 camadas do material polimérico, atingindo então uma espessura de 0,20 mm nas últimas amostras, visando aproximar da espessura do pericárdio e das condições de manuseio, no caso de substituir o pericárdio. A ferramenta utilizada para realizar o ensaio de perfuração, como observado na Figura 4, apresenta as medidas de 2,9 mm de diâmetro no corpo e 0,96 mm na ponta, além de 1,7 mm de comprimento da parte cônica.

Figura 4: Ferramenta utilizada para perfuração no ensaio.



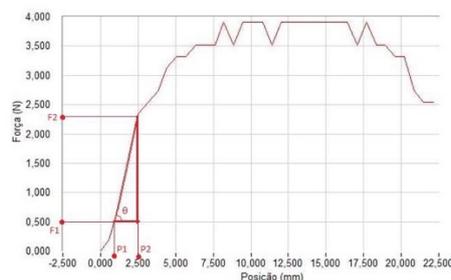
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos ensaios de tração, foram obtidos vários gráficos conforme as variações dos materiais e dos corpos de prova. Para a melhor análise e comparação dos materiais poliméricos e do material orgânico, foram escolhidos 4 gráficos que apresentaram os melhores resultados de cada corpo de prova e que possibilitem os cálculos das propriedades mecânicas.

O Gráfico 1 mostra o resultado de um dos ensaios de tração com o saco plástico para lixo (PEAD), onde é possível observar a variação de força e deslocamento (posição), conforme o avanço da garra na máquina de ensaios.

Gráfico 1: Ensaio de Tração com Saco Plástico para Lixo (PEAD).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Portanto, conforme os dados apresentados no Gráfico 1 e utilizando os seus valores, o cálculo para o módulo de elasticidade será de 0,3443 GPa.

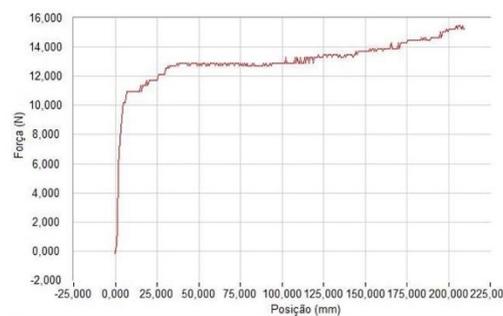
Com isso, temos que o saco plástico para lixo (PEAD) com um módulo de elasticidade com o valor aproximado de 0,3443 GPa nos ensaios de tração realizados.

Pelo gráfico é possível observar também a força de escoamento, sendo de aproximadamente 3,3 N e a força máxima suportada, de aproximadamente 3,9 N.

No Gráfico 2 é possível observar o resultado de um dos ensaios de tração com o corpo de prova de saco plástico de embalagem de papel higiênico (PEBD). Para o cálculo do módulo de elasticidade, foi realizado o mesmo procedimento do Gráfico 1, e os valores selecionados para as equações foram: $F_1 = 0 \text{ N}$ e $F_2 = 10 \text{ N}$; Largura = 20 mm; Espessura = 0,04 mm; $P_1 = 0 \text{ mm}$ e $P_2 = 4 \text{ mm}$ e $L_0 = 60 \text{ mm}$.

Com isso, após a aplicação das equações, o cálculo do módulo de elasticidade apresentou o valor de 0,1875 GPa para esse ensaio de tração. Observando os valores no gráfico tem-se que a Força de Escoamento é de aproximadamente 11 N e que a força máxima é de aproximadamente 15,4 N.

Gráfico 2 – Ensaio de Tração com Saco Plástico de Embalagem de Papel Higiênico (PEBD).

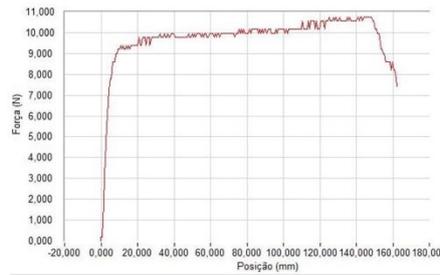


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Já no Gráfico 3, observa-se o resultado de um dos ensaios de tração com o corpo de prova de saco plástico de embalagem de sabão (PEBD). Para calcular o módulo de elasticidade desse material, utilizou-se os seguintes dados extraídos do gráfico: $F_1 = 0 \text{ N}$ e $F_2 = 7 \text{ N}$; Largura = 20 mm; Espessura = 0,045 mm; $P_1 = 0 \text{ mm}$ e $P_2 = 4 \text{ mm}$; $L_0 = 60 \text{ mm}$

Aplicando as equações de tensão e deformação, o módulo de elasticidade calculado pela tangente do ângulo gerado pelo gráfico apresentou o valor de 0,1167 GPa nesse ensaio de tração. Observando ainda os valores gerados, tem-se que a Força de Escoamento é de aproximadamente 9,3 N e que a força máxima é de aproximadamente 10,758 N.

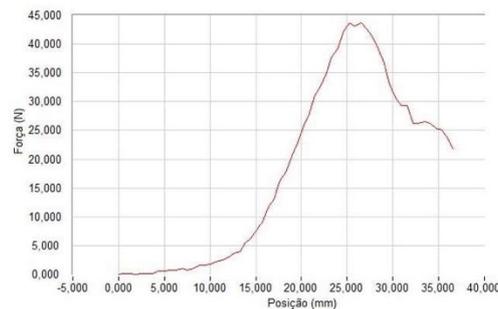
Gráfico 3: Ensaio de Tração com Saco Plástico de Embalagem de Sabão (PEBD).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Finalmente, no Gráfico 4 observa-se o resultado de um dos ensaios de tração com o corpo de prova fabricado com o pericárdio bovino, material orgânico. Com isso, o módulo de elasticidade desse material foi calculado com os seguintes dados: $F_1 = 10 \text{ N}$ e $F_2 = 25 \text{ N}$; Largura = 20 mm; Espessura = 0,04 mm; $P_1 = 15,89 \text{ mm}$ e $P_2 = 20 \text{ mm}$; $L_0 = 75,89 \text{ mm}$. Aplicando as equações de tensão e deformação, o módulo de elasticidade calculado apresentou o valor de 0,346 GPa para esse ensaio de tração. Nesse material, o gráfico informa ainda que a força de escoamento e força máxima suportada é de aproximadamente 44 N.

Gráfico 4: Ensaio de Tração com Pericárdio Bovino.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

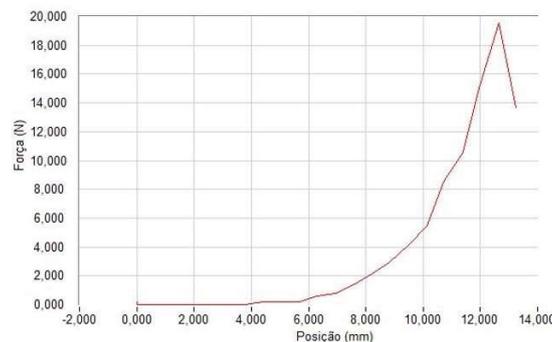
Em posse desses dados, e após calcular os valores dos módulos de elasticidade dos outros gráficos que foram gerados foi possível chegar em um valor médio para cada um dos materiais ensaiados. Além disso, foi calculado as médias das forças máximas e das forças de escoamento, possibilitando uma análise e comparação entre eles.

O saco plástico preto (PEAD) apresenta o maior módulo de elasticidade dos três materiais poliméricos ensaiados, com um valor médio de 0,296 GPa, se aproximando bastante do valor médio obtido para o Pericárdio Bovino, que foi de 0,376 GPa. Porém se for analisar a força máxima suportada e força de escoamento, o PEAD apresentou o menor valor entre todos os ensaios, com um valor médio de apenas 3,4 N e 2,83 N, respectivamente. Ademais, o saco plástico de embalagem de papel

higiênico (PEBD), foi o material polimérico que apresentou a maior força máxima suportada, com um valor médio de 17,25 N para os ensaios de tração. Já o pericárdio bovino apresentou uma resistência maior para esse esforço, com um valor médio de força máxima de 44,53 N.

Os ensaios de perfuração serão os determinantes para a escolha do material polimérico que mais se aproxima, em resultados de propriedades mecânicas, do pericárdio bovino, possibilitando assim, a utilização desse material para a fabricação de um protótipo simulador do procedimento médico invasivo que é realizado no coração. Portanto, após a realização dos testes de perfuração nos materiais escolhidos, foram selecionados dois gráficos para apresentação dos resultados. Com eles é possível observar a Força de Ruptura e Força de escoamento desses materiais. Conforme mostra o Gráfico 5, o resultado do ensaio de perfuração no material orgânico com o material suportando uma força máxima de aproximadamente 19,45 N, antes de ser vencido pela ferramenta de perfuração do ensaio. A espessura desse corpo de prova foi de 0,335 mm.

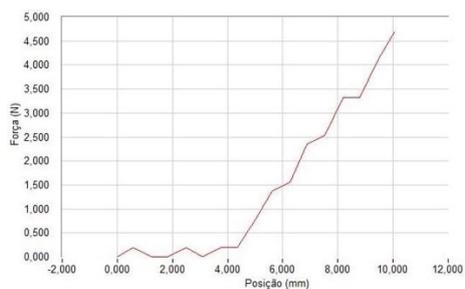
Gráfico 5: Ensaio de Perfuração com Pericárdio Bovino.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para os materiais poliméricos, o saco plástico de embalagem de papel higiênico apresentou, conforme observado no Gráfico 6, uma Força de Máxima de aproximadamente 4,7 N quando utilizada apenas uma camada de 0,04 mm de espessura do corpo de prova. Com essa força máxima suportada, observou-se a possibilidade de colocar mais de uma camada de saco plástico como corpo de prova, aumentando assim a espessura máxima, múltiplas de 0,04 mm.

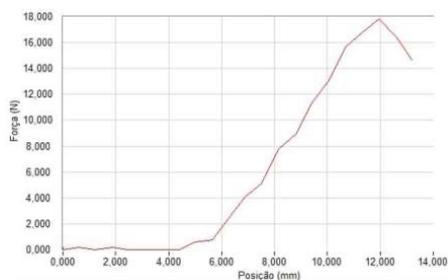
Gráfico 6 – Ensaio de Perfuração com uma camada de Saco Plástico de Embalagem de Papel Higiênico (PEBD).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Com quatro camadas, ou seja, 0,16 mm de espessura, o resultado da força máxima foi de aproximadamente 17,8 N, conforme apresentado no Gráfico 7. Já com cinco camadas do material, alcançando 0,20 mm de espessura, o resultado alcançado foi de aproximadamente 25,6 N em média.

Gráfico 7 – Ensaio de Perfuração com quatro camadas de Saco Plástico de Embalagem de Papel Higiênico (PEBD).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

CONCLUSÃO

Os ensaios mecânicos realizados foram os de tração e perfuração, conforme as normas regulamentadoras para esses ensaios. Foram selecionados três tipos de materiais poliméricos, sendo estes um PEAD, que foi o saco de lixo preto, e dois PEBD, que foram o saco plástico de embalagem de papel higiênico e o saco de embalagem de sabão. Além disso, foi realizado esses ensaios no material orgânico que era utilizado no estudo de um procedimento médico no coração, que foi pericárdio bovino.

Os resultados dos ensaios mecânicos foram comparados para que se pudesse verificar qual material polimérico mais se assemelhava ao material orgânico, para este procedimento. Com isso, observou-se que o material PEBD, do saco de embalagem de papel higiênico foi o que obteve quase a mesma resistência à perfuração que o pericárdio bovino, ajustando a espessura ideal, e com isso foi possível escolhê-la

como substituto viável para o material orgânico nesse modelo simulador de procedimento médico.

REFERÊNCIAS

CUNHA, Carlos Magno Queiroz da et al. Desenvolvimento e aplicação de simulador de baixo custo para treinamento de lavado peritoneal diagnóstico. Revista Médica de Minas Gerais, Fortaleza - Ce, v. 29 e2031, p. 1-2, jul. 2019. Disponível em: <http://www.dx.doi.org/10.5935/2238-3182.20190022>. Acesso em: 03 Março, 2021.

PATTI, Fabiana et al. A IMPORTÂNCIA DA SUSTENTABILIDADE PARA A SOBREVIVÊNCIA DAS EMPRESAS. Revista Terceiro Setor & Gestão, São Paulo, v. 9, n.1, p. 19-23, 2015. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/3setor/article/view/1997/1714>. Acesso em: 04 Março, 2021.

ASTM. ASTM D882: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. West Conshohocken: ASTM International, 2018.

ASTM. ASTM F1342: Standard Test Method for Protective Clothing Material Resistance to Puncture. West Conshohocken: ASTM International, 2013.

PROPOSAL TO USE LDPE IN THE MANUFACTURING OF INVASIVE SURGICAL PROCEDURE SIMULATOR MODELS

ABSTRACT

Invasive surgical procedure simulator prototypes are used in healthcare training, helping students' practical learning. Polymers can replace these simulants, reducing their cost and becoming more sustainable. For this purpose, mechanical tests were carried out on HDPE and LDPE, in order to obtain tensile and perforation resistance results, in accordance with standards, and the results were compared with bovine pericardium, which is used in a simulator prototype in teaching practice. of a surgical procedure. It was possible to verify that the plastic toilet paper packaging bag (LDPE) with 0.17 mm thickness presented puncture resistance results close to the organic material, with 19.59 N to 19.45 N, making it possible to replace it in manufacturing of new simulator prototypes without the loss of mechanical characteristics, reducing the acquisition cost and encouraging the use of sustainable material.

Keywords: *Mechanical Tests, Polymers, LDPE, Simulator Prototypes.*