



## Análise de propriedades do PLA para manufatura aditiva de próteses de membro superior

O. B. Helena<sup>1\*</sup>, G. Eduardo<sup>1</sup>, A. C. Thales<sup>1</sup>, T. Rafael<sup>2</sup>, V. O. Maria I.<sup>1</sup>, R. JR. Luiz F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Engenharia Biomédica; Universidade Franciscana - UFN, Santa Maria, Brasil

<sup>2</sup> Engenharia de Materiais; Universidade Franciscana - UFN, Santa Maria, Brasil

\**helenabertolino@unifra.edu.com*

**Introdução.** A manufatura aditiva (MA) é uma alternativa de custo reduzido para próteses de membro superior, principalmente para crianças, tendo em vista que elas crescem rapidamente, precisando readequar seus dispositivos com frequência (doi: 10.1371/journal.pone.0131746). Por esse motivo, o uso da MA para confecção desse tipo de prótese vem se difundindo rapidamente. A difusão do método, no entanto, avança mais rapidamente do que os estudos acerca da relação entre a escolha dos parâmetros de impressão (PI) e a qualidade, durabilidade e resistência das peças. São escassos também os estudos referentes aos cuidados quanto ao uso e a higienização desses dispositivos. A escassez de informações técnicas sobre a escolha dos PI pode levar a fabricação de peças pesadas, contendo deformações, superfícies ásperas e com pouca qualidade estética, resultando em desconforto no uso, baixa aceitação do dispositivo por parte dos usuários e dificuldades na montagem e utilização da prótese. Somando-se a isso cuidados inadequados no uso e higienização, é possível que ocorra a redução da vida útil das peças e, conseqüentemente, uma menor relação custo/benefício para esse tipo de dispositivo. Sendo assim, este estudo tem como objetivo analisar como a escolha do volume de preenchimento durante a impressão com filamento de poliácido láctico (PLA) pode afetar as características de resistência e solubilidade das peças de uma prótese.

**Materiais e métodos.** Foram impressos corpos de prova (CP) com PLA em uma impressora de pequeno porte (Cliever, modelo CL1- Black Edition). Os CP foram impressos variando-se o preenchimento interno entre 25%, 35% e 45% e mantendo fixos a espessura da parede (1 perímetro), a altura entre as camadas de (0,10mm) e o número de camadas na base e no topo (6). Para cada condição de ensaio foram usados 5 CP. Os ensaios de tração e flexão seguiram, respectivamente, as normas ASTM D638 (velocidade: 20 mm/min) e ASTM D790 (velocidade: 2 mm/min; distância entre os apoios: 50mm; limite de deformação: 20mm) e foram realizados em uma máquina universal de ensaios (EMIC, modelo DL- 10000). Os ensaios de solubilidade estiveram de acordo com a norma ASTM D543, e foram realizados usando-se os seguintes solventes: álcool etílico (fabricante Synth), acetona (fabricante Synth) e água sanitária (fabricante Cruzado). Cada CP ficou uniformemente imerso em solvente (100 ml) e a massa foi medida nos intervalos de 0,5 h, 1,5 h e 3,5 h. Para avaliar o efeito do nível de preenchimento na resistência à tração e flexão foi utilizado análise de variância com um fator. Já para verificar como o preenchimento afetava a variação de massa dos CP, quando imersos em solvente, ao longo do tempo, utilizou-se análise de variância com dois fatores. Para os testes estatísticos o nível de confiabilidade considerado foi de 95%.

**Resultados.** Os valores médios ( $\pm$  Desvio Padrão) de densidade para os CP de preenchimento de 25%, 35% e 45% foram respectivamente de  $699,40 \pm 10,58 \text{ g/dm}^3$ ;  $862,64 \pm 7,44 \text{ g/dm}^3$ ;  $918,52 \pm$



## XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica

Armação de Búzios – RJ – Brasil

21 a 25 de outubro de 2018

8,08 g/dm<sup>3</sup>. Com relação aos testes mecânicos, os valores da tensão máxima suportado pelos CP nos ensaios de tração os níveis de preenchimento de 25%, 35% e 45% não diferiram significativamente entre si ( $F=1,15$ ,  $p=0,35$ ) e foram respectivamente,  $57,5 \pm 1,8$  MPa,  $55,6 \pm 2,4$  MPa e  $56,0 \pm 2,1$  MPa. Já no ensaio de flexão a tensão máxima suportada pelos CP aumentou significativamente com o nível de preenchimento ( $F=115,5$ ,  $p<0,001$ ). Os valores para os preenchimentos de 25%, 35% e 45% foram  $16 \pm 1$  MPa,  $24,9 \pm 1,4$  MPa e  $30,7 \pm 1,9$  MPa, respectivamente. No ensaio de solubilidade a variação da massa dos CP após 3,5 h de para os preenchimentos de 25%, 35% e 45% foram, respectivamente: para o etanol,  $2,35 \pm 0,56\%$ ,  $2,10 \pm 2,52\%$ ,  $1,49 \pm 0,50\%$ ; para a acetona,  $54,36 \pm 5,36\%$ ,  $53,72 \pm 3,97\%$ ,  $49,55 \pm 2,24\%$ ; para a água sanitária,  $5,54 \pm 1,33\%$ ,  $2,25 \pm 0,24\%$ ,  $2,41 \pm 0,67\%$ . Em acetona a massa dos CP variou significativamente ao longo do tempo de imersão ( $F=352,11$ ,  $p<0,001$ ), independentemente do nível de preenchimento ( $F=3,14$ ,  $p=0,054$ ). Já em etanol e água sanitária a variação da massa não dependeu do tempo ( $F=3,02$ ,  $p=0,061$ ) mas diferiu significativamente entre os níveis de preenchimento ( $F=9,84$ ,  $p<0,01$ ).

**Discussão e conclusão.** Os resultados dos ensaios de tração e flexão indicam que a porcentagem de preenchimento do volume da peça impressa afeta somente a tensão máxima de flexão suportado pelo objeto. A relação entre o aumento da resistência e o ganho de massa, pode ser melhor interpretada em termos da resistência específica para os diferentes níveis de preenchimento. Essa grandeza deve ser considerada durante a confecção das diferentes peças de uma prótese, uma vez que a massa final do dispositivo, em especial da mão protética, pode afetar negativamente a sensação de conforto do usuário. O teste de solubilidade por sua vez, demonstrou que a acetona é um solvente extremamente agressivo para o PLA e deve ser utilizada com cuidado junto a este tipo de polímero. Nos ensaios com o etanol e a água sanitária, produtos tipicamente utilizados na higienização de próteses, não foram observadas alterações visuais no volume e forma dos CP. Além disso, independentemente do nível de preenchimento, o ganho de massa não variou com o tempo, podendo se considerar esses produtos alternativas seguras para a higienização dos dispositivos. Deve-se, no entanto, dar preferência ao uso de etanol, uma vez que o PLA pode sofrer hidrólise ([doi.org/10.1016/j.polymertesting.2014.10.015](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2014.10.015)). Espera-se que os resultados dos ensaios executados no presente estudo possam orientar a melhor escolha dos parâmetros de impressão usados na manufatura de próteses de membro superior, assim como, prover melhores orientações para o cuidado com a higiene e no acabamento desse tipo de dispositivo.

**Agradecimentos.** À Universidade Franciscana por disponibilizar o espaço e os materiais necessários e aos professores que nos apoiaram.

**Palavras-chave.** Manufatura Aditiva, Tecnologia Assistiva, Ensaios Físico-Químicos, Avaliação de Conformidade.