

## ELABORAÇÃO DE PROTOCOLO DE ENSAIOS MECÂNICOS PARA AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DO MATERIAL PLA ATRAVÉS DA MANUFATURA ADITIVA POR MEIO DO PROCESSO FDM

Rodolfo Ramos Castelo Branco<sup>1</sup>; Ketinlly Yasmyne Nascimento Martins<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, [rodolfo.ramos@outlook.com.br](mailto:rodolfo.ramos@outlook.com.br)  
<sup>2</sup> Universidade Estadual da Paraíba, [yasmynefisio@hotmail.com](mailto:yasmynefisio@hotmail.com)

### Introdução

No mundo contemporâneo nunca se discursou e vivenciou de forma tão abundante as novas tecnologias como no momento atual. Ocorre uma constante e profunda necessidade de atualização não apenas por profissionais em suas respectivas áreas, mas também por pessoas não especializadas almejando conhecimentos acerca das novidades tecnológicas, colocando então a tecnologia em posição de destaque. Em virtude disto, é possível verificar novos inventos, conceitos, entendimentos, ideias, pesquisas, aprimoramentos, descobertas significativas, projetos.

Diante do cenário tecnológico, destaca-se a Prototipagem Rápida (PR), que segundo Volpato (2007), pode ser definida como um processo de fabricação através da adição de material em forma de camadas planas sucessivas, isto é, baseado no princípio da manufatura por camada. Esta tecnologia permite fabricar componentes (protótipos, modelos, peças reais, etc) físicos em 3 dimensões (3D), com informações obtidas diretamente de modelos geométricos gerado em sistema CAD, de forma rápida, automatizada e totalmente flexível.

De acordo com o que ressalta Martins (2015) o termo Prototipagem Rápida vem sendo substituído por Manufatura Aditiva (MA), pois em 2010, um comitê técnico formado pela American Society for Testing and Materials chegou a um consenso de que essa nova nomenclatura seria mais coerente para definir o processo, já que em algumas máquinas desta tecnologia podem ser construídos objetos finais a partir de modelos gerados em CAD e não mais apenas protótipos desses objetos.

Diante disto, este estudo teve como objetivo elaborar protocolos de ensaios mecânicos para avaliação de performance do material PLA (Poliácido Láctico) através da MA a partir do processo FDM (Fused Deposition Modeling), analisando os parâmetros estabelecidos para construção do material prototipado (estrutura, raster, taxa de deposição, temperatura, loops, orientação do ângulo raster, orientação da posição das peças, dentre outros).

### Metodologia

O material polimérico utilizado foi o Poliácido Láctico (PLA), que é um biopolímero obtido por fontes originárias de plantas, algas e bactérias, sendo sua maior produção proveniente do milho (AURAS et al., 2010). O PLA é um dos materiais mais utilizado na MA no processo em FDM.

Foram confeccionados corpos de prova utilizando a norma ASTM D3039/3039-95A, com as dimensões de largura 25,00 mm, comprimento de 90,00 mm e espessura de 3,04 mm, e geometria de forma retangular, prototipados na Impressora 3D da Makerbot Replicator 2X, nas posições X e Y. Os parâmetros definidos no estudo foram a Temperatura de Extrusão: 200 °C e 215°C; Loops: 2 e 3; Estratégia de preenchimento (Raster): Retilínea; Número de camada: Eixo Y = 12 e Eixo X = 100; Taxa de deposição de preenchimento: 20%, 50% e 100%; Velocidade de impressão: 120 mm/s; Ângulo do raster: 45°; Temperatura da bandeja impressão: 0°C; Largura da camada de deposição: 0,254 mm e Diâmetro do Filamento PLA: 1,75 mm.

A máquina utilizada para os ensaios foi EMIC DL 3000, utilizando uma célula de carga de 2000 kgf e uma taxa de deformação de 50 mm/min. Para as medições de deformações, foram estabelecidos no software Tesc em 50 mm de distância entre as garras de fixação dos corpos de prova, como também a largura de 25 mm e espessura de 3,04 mm. Foram mantidos antes dos ensaios uma condição padrão, com o laboratório a uma temperatura em torno de 20°C.

O procedimento experimental adotado na elaboração e organização dos ensaios de tração foi a realização de 12 conjuntos de ensaios dos quais apresentam 3 amostras de características iguais para cada um. Foram calculadas as médias e desvios padrões dessas 3 amostras de cada conjunto de ensaio, com o propósito de adquirirmos um único valor significativo. Os valores definidos como significativos são, Tensão Máxima, Tensão de Ruptura e Modulo de Elasticidade. Formulado em tabelas e gráficos estatísticos, e gráficos de tensão x deformação.

Para os conjuntos de ensaios 1 a 3 estabeleceu temperaturas de 200°C e posição no eixo Y, com variação da taxa de deposição em 20, 50 e 100%. O mesmo transcreve para os ensaios de 4 a 6, modificando apenas a posição do eixo Y para o eixo X. Já nos ensaios de 7 a 9 e 10 a 12, seguiram a mesmas sequências dos ensaios respectivamente citados anteriormente, porém mudando a temperatura de 200°C para 215°C. Resultando em um total de 36 corpos de prova ensaiados.

## Resultados e discussão

Na análise das taxas de deposição, percebe-se que quanto maior a área de preenchimento maior será a tensão máxima e a tensão de ruptura, conseqüentemente mais rígida será a peça (maiores módulos de elasticidade), destacando a taxa de deposição 100% (peça maciça), que registrou os maiores índices em suas posições correspondentes (Eixo Y nos ensaios de conjunto 3 e 9, e Eixo X nos ensaios 6 e 12).

Os resultados que apresentaram os menores índices no geral foram os ensaios com a taxa de 20% no eixo Y relativos aos conjuntos 1 e 7, com 12 camadas de deposição. Nesse caso o conjunto 1 corresponde a  $19.69 \pm 1.18$  MPa de tensão máxima,  $19.63 \pm 1.22$  MPa em tensão de ruptura e o módulo de elasticidade de  $305.5 \pm 11.14$  MPa, já para o conjunto 7, respectivamente foram  $19.75 \pm 1.90$  MPa,  $19.72 \pm 1.92$  MPa e  $328.5 \pm 18.13$  MPa.

Os maiores índices dos resultados obtidos nos ensaios foram pertinentes aos conjuntos 6 e 12, com 100 camadas de deposição e taxa de 100%, na posição de construção no eixo X. Dessa forma o conjunto 6 apresenta tensão máxima e ruptura de  $60.05 \pm 1.20$  MPa e  $59.17 \pm 0.40$  MPa, já o módulo de elasticidade representa  $651.2 \pm 15.74$  MPa. Logo o conjunto 12 exprime respectivamente  $59.16 \pm 2.48$  MPa,  $58.92 \pm 2.70$  MPa de tensões e  $660.4 \pm 0.37$  MPa de modulo elástico.

As peças apresentaram comportamento anisotrópicas, no qual, possuem as propriedades físicas variando com a direção, dependendo exclusivamente da sua mesoestrutura, ou seja, da orientação de deposição do raster, do tipo de estrutura e sentido dos filamentos depositados, assemelhando realmente as fibras compósitas.

No que diz respeito ao sentido de posicionamento das peças na bandeja de impressão, as peças com orientação do eixo X apresentaram maiores resistência do que as peças no eixo Y. Nesse contexto, observou-se que na Taxa de deposição a 20% houve um aumento na tensão máxima de 60,54% do eixo X em relação ao eixo Y, já em relação a 50% de deposição tal aumento da tensão foi de 50,75% e finalmente na deposição de 100% foi de 60,86%, isso todos para a temperatura de extrusão 200°C.

Na temperatura de 215°C também ocorreu um aumento da tensão máxima do eixo X

em relação ao Y. Logo, nas Taxas de deposições 20%, 50% e 100%, os respectivos resultados foram: 71,80%, 46,98% e 55,73%.

Por fim, partindo dos resultados seguiu-se a construção do protocolo de caracterização do material PLA através dos ensaios mecânicos do tipo tração, destinado ao Laboratório de Tecnologias 3D Aplicadas à Saúde - Labtec 3D, pertencente ao Núcleo de Tecnologia Estratégica em Saúde – NUTES, caracterizado em dados e orientação de construção de peças a serem prototipadas.

### **Conclusões**

Em relação a orientação do posicionamento dos corpos de prova na bandeja de impressão, conclui-se a total importância nas características mecânicas dos mesmos. Peças com orientação no eixo X tiveram índices de tensão máxima, ruptura e módulo elásticos maiores do que as peças do eixo Y, essas diferenças ocorreram devido exclusivamente a construção diferente da sua mesoestrutura do tipo sanduíche, caracterizando o material FDM como anisotrópico, ou seja, certas propriedades físicas do material variam com a direção. Em contrapartida, tivemos tempos considerados nas peças construídas no eixo X em relação ao Y, devido a quantidade de camadas depositadas no eixo Z (eixo Y com 12 camadas e eixo X com 100 camadas de deposição).

Ainda se conclui que a estratégia de preenchimento do tipo retilínea, foi escolhida por assemelhar-se a uma estrutura de compósito laminado, sendo assim apropriado para a norma ASTM D3039/3039-95A. No que diz respeito ao ângulo de raster de 45° este apresentou um perfeito perfil de rompimento 45°, considerado como assertivo.

Com a realização dos ensaios de tração nos corpos de prova, esta pesquisa obteve resultados de cunho consistente no que diz respeito às características mecânicas do material em função da sua resistência em relação a tensão máxima, tensão de ruptura e módulo elástico. Apresentando melhores tensões para peças de características “maciça”, isto é, 100% de preenchimento em sua estrutura interna..

**Palavras-Chave:** Manufatura Aditiva. Modelagem por Fusão e Deposição – FDM. Poli ácido láctico – PLA. Ensaio mecânicos.

### **Referências**

ASTM D3039-95a, Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. ASTM D3039-95a Standard, Vol. 15.03, pp. 99-109, 1998.

AURAS, R. et al. Poly(lactic acid) - Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Application. Bioresource Technology. doi:10.1016/j.biortech.2010.05.092, 2010.

MARTINS, K. Y. N. Metodologia para adoção de Sistemas de Gestão baseada na ISO 9001 em organizações de Manufatura Aditiva aplicadas à saúde. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Saúde) - Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Campina Grande, 2015.

VOLPATO, Neri (org.). PROTOTIPAGEM RÁPIDA: Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Blucher, 2007.