cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Influência da estrutura de rede na printabilidade, resistência e atenuação de vibrações de uma estrutura TPMS impressa por DLP

B. R. Spirandeli [1], M. Batalha [1], F. Ferraz[2], M. Justino [2], G. Nascimento[2], V. D. Lima[3], T. Becker[3], J.H.S. Brandão[3], J. F. Camino[3], J.R.F. Arruda[3]

1 – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), bspirandeli@ipt.br; 2 – Ford Motor Company Brazil; 3 – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Introdução

A manufatura aditiva por fotopolimerização em cuba, Digital Light Processing (DLP), permite imprimir geometrias complexas como as estruturas TPMS (Triply Periodic Minimal Surface). Combinadas a resinas elastoméricas, essas estruturas oferecem elevada eficiência estrutural, absorção de energia e atenuação de vibrações.

Objetivos

Comparar a influência da rede sólida (RS) e da rede de folhas (RF) na "printabilidade", estabilidade dimensional e resistência à compressão de estruturas giróide impressas por DLP em resina elastomérica, e propor a caracterização dinâmica dependente da frequência para a configuração RS40.

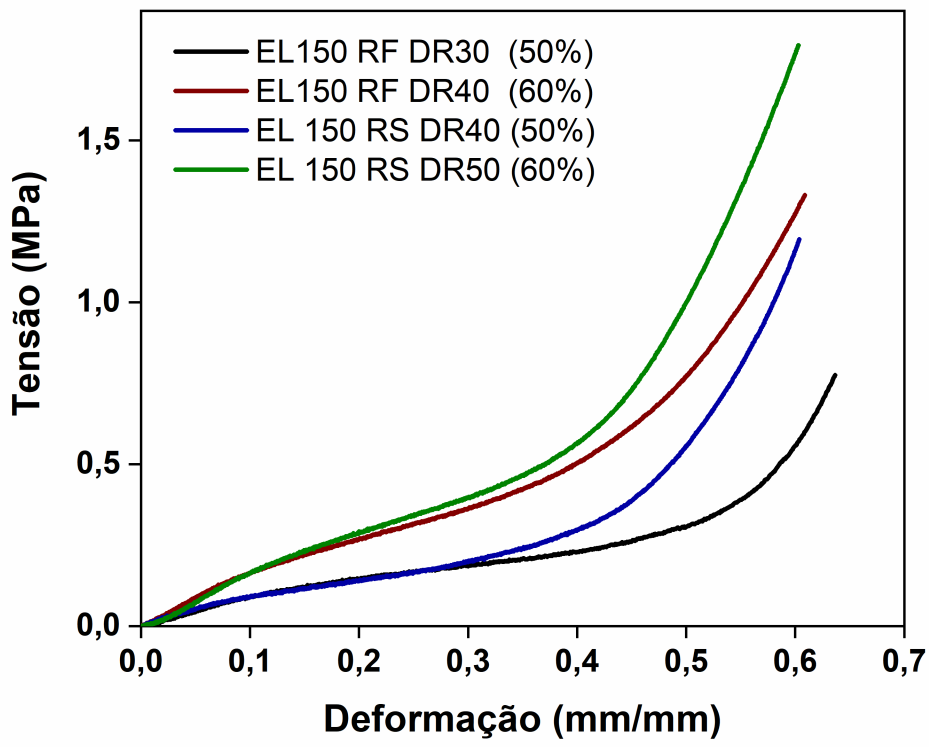
Metodologia

Corpos de prova (cps) giróide com dimensões de 25.4 mm × 25.4 mm, modelados no software MSLattice em rede de folhas (DR30 e DR40) e rede sólida (DR40 e DR50), foram impressos em resina BASF Ultracur3D EL 150 na impressora DLP Phrozen Lumii (resultando em preenchimentos reais de ~50% e ~60%). Mediram-se massa e dimensões para cálculo de densidade, preenchimento real e retração, seguidos de ensaios de compressão uniaxial. Para a análise vibroacústica, aplicou-se o modelo viscoelástico fracionário de Havriliak-Negami (HN) via ajuste de FRFs da resina EL 150 RS40.

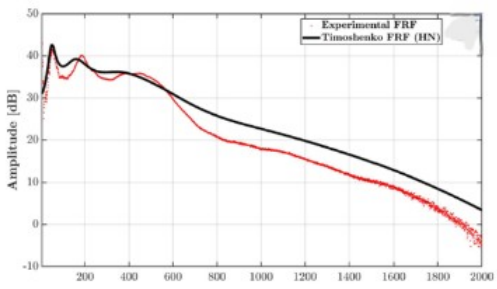
Resultados e Discussão

A RF apresentou preenchimento real acima do projetado, devido à maior retenção de resina em seus canais, além de elevada retração volumétrica na DR30 RF. A RS mostrou menor dispersão e maior fidelidade geométrica.

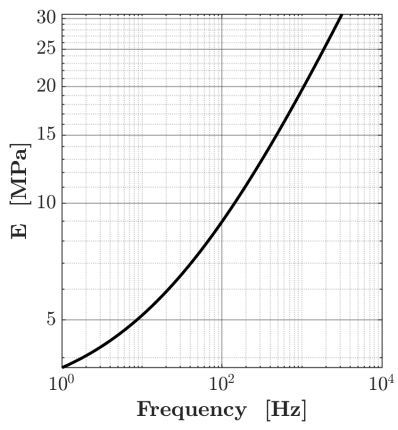
	Densidade (g/cm³)	Preenchimento (%)	Retração Volumétrica (%)	Retração Diâmetro (%)	Retração altura (%)
Giróide, DR30, RF, UCS 5.5 - Resina Ultracur3D EL 150					
Média	0,6	50,5	16,4	1,5	13,8
Desv. Padr.	0,03	2,9	11,5	2,0	11,9
Giróide, DR40, RF, UCS 5.5 - Resina Ultracur3D EL 150					
Média	0,7	64,0	-6,5	-3,7	0,9
Desv. Padr.	0,04	3,6	2,7	1,6	1,2
Giróide, DR40, RS, UCS 5.5 - Resina Ultracur3D EL 150					
Média	0,5	49,1	-6,4	-3,0	-0,2
Desv. Padr.	0,01	1,2	2,9	1,1	0,7
Giróide, DR50, RS, UCS 5 - Resina Ultracur3D EL 150					
Média	0,7	62,6	-1,6	-1,6	1,5
Desv. Padr.	0,02	1,9	2,6	1,1	0,6

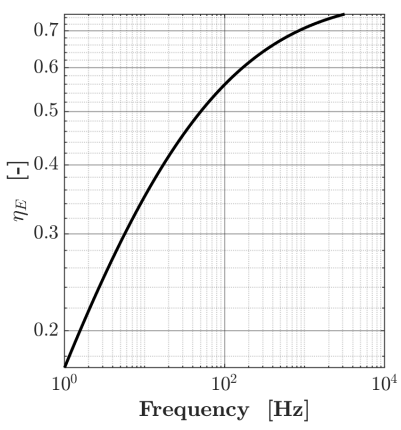


Em mesmo preenchimento real (~50% e ~60%), a RS superou a RF em rigidez e resistência (1,9 vs. 1,2 MPa), com destaque para a RS40.



Parameter	Value	Unit
E_0	3.0×10^6	Pa
E_∞	1.999×10^{10}	Pa
τ	6.035×10^{-9}	s
α	0.4457	-
β	0.1019	-
ν	0.35	-





$$E^*(\omega) = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{\left[1+(i\omega\tau)^\alpha\right]^\beta}$$

Modelo de Havriliak-Negami (HN): onde E_0 é o módulo estático, E_∞ o vítreo, τ o tempo de relaxação, α e β os parâmetros fracionários (variando de 0 a 1). A partir da caracterização dinâmica foi confirmada a alta flexibilidade e amortecimento para uma ampla faixa de frequência, tendo potencial elevado para aplicação no isolamento de vibrações

Conclusões

A rede sólida (RS) supera a rede de folhas (RF) em precisão de impressão, menor retenção de resina e resistência à compressão. A configuração RS40 (DR40 RS) reúne leveza e estabilidade dimensional ideais, sendo a candidata para a caracterização dinâmica por função de resposta em frequência e modelo HN proposta.

Referências e Agradecimentos

[1] Kapfer et al. (Biomaterials, 2011); [2] Al-Ketan & Abu Al-Rub (Adv. Eng. Mater., 2019); [3] Havriliak & Negami (Polymer, 1967). Agradecimentos: Os autores agradecem à FINEP pelo apoio financeiro no âmbito do projeto METABIO3D.