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

Caracterização mecânica de componentes de TPU confeccionados por manufatura aditiva

Flávio Eduardo Romano de Assis[1]; Fernando de Azevedo Silva[1]; Victor Raul Huaman Condori [1];Geraldo Cesar Rosario de Oliveira[1,2]; Marcelo dos Santos Pereira[1]; Antônio dos Reis de Faria Neto[1]; Erick Siqueira Guidi[1]
[1] Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá
[2] Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP)

Introdução

A manufatura aditiva por Modelagem por Deposição Fundida (FDM) permite produzir componentes flexíveis sob medida com poliuretano termoplástico (TPU), de interesse para dispositivos médicos, próteses e peças automotivas. Contudo em peças impressas, a escassez de dados experimentais sobre o comportamento mecânico do FLEX TPU 65D, em função dos parâmetros de impressão, limita sua aplicação segura.

Objetivos

Caracterizar mecanicamente corpos de prova (CPs) de FLEX TPU 65D impressos por FDM, avaliando a influência da orientação do filamento (0° transversal, ±45° e 90° longitudinal) e da altura de camada (0,1 e 0,2 mm).

Metodologia

Foram impressos 75 CPs, em uma impressora QIDI I-mate S, armazenados em saco vácuo com silica até a realização dos ensaios. Tração e flexão: em máquina Shimadzu AG-X (célula de 5 kN; 15 e 5 mm/min; vão de 64 mm); Charpy sem entalhe com pêndulo de 4 J.

Tabela 1. Matriz de ensaios (5 CPs por lote).

Ensaio	Norma	Lotes	CPs
Tração	ASTM D638-14	3 orient. × 0,2 mm	15
Flexão	ISO 178	3 orient. × 2 camadas	30
Charpy	ISO 179-1	3 orient. × 2 camadas	30
Dureza*	ASTM D2240	CPs de tração	45 med.

** Convertida para Shore D por tabela de conversão.*

CPs que não romperam

Charpy: registrados como "N" (não ruptura, ISO 179-1) e excluídos da média de energia; a fração de CPs rompidos (n/5).

Tração e flexão: E secante de 0 ao ponto de inflexão (ε ≈ 0,05), válido mesmo sem ruptura.

Resultados e Discussão

Tração. E ≈ 100 MPa (±45° e longitudinal) e ≈ 122 MPa (transversal). A maioria dos longitudinais não rompeu; os transversais começaram a ruptura entre as camadas de filamentos depositados (Fig. 1c).

Tabela 2. Módulo E por orientação.

Orientação	E (MPa)	Observação
±45°	≈ 102	Sem queda de carga
Longitudinal	≈ 100	Maioria sem ruptura
Transversal	≈ 122	Trincas



Figura 1. (a) ±45° e (b) transversal em ensaio; (c) transversal após o ensaio.

Flexão. Com o mesmo critério da tração, a orientação foi o fator dominante: o lote longitudinal 0,2 mm (≈ 106 MPa) foi 2,0 vezes mais rígido que o transversal 0,2 mm (≈ 53 MPa).

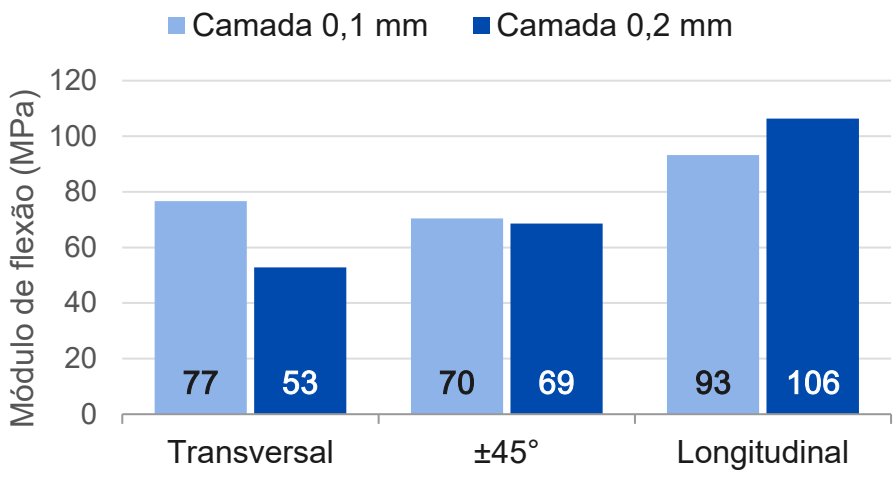


Figura 2. Módulo de flexão por lote (secante de 0 ao ponto de inflexão).

Impacto Charpy. Nenhum CP transversal rompeu; nos demais lotes, 1 a 2 CPs também não romperam, pois a energia necessária excedeu a capacidade do pêndulo (4 J). Nos CPs rompidos, a resistência ao impacto variou de 41 a 85 kJ/m².

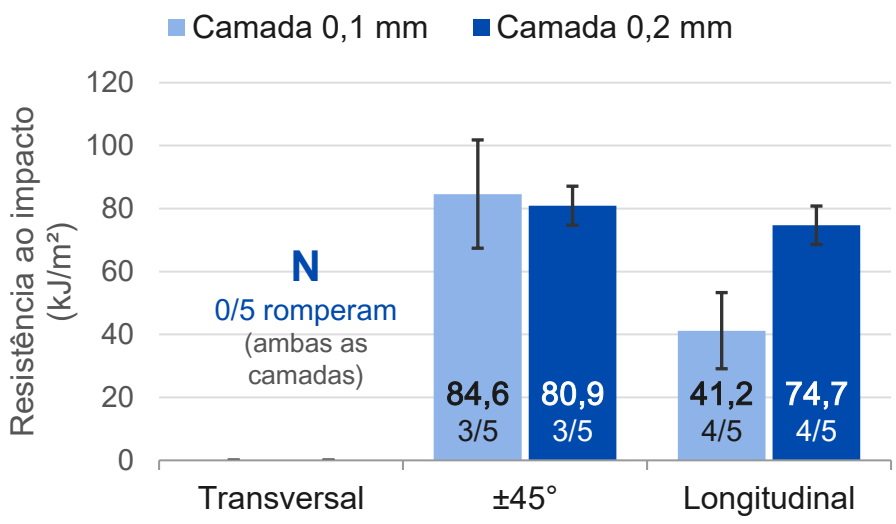


Figura 3. Charpy sem entalhe: média ± d.p. dos CPs rompidos e fração rompida (n/5). N = não ruptura.

Dureza. 92–98 Shore A (≈ 45–50 Shore D) nas três orientações.

Conclusões

- O FLEX TPU 65D impresso é ortotrópico: a orientação influencia a rigidez em flexão e o modo de falha; no módulo em tração (≈ 100–122 MPa) seu efeito é menor.
- A orientação longitudinal com camada de 0,2 mm foi a mais rígida em flexão (≈ 106 MPa; 2,0 × a transversal).
- A elevada fração de CPs sem ruptura evidencia comportamento semelhante ao de elastômeros, com grande capacidade de deformação e de absorção de energia.

Referências e Agradecimentos

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638-14**: standard test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken, 2014.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 178**: plastics — determination of flexural properties. Geneva, 2019.
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 179-1**: plastics — determination of Charpy impact properties — part 1. Geneva, 2010.

Agradecimentos: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior Brasil (CAPES) - código de financiamento 001 e à UNESP.