

MELHORIA DA QUALIDADE DO PROCESSO E MATERIAL FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA

Kauan Kenji Toyama^{1*}, Felipe Gonçalves Di Nisio¹, Neri Volpato¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba

*e-mail: kauankenji@alunos.utfpr.edu.br

Área Temática: 11 – Engenharia Mecânica e Mecatrônica

Palavras-chave: Manufatura Aditiva; Impressão 3D; MEX; Propriedades Mecânicas.

RESUMO

Contexto: A Manufatura Aditiva por Extrusão de Material (MEX) tem se destacado na fabricação de componentes funcionais devido à sua versatilidade geométrica e ao baixo custo. No entanto, a integridade estrutural é fortemente dependente da qualidade da adesão dos filamentos na mesma camada (*intralayer*) e entre camadas adjacentes (*interlayer*). Durante o processo de fabricação de geometrias complexas, ocorrem interrupções no percurso de impressão, resultando em regiões de contato após a retomada da extrusão, denominadas *Resumed Contact* (RC).

Lacuna/Problema: Ao reiniciar a deposição de material na região da RC, a combinação do resfriamento do *raster* anterior com o atraso na retomada da extrusão no bico pode introduzir defeitos locais e microvazios. Essa fragilização compromete a resistência mecânica global da peça, uma vez que esses pontos de contato podem atuar como concentradores de tensão. Porém, não existem estratégias de preenchimento sólidas com o objetivo de reduzir esses pontos de fragilidade.

Objetivo: O objetivo deste estudo é avaliar a eficácia do ajuste local dos parâmetros de processamento por meio do G-code, especificamente pelo aumento do fluxo de extrusão e pela redução da velocidade de impressão no ponto de retomada, utilizando corpos de prova normatizados segundo a ASTM D638. Para isso, foram comparados dois grupos: um grupo experimental, no qual os parâmetros de processamento são alterados na região de retomada, e um grupo controle, no qual os parâmetros são mantidos inalterados.

Método: Os corpos de prova foram modelados de acordo com a norma ASTM D638 (Tipo IV) e fatiados no software RP3. Para evidenciar a influência da adesão entre filamentos adjacentes, a orientação de preenchimento foi mantida estritamente a 90° em relação à direção da solicitação axial. Foi adicionada uma seção complementar ao G-code das amostras, denominada “bandeirinha”, com o objetivo de evitar o afinamento do filamento durante a retomada da deposição, o que poderia causar subextrusão. Foram avaliados dois grupos experimentais, impressos em PLA (ácido polilático) com diâmetro de 1,75 mm, temperatura do bico de 200 °C e temperatura da mesa de 55 °C em uma impressora Bambu Lab X1 Carbon. O grupo controle foi submetido a uma interrupção no meio da peça para simular a falha associada à RC, mantendo o fluxo de extrusão em 100% e a velocidade de impressão em 100% (E100-S100) tanto na região de retomada quanto no restante da peça. Nesse grupo sem correção, ao retomar a deposição, o filamento anterior da região de RC já se encontra resfriado. Já o grupo corrigido foi submetido à mesma interrupção controlada para simular o defeito associado à RC e, posteriormente, teve os parâmetros ajustados localmente na região de contato, com fluxo de extrusão de 105% e velocidade de impressão reduzida para 40% (E105-S40). Essa redução de velocidade amplia o tempo de permanência do bico aquecido na junta, aquecendo e amolecendo os filamentos adjacentes, enquanto a sobre-extrusão atua no preenchimento de vazios para reforçar a união. Além disso, com o intuito de evitar falhas de subextrusão na retomada do processo, o G-code foi editado para que a velocidade de impressão fosse restabelecida de forma gradual, em incrementos sucessivos de 10% até atingir o valor nominal (100%). Após a impressão, foram realizados ensaios de tração nos dois grupos utilizando uma máquina universal de ensaios EMIC DL 10.000, sob velocidade de 5 mm/min.

Resultados: Os ensaios mecânicos preliminares de tração indicaram que o grupo controle sem tratamento (E100-S100) atingiu uma resistência limite à tração média de $29,80 \pm 1,19$ MPa, registrando 100% de

fraturas localizadas estritamente na linha da solda, o que confirma a fragilização provocada pela retomada na RC. Em contrapartida, o grupo com parâmetros ajustados (E105-S40) apresentou uma resistência média de $30,02 \pm 1,57$ MPa. Embora essa variação represente um ganho de resistência discreto, houve mudanças no modo de falha das amostras, ao contrário do grupo sem correção, o tratamento E105-S40 permitiu que parte dos corpos de prova rompesse fora da linha de solda, evidenciando a atenuação do ponto fraco local. Como a investigação encontra-se em fase de consolidação e conta com uma amostragem restrita, estudos adicionais e análises estatísticas complementares permanecem em andamento para validar a sistemática de recuperação da junta.

Conclusão: A atuação conjunta do aumento do fluxo de extrusão (+5%) e da redução local de velocidade (40%) no ponto de retoma é uma estratégia simples e computacionalmente eficiente para mitigar os defeitos intracamada na manufatura aditiva por extrusão. A metodologia valida a viabilidade de realizar otimizações parametrizadas diretamente no fatiador RP3 sem a necessidade de reordenamento global de trajetórias, promovendo a melhoria da qualidade estrutural e do material fabricado.

AGRADECIMENTOS

À UTFPR pelo fornecimento da bolsa PIBIC, ao laboratório NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental) pelo suporte infraestrutural e às agências de fomento à pesquisa CNPq, CAPES e Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] HUNGRIA, E. B.; Di Nisio, F. G.; CANO, F. C.; VOLTOLINI, R.; VOLPATO, N., A study about weak intralayer bonding in extrusion-based additive manufacturing due to resumed extrusion during filling, **Polymer Testing**, v.140, p. 108595 (2024);
- [2] ASTM International. ASTM D638-22: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. (2022);
- [3] VOLPATO, N.; DI NISIO, F.; ROMANIUK RAMALHO, H.; MINETTO, R.; DUTRA DA SILVA, R., RP3: A research framework for process planning in additive manufacturing, , p. 1–8 (2023);