

AVALIAÇÃO DE PAREDES INCLINADAS OBTIDAS POR FABRICAÇÃO ADITIVA DE EXTRUSÃO

EVALUATION OF SLOPING WALLS BY EXTRUSION BASED ADDITIVE MANUFACTURING

Inês Lemos¹, Henrique A. Almeida^{1,2} & Mário S. Correia^{1,3}

¹ ESTG, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, 2151433@my.ipleiria.pt

² CIIC, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, henrique.almeida@ipleiria.pt

³ CEMMPRE, Universidade de Coimbra, Portugal, mario.correia@ipleiria.pt



RESUMO

A tecnologia de FDM é um processo de fabricação aditiva que produz o modelo com a deposição de materiais poliméricos camada a camada. Os ficheiros STL, gerados através do modelo CAD do componente, são manipulados por um software de maneira a definir as melhores condições para a impressão do modelo pretendido bem como definir a necessidade de produzir estruturas de suporte. É relevante estabelecer diretrizes de design para alcançar um melhor resultado. Assim sendo, o foco deste trabalho é avaliar a capacidade de construção de paredes inclinadas em FDM e verificar a necessidade da existência de estruturas de suporte num conjunto de modelos definidos com uma geometria específica. O trabalho consistiu por produzir troncos de cone ocós invertidos através do processo de FDM em diferentes equipamentos. Deste modo foi possível avaliar a geometria produzida, as diferenças de espessura de material depositado e concluir até que ponto é possível produzir o componente sem estruturas de suporte dentro dos parâmetros definidos.

ABSTRACT

FDM technology is an additive manufacturing process that produces the model with deposition of polymer materials layer by layer. The STL files, generated through a CAD model of the component, are manipulated by software in order to define the best conditions for the printing of the desired model as well as to define the need to produce support structures. It is relevant to establish design guidelines to achieve a better result. Thus, the focus of this work is to evaluate the ability to build sloping walls in FDM and to verify the need of the existence of support structures in a set of models defined with a specific geometry. The work consisted of producing inverted hollow cone trunks through the FDM process in different equipment's. In this way it was possible to evaluate the build geometry, the thickness differences of deposited material and to conclude the limit of sloping walls in which it is possible to produce the component without support structures within the defined parameters.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm vindo a crescer o número de tecnologias e equipamentos de fabricação aditiva. Estas tecnologias têm evo-

luído em termos de matérias-primas, *hardware* e *software* de controlo para a produção de componentes e peças protótipo ou funcionais para os diversos sectores industriais.

Primeiro, um modelo digital é desenvolvido, então o modelo CAD deve ser convertido em um arquivo que o *software* da impressora 3D possa ler, geralmente um arquivo STL. O arquivo STL consiste no modelo em facetas triangulares que se aproximam da forma do objeto. O *software* da impressora 3D lê o STL, processa os dados e define as estruturas de suporte (Huang et al. 2009), caso necessário. O próximo passo consiste na produção do modelo físico. Finalmente, o modelo é removido da plataforma de construção e é eliminado todo o material de suporte, caso exista. Este material de suporte é removido manualmente ou dissolvido em água (Gibson *et al.*, 2015). O modelo é limpo e tratado (Fig 1).



Fig 1 – Etapas gerais da fabricação aditiva

Nos sectores industriais mais exigentes como o sector médico, automóvel e aeronáutica, a fabricação aditiva tem marcado a sua presença de forma significativa e crescente. A fabricação aditiva já permite produzir peças em quase qualquer material e extrema complexidade geométrica. Existe um número significativo de sistemas de fabricação aditiva, sendo que os mesmos podem ser classificados da seguinte forma de acordo com a norma *ASTM F42/ISO TC 261*:

- Processos de Fotopolimerização em Câmara utilizando resinas fotossensíveis com ou sem nanocargas metálicas ou cerâmicas.
- Processos de Impressão de Material utilizando materiais termoplásticos, ceras, fotopolímeros, metais, materiais óticos e eletrónicos.
- Processos de Impressão de Aglomerante utilizando polímeros, metais e pós cerâmicos.
- Processos de Extrusão de Material utilizando polímeros e compósitos.
- Processos de Fusão em Camada de Pó utilizando polímeros, metais e pós cerâmicos.
- Processos de Laminação em Folhas de papel, metal e polímeros.
- Processos de Deposição Direcionada de Energia utilizando metal, polímeros, pós e filamentos.

De uma forma resumida, as tecnologias de fabricação aditiva produzem peças pela adição de material camada a camada. Contudo, em alguns casos, para que se possa produzir as peças num espaço tridimensional complexas, é preciso recorrer a estruturas de suporte para suportar a peça durante a sua construção (Chua, *et al.*, 2014; Martins, *et al.* 2017). Em alguns sistemas, o material não processado na mesa de construção serve de suporte para a peça em construção, noutros sistemas, é necessário produzir as estruturas de suporte enquanto se produz a peça (Ezair, Massarwi, and Elber 2015; Hu, Jin, and Wang 2015 ;Martins, *et al.* 2017).

Um exemplo é o Processo de Extrusão de Material comercialmente conhecido por *Fused Deposition Modelling (FDM)*. Este processo possui uma cabeça de extrusão com dois bicos, um para o material da peça e outro para as estruturas de suporte.

A produção de estruturas de suporte tem as suas desvantagens, nomeadamente o tempo de máquina para a sua construção, a remoção de forma completa dessas estruturas em peças de geometria complexa,

as marcas ou defeitos na peça depois da sua remoção e o desperdício de material usado nas estruturas de suporte (Almeida e Correia, 2016).

Por forma a contornar esta situação, os fabricantes de sistemas de extrusão aditiva têm desenvolvido *softwares* que controlam os equipamentos que tentam minimizar a criação de estruturas de suporte.

Porém, a produção de geometrias complexas sem estruturas de suporte poderá ficar comprometido (Almeida e Correia, 2016). O objetivo deste estudo é a avaliação geométrica e dimensional de uma peça com paredes finas inclinadas sem a produção de estruturas de suporte.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

Para a realização do estudo, o primeiro passo consistiu na definição da geometria tal como ilustrado na Fig 2. Sendo uma geometria oca, é possível variar a inclinação da parede mantendo a espessura da mesma.

Para a produção das peças, foram escolhidos dois sistemas de *FDM*, a Impressora *Mojo* de *Stratasys* e a *Hello Bee Prusa* como ilustrados na Fig 3. A impressora *Mojo* permite um volume de construção de 127 x 127 x 127 mm enquanto que a *Hello Bee Prusa* permite o volume de construção de 185 x 200 x 190 mm. O material de suporte utilizado na Impressora *Mojo* é designado por *SR-30 Soluble* que pode ser removido por dissolução em um solvente. A *Hello Bee Prusa* utiliza como materiais de suporte o Políácido Láctico (PLA) ou então o Acrílonitrilo Butadieno Estireno (ABS), neste caso foi utilizado PLA como material de suporte. O material utilizado em ambos os equipamentos nas produções das peças foi o ABS.

Após a produção das peças em ambos os equipamentos, é necessário efetuar uma avaliação dimensional para se avaliar o impacto de produzir paredes inclinadas sem estruturas de suporte. Para se efetuar a digitalização das peças, utilizou-se o equipamento *ATOS Core 135* (Figura 4)

que é um sistema de digitalização de luz azul estruturada com uma resolução de 0,05 mm. A avaliação dimensional das peças foi realizado no software *Geomagic Qualify*.

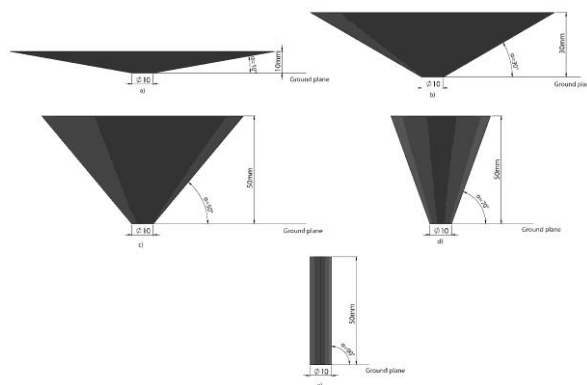


Fig 2 - Ilustração dos modelos CAD para a produção das peças com ângulos de 10°, 30°, 50°, 70° e 90°.

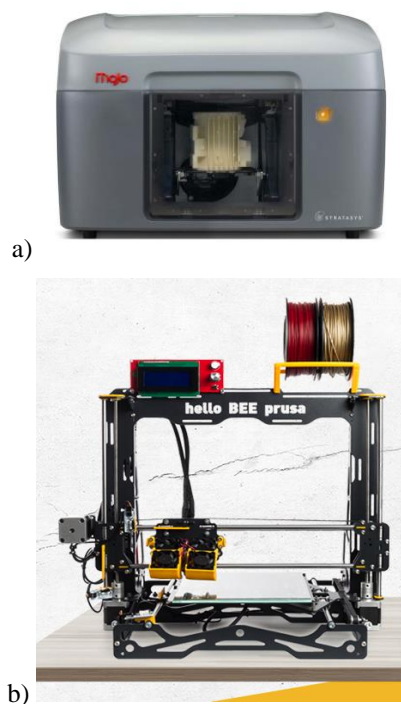


Fig 3 - a) Impressora Mojo de Stratasys e b) Hello Bee Prusa.

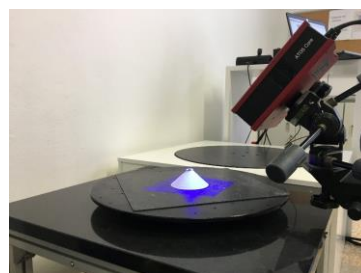


Figura 4 – Sistema de digitalização 3D ATOS Core 135.

3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A Fig 5 ilustra as peças produzidas na impressora *Mojo* ainda na plataforma de construção e com estruturas de suporte. A Fig 6 ilustra as peças produzidas pela *Hello Bee Prusa* com as estruturas de suporte e fora da plataforma de construção.

Após a remoção das peças das plataformas e a remoção das estruturas de suporte, verificou-se que as peças com o ângulo de 10° ficaram danificadas ou não foram pro-

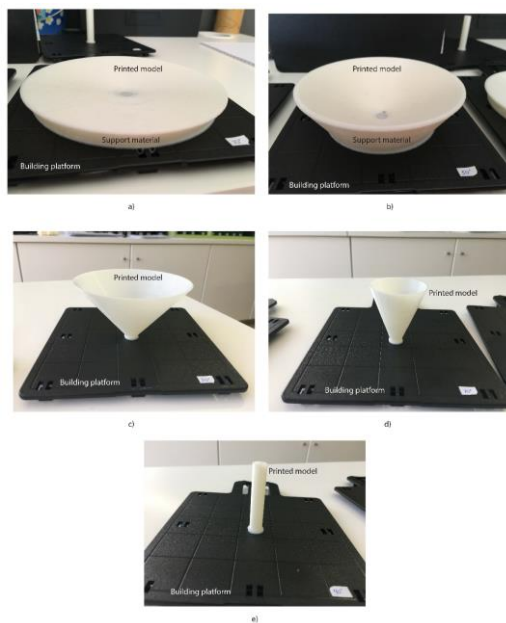


Fig 5 – Peças produzidas pela impressora *Mojo*.

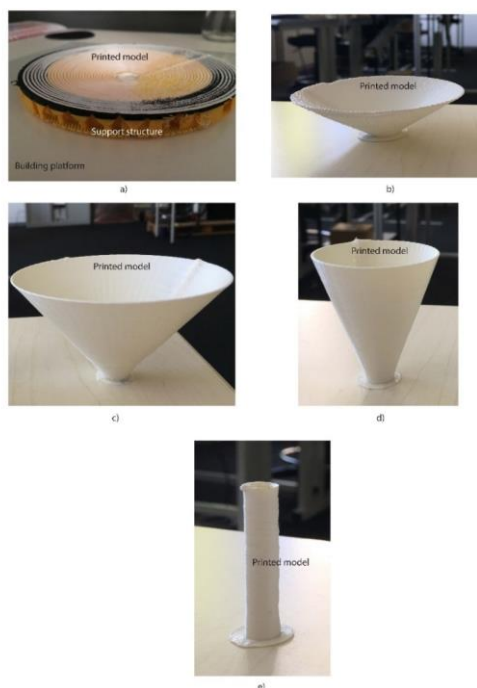


Fig 6 – Peças produzidas pela *Hello Bee Prusa*.

duzidas com material suficiente por forma a manter a integridade das mesmas. A Fig 7 ilustra as peças danificadas.

A etapa seguinte consistiu na digitalização das peças, como ilustrado na Figura 4. Contudo, devido às propriedades superficiais das peças em termos de cor e reflexo da luz incidente durante a digitalização, foi necessário aplicar um pó próprio *MR® 2000 Anti-Reflex L* sendo que melhorou de forma significativa a captação da imagem das peças produzidas. A Fig 8 ilustra uma comparação entre a captação de uma peça sem e com pó revelador.

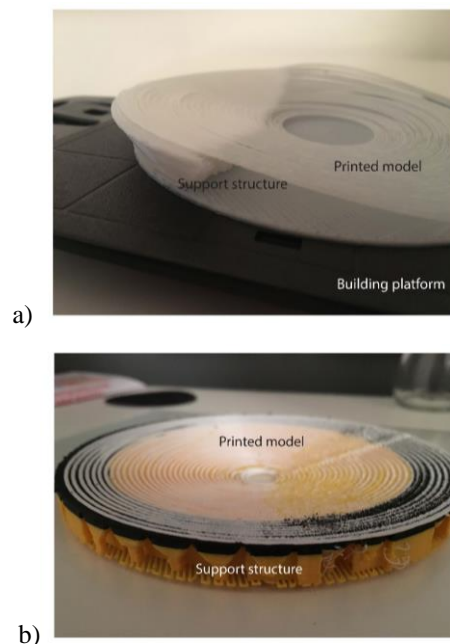


Fig 7 – Peças danificadas produzidas pela a) impressora *Mojo* e pela b) *Hello Bee Prusa*.

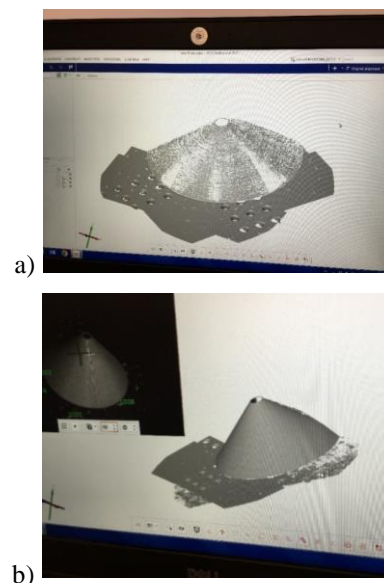


Fig 8 – Captação da informação digital das peças a) sem pó e b) com pó revelador.

Após a captação digital das peças produzidas e após a limpeza dos ficheiros digitais, procedeu-se à avaliação dimensional das peças produzidas. Esta etapa consiste na importação do modelo CAD original e definir o modelo com a referência, e a importação dos modelos STL's provenientes da digitalização e definir os mesmos como modelos de teste. A Fig 9 ilustra uma avaliação dimensional de uma peça produzida.

Contudo, os resultados das avaliações dimensionais não foram conclusivos. Desta forma, foi adotado outro método de avaliação dimensional das peças. O procedimento consistiu em definir planos horizontais com espaçamentos de 5 mm entre cada plano. Após essa definição, procedeu-se à interceção dos planos com as peças e efetuou-se de seguida a avaliação dimensional das peças plano a plano. A Fig 10 ilustra o resultado do novo método adotado. Desta forma, foi possível realizar a avaliação dimensional das peças produzidas em função do ângulo da parede inclinada e em função da altura do plano.

As Fig 11 e Fig 12 ilustram a vari-

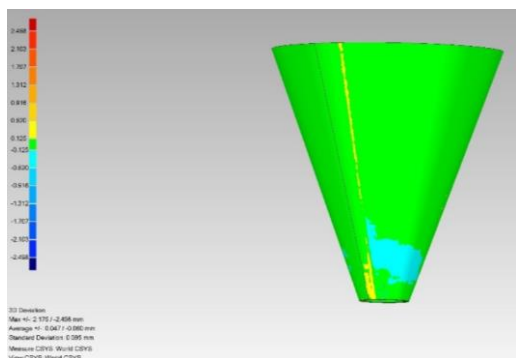


Fig 9 - Ilustração dos desvios dimensionais entre o modelo referência (CAD) e o modelo teste (STL).

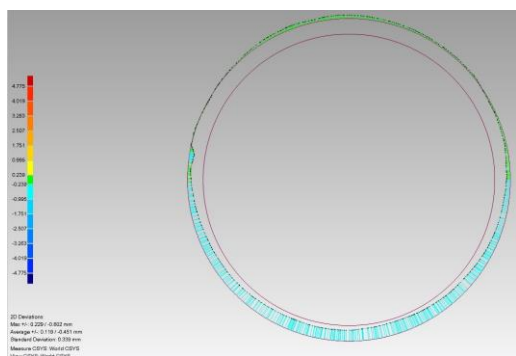


Fig 10 – Avaliação dimensional da peça com a referência no plano de altura de 5 mm.

ação dimensional das peças em função do ângulo das paredes inclinadas e em função da altura. É possível observar, que à medida que se aumenta a altura, a variação dimensional tende a aumentar em relação à falta de material e diminuir em relação ao excesso do

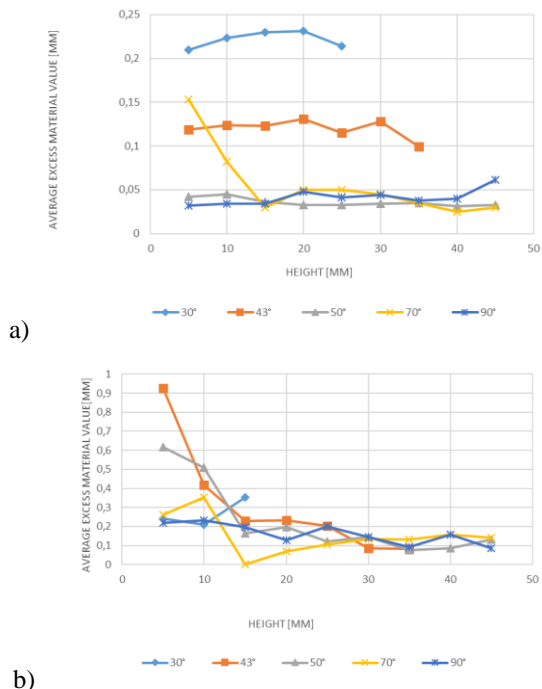


Fig 11 – Variação do valor médio dos desvios em relação ao excesso de material face à cota nominal na a) impressora Mojo e na b) Hello Bee Prusa.

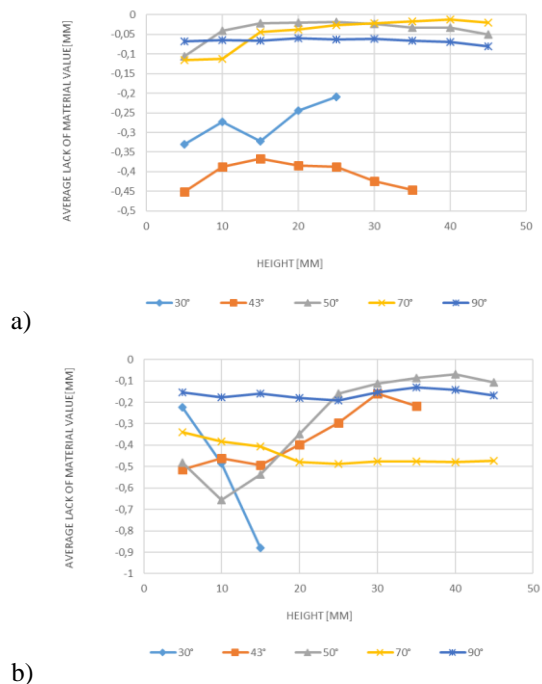


Fig 12 – Variação do valor médio dos desvios em relação à falta de material face à cota nominal na a) impressora Mojo e na b) Hello Bee Prusa.

material. Este fenómeno deve-se ao facto da existência de maior quantidade de material que como tem maior volume contrai de forma mais evidente na direção interior do componente gerado. Na ausência de estruturas de suporte, a maior percentagem de material verifica-se no interior das peças pela própria produção das mesmas. Com a produção de estruturas de suporte, este fenómeno seria evitado pelo facto de existir maior percentagem de material no exterior da peça do que no interior.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho detalha uma análise experimental em modelos impressos por FDM com diferentes paredes inclinadas sem a existência de estruturas de suporte durante a produção. De acordo com os resultados observados, tornou-se evidente que paredes inclinadas necessitam de estruturas de suporte se é necessário garantir o rigor dimensional das peças a produção.

Ainda foi possível observar quando o ângulo diminui, o modelo torna-se mais frágil. Devido à forma como o modelo está a ser construído, em cone invertido, faz com que a quantidade de material depositado em cada camada vá aumentando porque o perímetro da deposição é cada vez maior. Deste modo a maior quantidade de material a aderir na nova camada é cada vez mais difícil e então, para ângulos menores, a estrutura colapsa sendo necessária a utilização de estruturas de suporte.

A remoção da estrutura de suporte pode danificar o modelo, criando uma superfície demasiado rugosa. Em casos de modelos de paredes com espessuras muito finas, o modelo pode colapsar durante a remoção dos suportes.

Em suma, apesar do aumento do tempo de produção e o desperdício de material utilizado nas estruturas de suporte em geometrias com paredes inclinadas, é preferível optar pela produção com estruturas de suporte para garantir a qualidade dimensional e a geometria da peça a produzir.

AGRADECIMENTOS

Os investigadores agradecem a colaboração da empresa Cadmold pela produção das peças na impressora *Mojo* e à empresa S3D pelo equipamento de digitalização 3D bem como a versão demo do Geomagic Qualify.

REFERÊNCIAS

- Almeida, H.A., Correia, M.S. (2016) “Sustainability impact evaluation of support structures in the production of extrusion based parts”, Handbook of Sustainability in Additive Manufacturing (Vol. I), S.S. Muthu & M.M. Savalani (Eds.), Springer (ISBN 978-981-10-0549-7), 7-30.
- Chua, C.K., Leong, K.F. (2014) “3D Printing and Additive Manufacturing – Principles and Applications”, 4th Edition, World Scientific Publishing.
- Ezair, Ben, Fady Massarwi, and Gershon Elber. 2015. ‘Orientation Analysis of 3D Objects toward Minimal Support Volume in 3D-Printing’. *Computers and Graphics (Pergamon)* 51: 117–24. doi:10.1016/j.cag.2015.05.009.
- Gibson, I., Rosen, D. Stucker, B. (2015) “Additive Manufacturing Technologies – 3D printing, rapid prototyping and direct digital manufacturing”, 2nd Edition, Springer, New York.
- Hu, Kailun, Shuo Jin, and Charlie C.L. Wang. 2015. ‘Support Slimming for Single Material Based Additive Manufacturing’. *CAD Computer Aided Design* 65: 1–10. doi:10.1016/j.cad.2015.03.001.
- Huang, Xiaomao, Chunsheng Ye, Siyu Wu, Kaibo Guo, and Jianhua Mo. 2009. ‘Sloping Wall Structure Support Generation for Fused Deposition Modeling’. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 42 (11–12): 1074–81. doi:10.1007/s00170-008-1675-2.
- Martins, J., Correia, M. S., Almeida, H.A., Vasco, J.C. (2017) “Análise ao comportamento mecânico de peças produzidas com estruturas de suporte por FDM”, *Revista da Associação de Análise Experimental de Tensões, Mecânica Experimental*, Vol. 29, Pgs 51-59, ISSN 1646-7078.