

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Análise da viabilidade econômica na produção de peças otimizadas internamente utilizando o Netfabb para impressão 3D.

Leonardo Santos Mendonça¹, Marcel Henrique Militão Dib².

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista CNPq, IFSP, Campus Araraquara, l.mendonca@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutor em Ciências em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, marceldib@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.05.00-3 Processos de Fabricação

RESUMO:

A manufatura aditiva por meio da impressão 3D vem ganhando espaço no mercado por suprir necessidades de otimização na fabricação de geometrias complexas. A otimização, por sua vez, é um método que busca extrair o melhor rendimento possível de um processo. No âmbito da engenharia, tornar um produto otimizado é fazer com que ele tenha as mesmas propriedades, porém com menor custo, sem sobras ou perdas de material, e que consiga atingir o ápice da performance do processo de fabricação envolvido. A otimização de estruturas para impressão 3D por meio de simulações, especialmente aquelas conduzidas através do método dos elementos finitos (MEF), é uma prática comum para buscar cenários ideais.

Utilizando a ferramenta de otimização de preenchimentos internos, recentemente adicionada ao software Netfabb, é possível gerar otimizações no preenchimento interno da peça. A funcionalidade é capaz de determinar preenchimentos com diferentes espessuras baseada na solicitação de esforços na região. Utilizando também recursos de impressão 3D e uma máquina de ensaios universais foi possível reproduzir os corpos criados computacionalmente para testes empíricos comparativos.

Os resultados das otimizações mostram uma possibilidade de aplicação do método em algumas geometrias e condições de carga, sendo assim faz-se necessário a análise da viabilidade econômica do processo, tal análise foi feita após a criação, impressão e ensaios, uma vez que, os dados de massa e tempo de impressão são variáveis importantes para a precificação.

Assim, foi possível determinar que mesmo com o gasto de energia, a produção e utilização de peças otimizadas ainda é mais viável economicamente em cerca de 35.5%.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização de preenchimento; Netfabb; viabilização econômica.

Economic feasibility analysis of internally optimized parts using Netfabb for 3D printing.

ABSTRACT:

Additive manufacturing through 3D printing has been gaining ground in the market by meeting the need for optimization in the production of complex geometries. Optimization, in turn, is a method that seeks to extract the best possible performance from a process. In the context of engineering, optimizing a product means ensuring it retains the same properties but with lower costs, without excess or waste of material, and reaching the peak performance of the manufacturing process involved. The optimization of structures for 3D printing through simulations, especially those conducted using the finite element method (FEM), is a common practice to seek ideal scenarios.

By using the internal fill optimization tool, recently added to Netfabb software, it is possible to generate optimizations in the internal fill of the part. This feature can determine fills with different thicknesses based on the stress demands in the region. By also using 3D printing resources and a universal testing machine, it was possible to reproduce the computationally created bodies for comparative empirical tests.

The optimization results show the potential for applying the method in some geometries and load conditions. Therefore, it is necessary to analyze the economic feasibility of the process. This analysis was performed after creation, printing, and testing, as mass and print time data are important variables for pricing.

Thus, it was possible to determine that, even considering energy consumption, the production and use of optimized parts are still about 35.5% more economically viable.

KEYWORDS: Fill optimization; Netfabb; Economic feasibility.

INTRODUÇÃO

Na última década, a manufatura aditiva tem crescido em processos industriais globalmente, impulsionando estudos para otimizar sua viabilidade e eficiência na produção em massa. Baseada na extrusão de material por fusão ou deposição, o processo envolve a deposição de filamentos finos, obtidos por extrusão através de um bico calibrado. A geometria de cada camada é formada por um cabeçote extrusor, que se move no plano horizontal sobre uma plataforma de construção. Ao final de cada camada, um mecanismo elevador ajusta a altura no eixo Z, de acordo com a espessura da camada. (Volpato, 2017).

Entretanto, o principal desafio da manufatura aditiva é minimizar o uso de material enquanto reduz o tempo de produção. Com a crescente adoção desta tecnologia, aumentou também a demanda por pesquisas focadas na otimização de peças. Essa abordagem permite criar formas que seriam inviáveis de serem fabricadas com métodos tradicionais, tornando a impressão 3D particularmente promissora. Um exemplo disso é a otimização de preenchimento, um método muito recente de criação de modelos, que por meio das simulações por elementos finitos, criar corpos com redução de massa no seu interior impresso.

O processo de otimização de preenchimento interno ainda é muito novo se comparado à métodos como a otimização topológica por exemplo, e, portanto, existem diversas incertezas quanto a sua real efetividade. Uma delas é a viabilidade econômica, uma vez que mesmo reduzindo a massa do corpo e o gasto com perdas por meio da manufatura aditiva, são geometrias complexas e demandam tempo de maquinário para serem produzidas, sendo assim, será analisado se a economia em material é maior que o gasto em tempo de impressão, viabilizando o processo economicamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do trabalho foram utilizados notebooks do LabMaker do Campus do IFSP Araraquara, Notebooks modelo “Thinkpad E14” da marca Lenovo, cujas características estão especificadas na Tab 1. Utilizado para a realização das simulações e criação dos corpos.

TABELA 1. Especificações do Notebook LabMaker IFSP Araraquara

Processador	11th Gen Intel(R) Core™ i7-1165HG7 2.80GHz
Memória RAM	16 GB (Utilizável: 15.7)
Sistema	Windows 10 Pro x64 bits

O software utilizado nesta pesquisa foi o Netfabb Ultimate, desenvolvido pela Autodesk. Esta versão do Netfabb oferece funcionalidades avançadas em comparação com versões anteriores, destacando-se principalmente pela aba 'Utilities'. Este recurso permite um detalhamento e dimensionamento interno do modelo mais sofisticado, essencial para a realização dos estudos

conduzidos. As capacidades avançadas do Netfabb Ultimate facilitam a manipulação detalhada e a otimização de preenchimento dos modelos 3D, permitindo análises precisas e técnicas das características dos objetos fabricados. Foram utilizados a impressora Ender 3 V2, e filamentos do material PLA da marca Voolt na cor cinza Nintendo, conforme demonstra a Fig. 1, para impressões dos modelos pelo software Netfabb.

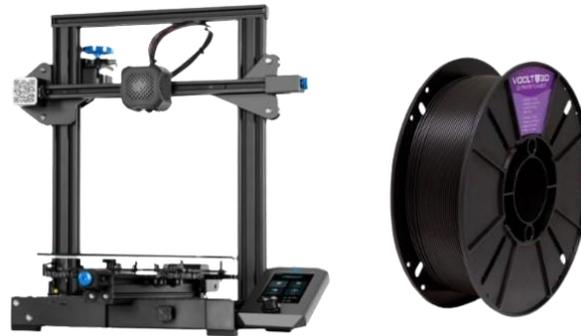


FIGURA 1. Impressora Ender 3 V3 SE e filamento Voolt utilizados.

Além dos dados obtidos no trabalho referente a este artigo, onde foram adquiridos os dados de cada um dos corpos a serem analisados neste trabalho. A criação e ensaio dos corpos se limita ao trabalho anterior, este visa apenas analisar economicamente o processo de impressão das peças em questão, um corpo otimizado e outro com preenchimento comum 50%.



FIGURA 2. Peças impressas, corpo otimizado e corpo de preenchimento convencional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro passo foi consultar nos programas onde as peças foram criadas e posteriormente fatiadas para impressão as informações relevantes para o trabalho. As duas informações para a precificação são:

- Quantidade de material utilizado;
- Tempo de impressão.

A peça de preenchimento comum tem preenchimento 50% e foi a peça que resistiu de forma semelhante a carga de 3,1 toneladas aplicadas nos corpos, sendo assim, é o modelo fatiado e considerado para análise. Todos os corpos têm as dimensões 50x50x50mm.

A quantidade de material utilizado na impressão dos dois experimentos e o tempo de impressão estão dispostos nas tabelas abaixo, respectivamente:

TABELA 2. Quantidade de material utilizado na impressão.

Modelo:	Peso (g):
---------	-----------

Peça otimizada	46
Peça de preenchimento comum (50%)	88

TABELA 3. Tempo de impressão das peças.

Modelo:	Tempo de impressão (min):
Peça otimizada	423
Peça de preenchimento comum (50%)	250

A velocidade de impressão influencia diretamente na equação de precificação de peças, neste caso, por se tratar de uma impressora rápida, a velocidade de impressão escolhida foi de 150 mm/s. Essa velocidade manteve qualidade de impressão e gerou tempos de impressão razoavelmente baixos se analisada a geometria da peça. Em impressoras com velocidades mais baixas o resultado da precificação será levemente alterado, uma vez que, a impressora precisará ficar operante por mais tempo.

Por exemplo, uma impressora menor ou mais antiga que, para manter a qualidade de impressão precisa reduzir a velocidade para 75 mm/s, vai demorar em média 7 horas e trinta e cinco minutos, isto é aproximadamente meia hora a mais de gasto em energia para a criação da mesma peça. Em 50 mm/s o tempo passa para nove horas, sendo assim a velocidade de impressão é uma variável crucial para esta análise.

Antes de calcular o gasto de energia elétrica com a impressão, foi calculado o preço individual de cada uma das peças tomando em conta somente o material utilizado para sua produção. Para isso foram utilizados os dados da tabela 2 e os valores de mercado dos filamentos, na criação das peças e na simulação, o material idealizado era o PLA comum.

Em uma rápida busca em sites especializados, o PLA da marca Voolt3D se mostrou o melhor na relação custo-benefício, sendo assim o escolhido para a impressão dos modelos do ensaio. O rolo do filamento custa em média 110 reais e contém 1Kg de material para a impressão.

Sendo assim, basta converter o peso do filamento em kg para gramas e fazer uma regra de três simples na relação entre o peso e o preço do material como mostra a figura abaixo onde foi feita a relação para as duas peças, respectivamente:

Corpo Otimizado	Corpo 50%
1000 g — 110 reais	1000 g — 110 reais
46 g — X reais	88 g — X reais
X = 5,06 reais	X = 9,68 reais

FIGURA 3. Relação peso e preço do material utilizado nos modelos.

Como pode ser observado, existe uma grande diferença inicial. Esta diferença é exatamente o motivo pelo qual modelos 3D para manufatura aditiva são otimizados, ambos suportaram a carga alvo, porém um deles com aproximadamente metade do material utilizado e conseqüentemente metade do preço de material.

Porém, antes de tirar conclusões precipitadas, é necessário calcular o preço de impressão dos corpos em função do gasto de energia, uma vez que, segundo a tabela 3, o corpo otimizado demora 173 minutos a mais para ficar pronto, valor equivalente a quase o dobro de tempo.

Para calcular o gasto de energia elétrica serão necessários novamente alguns valores que podem variar de acordo com o equipamento e a região onde a peça está sendo impressa.

No caso deste estudo, as peças foram impressas em uma Ender 3 V3 SE (figura 1) e no LabMaker do campus do IFSP – Araraquara, sendo assim o gasto de energia do equipamento e o preço do KW/h

utilizados para esta precificação são os referentes a estas variáveis, caso necessário estes valores podem ser alterados de acordo com a região e equipamento utilizados.

O gasto do equipamento se encontra no manual do produto, no site da marca ou no catálogo. Já o preço o KW/h está disponível no site da fornecedora de energia da região onde a peça será impressa.

O consumo pode mudar de acordo com a utilização, porém como a velocidade de impressão está alta, será considerado como máximo e fixo, a impressora tem um consumo de 350W.

Dimensões e Peso:

- **Dimensões Totais:** 349 mm x 364 mm x 490 mm
- **Peso Total:** 7.12 kg
- **Consumo Máximo de Energia:** 350 W
- **Voltagem:** AC: 100 V a 240 V (50-60 Hz)

FIGURA 4. Consumo máximo de energia Ender 3 V3 SE.

A tarifa de energia, assim como o tempo de impressão e preço de filamento, tem um valor diferente para cada cidade e estado. Para calcular o preço de energia elétrica para uma peça existe uma fórmula base. Primeiro é preciso calcular o gasto da máquina no tempo de impressão desejado, para isso utiliza-se a fórmula do consumo ilustrada abaixo:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Potência} * \text{Tempo}}{1000} \quad (1)$$

Em que,

Consumo – Consumo de energia pela máquina, KWh;

Potência – Potência máxima da impressora, Watts;

Tempo – Tempo de impressão, Horas.

Tendo o consumo da impressora basta multiplicá-lo pela tarifa de energia da cidade ou município onde a peça foi impressa. Esta tarifa geralmente é dividida em duas partes que são aplicadas um imposto e assim utilizada como fator multiplicativo para o consumo, por exemplo:

TARIFA ANEEL		
Consumo	TUSD	TE
Consumo kWh	0,37439000	0,32796000

FIGURA 5. Tarifa de energia sem impostos.

Na cidade de Araraquara-SP, a tarifa é dividida em TUSD e TE e tem os valores acima, estes valores passam pelo imposto do PIS e COFINS e somente taxados são multiplicados pelo consumo como mostra um exemplo de conta de energia da cidade abaixo:

0605 Consumo Uso Sistema [KWh]-TUSD	AGO/24	67,000 kWh	0,39223881	26,28
0601 Consumo - TE	AGO/24	67,000 kWh	0,34373135	23,03

FIGURA 6. Tarifas já aplicadas de impostos, exemplo conta de energia.

Portanto, para calcular a tarifa por KWh é necessário somar estes valores da conta da residência ou empresa onde serão impressas, neste caso a tarifa já taxada de impostos é 0,73597016 reais/KWh. Assim é possível calcular o gasto por peça calculando o consumo e multiplicando pela tarifa.

Corpo Otimizado	Corpo 50%
$C = P*t/1000$	$C = P*t/1000$
$C = 350*7/1000$	$C = 350*4,16/1000$
$C = 2,555 \text{ KWh}$	$C = 1,458 \text{ KWh}$
$\text{Gasto} = 2,555*0,73597016$	$\text{Gasto} = 1,458*0,73597016$
$\text{Gasto} = 1,88 \text{ Reais}$	$\text{Gasto} = 1,07 \text{ Reais}$

FIGURA 7. Cálculo do gasto com energia das peças.

Com os valores de gasto de material e energia calculados é possível precificar corretamente as peças e concluir se é viável economicamente realizar a otimização. A tabela abaixo expõe os resultados e o preço final para cada peça.

TABELA 4. Custo total de cada uma das peças

	Custo Material (R\$)	Custo energia (R\$)	TOTAL (R\$)
Peça Otimizada	5,06	1,88	6,94
Peça preenchimento Comum (50%)	9,68	1,07	10,75

CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos, podemos concluir que, mesmo com o maior tempo de impressão o corpo otimizado ainda representou uma economia de aproximadamente 35,5% no preço final. Além disso, é possível notar que, mesmo com o tempo de impressão elevado e a potência da impressora considerada máxima em todo o processo de impressão, o gasto com energia elétrica é muito baixo em relação ao gasto de material, este valor pode ser ainda menor a depender da potência da impressora.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

L.S.M e M.H.M.D contribuíram igualmente na produção do trabalho, todas as atividades foram realizadas em conjunto ou em apoio. L.S.M atuou na redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais aos familiares; os amigos; ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), que incentivou e proporcionou recursos que possibilitaram a pesquisa deste trabalho; ao LabMaker do IFSP Câmpus Araraquara; ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- 3DLab, 2021. Consumo de energia de impressora 3D: aprenda a calcular agora. Disponível em: <https://3dlab.com.br>
- Acelera3D, 2022. Calculadora de custos impressão 3d. Disponível em: <https://acelera3d.com.br>
- Antonelli, L. Bombacini, M, 2019. Impressoras 3D de baixo custo. Academia.edu.
- Silva, P. Santandrea, R. et.al, (2020). Impressão 3D: Um guia prático. Brazilian Journal of Development.
- Souza, D. Souza, I. Batista, F, 2022. Sistema de backup de impressora 3d com baterias. EVINCI, v.8, n.2.

Barbosa, F. Peruchi, R. et al, 2023. Modelos compósitos centrais para otimização do fator de energia na impressão 3D. Revista gestão e secretariado (GeSec). São Paulo, SP, v. 14, n. 10.