



REDUÇÃO DE CUSTO SUBSTITUINDO PEÇA DE ALUMÍNIO POR POLÍMERO

IMPRESSO EM 3D

COST REDUCTION BY REPLACING ALUMINUM PART WITH 3D PRINTED POLYMER

CAMPOS, Ingrid Almeida de; GUARISO, Victor

Professor(a) Celso Antonio Cipolato do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade São Francisco.

Diih_campos@hotmail.com

Victor.guariso@outlook.com

RESUMO. A manufatura aditiva torna-se cada vez mais presente em diferentes ramos devido a sua redução de custos e tempo de produção e, também, para a criação de protótipos para validações antes da produção final. Neste artigo foi utilizado o processo de fabricação por filamento fundido (FFF), que visa demonstrar a substituição de uma peça de liga de alumínio por uma confeccionada por impressão tridimensional utilizando o filamento de polímero com 15% de fibra de carbono em sua composição, comparando-se as reações de ambos os materiais através de cálculos, estudos estáticos através softwares CAD (SolidWorks), e testes feitos em máquina, possibilitando a redução de 80% nos custos das peças impressas, comparadas com as peças dos fornecedores.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Redução de Custo; Simulações; Polímeros com fibra de carbono.

ABSTRACT. The use of additive manufacturing is becoming increasingly prevalent in various industries due to its cost and production time reduction, as well as its utility in creating prototypes for validation before final production. In this article, the fused filament fabrication (FFF) manufacturing process was employed to demonstrate the replacement of an aluminum alloy part with one manufactured through three-dimensional printing using polymer filament with 15% carbon fiber composition. The comparison of the reactions of both materials was conducted through calculations, static studies using CAD software (SolidWorks), and machine tests. This approach resulted in an 80% reduction in the costs of printed parts when compared to those from traditional suppliers.

Keywords: Additive Manufacturing, Cost Reduction, Simulations, Carbon Fiber Polymer.

INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA) começou a ser utilizada para criação de protótipos ou avaliações visuais a partir da década de 1980, com o avanço da tecnologia e de novos produtos, ela passa a ter soluções funcionais para diferentes ramos, como automotivo, odontológico, medicinal etc.



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Tal tecnologia apresenta grande vantagem devido a sua capacidade de produzir peças complexas, rápida confecção e com baixo custo, sem gerar grandes quantidades de resíduos e, algumas técnicas, pode se reutilizar tais resíduos.

Uma das principais técnicas utilizadas atualmente é a fabricação por filamento fundido (FFF) que consiste em depositar o material (Filamentos) por um bico extrusor aquecido sobre uma plataforma aquecida, camada por camada, a fim de construir objetos tridimensionais, aonde os principais materiais utilizados nessa técnica são a Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Políácido Láctico (PLA), Poliamida (PA) e Politereftalato de Etileno (PET), dentre outros.

Ao utilizar essa técnica, existem diferentes aspectos que devem ser levados em conta, como exemplo, a quantidade de preenchimento, o ângulo de impressão, a direção e a velocidade de impressão. Tais variáveis influenciam diretamente no tempo de impressão, resistência do objetivo impresso e quantidade de material depositado.

Na fabricação de embalagens PET, é necessário a utilização de injetoras e sopradoras para a modelagem das embalagens. Devido a isso, vários fabricantes são importados existindo um grande custo envolvido para a compra de peças para tais maquinários.

Com isso, surge a necessidade da procura de maneiras alternativas para a aquisição dessas peças, uma das alternativas é a utilização da manufatura aditiva para que as peças possam ser fabricadas internamente.

Assim, o objetivo é desenvolver um suporte caneca do sistema de transferência de uma injeto-sopradora fabricada na Itália utilizando o polímero Path com 15% de fibra de carbono (CF) para a substituição da atual feita em Alumínio.

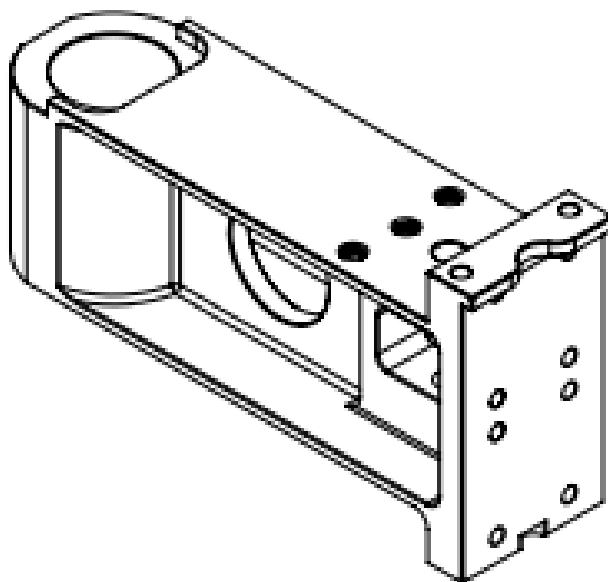
METODOLOGIA

Neste tópico são abordados os parâmetros de impressão da peça, a alteração na geometria, os cálculos estruturais, simulações através de software de modelagem 3D, como foi feito o ensaio em máquina para validação e qual a comparação entre os custos das peças.

Modelagem e Impressão

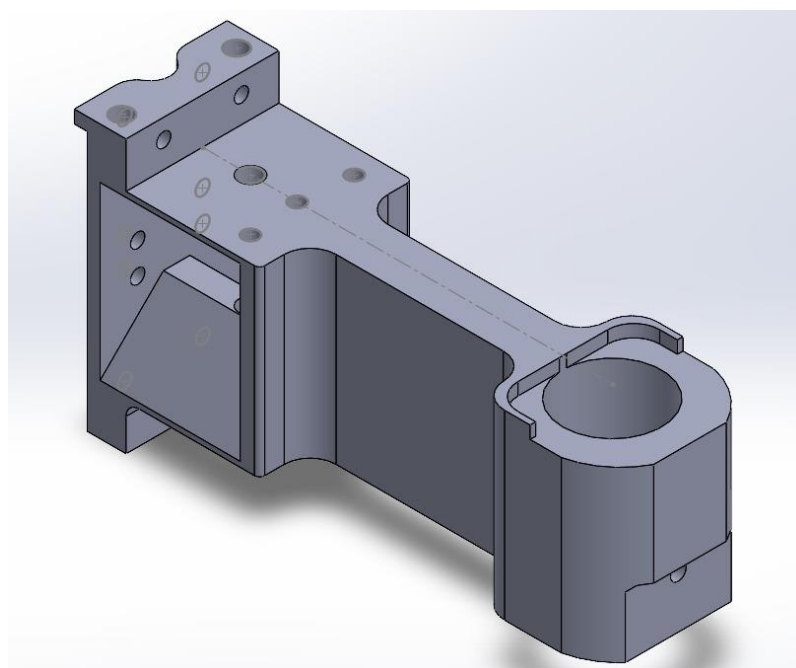
Devido à alta complexidade geométrica da peça, conforme ilustrado na figura 2, foi simplificada sua geometria, retirando os concentradores de tensão e alterado a forma de “I” para uma retangular, visando não prejudicar sua funcionabilidade e que facilitasse sua impressão, ilustrada na figura 3.

Figura 1. Peça em geometria original.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 2. Visão Isométrica peça simplificada.



Fonte: Próprio autor (2023).

A peça simplificada, foi impressa com 60% de preenchimento, com 2,1 mm de espessura de parede e seguindo os parâmetros recomendados pelo fabricante com a mesa a

temperatura de 100 °C, 50 mm/s de velocidade de impressão, com direção longitudinal com um ângulo de 45° e bico extrusor entre 260 e 280 °C, e, após isso, foi feito a secagem a 80° C por 12h.

Cálculos Estruturais, Simulação e Materiais Utilizados.

Para procedimento analítico foi considerado o funcionamento do suporte caneca como uma viga engastada que está sujeita a forças de flexão e fadiga.

Para análise mais aprofundada do funcionamento desse suporte, a tensão nominal de flexão é calculada da seguinte maneira:

$$\sigma_{nom} = \frac{M \cdot c}{I}$$

Sendo que M é o momento fletor, c é altura da linha central até a extremidade e I é o momento de inércia.

Em virtude de a geometria da peça apresentar concentradores de tensão (Kt), é necessário corrigir a tensão nominal. Portanto, a tensão máxima é definida por:

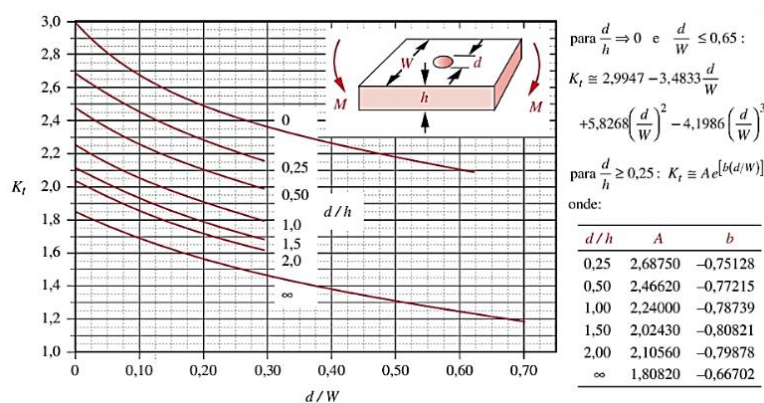
$$\sigma_{máx} = \sigma_{nom} * K_t$$

No qual o Kt é definido por:

$$K_t = A \cdot \epsilon \left[b \left(\frac{d}{W} \right) \right]$$

A obtenção dos valores é consultada através do diagrama de fator geométrico de concentração de tensão abaixo (Figura 3).

Figura 3. Fator geométrico de concentração Kt.



Fonte: Norton (2013).



Para o estudo, foi comparado os materiais em liga de Alumínio e o Basf Path, no qual suas propriedades estão listadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos materiais.

Material	Propriedade	Valor
Liga de Alumínio	Tensão de Escoamento	55,1485 MPa
Liga de Alumínio	Módulo de Elasticidade	69000 MPa
Liga de Alumínio	Coefficiente de Poisson	0,33
Liga de Alumínio	Densidade	2700 Kg/m ³
Path	Tensão de Escoamento	90 MPa
Path	Módulo de Elasticidade	8386 MPa
Path	Coefficiente de Poisson	0,42
Path	Densidade	12 Kg/m ³

Fonte: SolidWorks e Basf (2023).

Já para as análises via software, foi utilizado o SolidWorks para desenho e análise estática, no qual os materiais foram comparados na análise de tensão no eixo X, tensão de Von Mises, deformação, tensão de cisalhamento e fator de segurança.

Ensaio Mecânico

Para validação geométrica simplificada da peça, foi impresso em PLA e testada diretamente no sistema de transferência da máquina de maneira manual, sem colocar a máquina em uso.

Já para a validação da peça impressa em Basf Path, ela foi instalada junto aos demais suportes de caneca e submetida a operações de trabalho por 2 meses, no qual a máquina realiza um ciclo a cada 5 segundos, sendo utilizada de segunda a sábado por 12h.

Custos

A fim de comparar os custos, foram considerados os valores de aquisição da peça tanto diretamente do fornecedor quanto do custo de fabricação por um fornecedor externo (utilizando o material Basf Path). Cabe destacar que o PLA não foi incluído na análise devido à sua não utilização no projeto final.

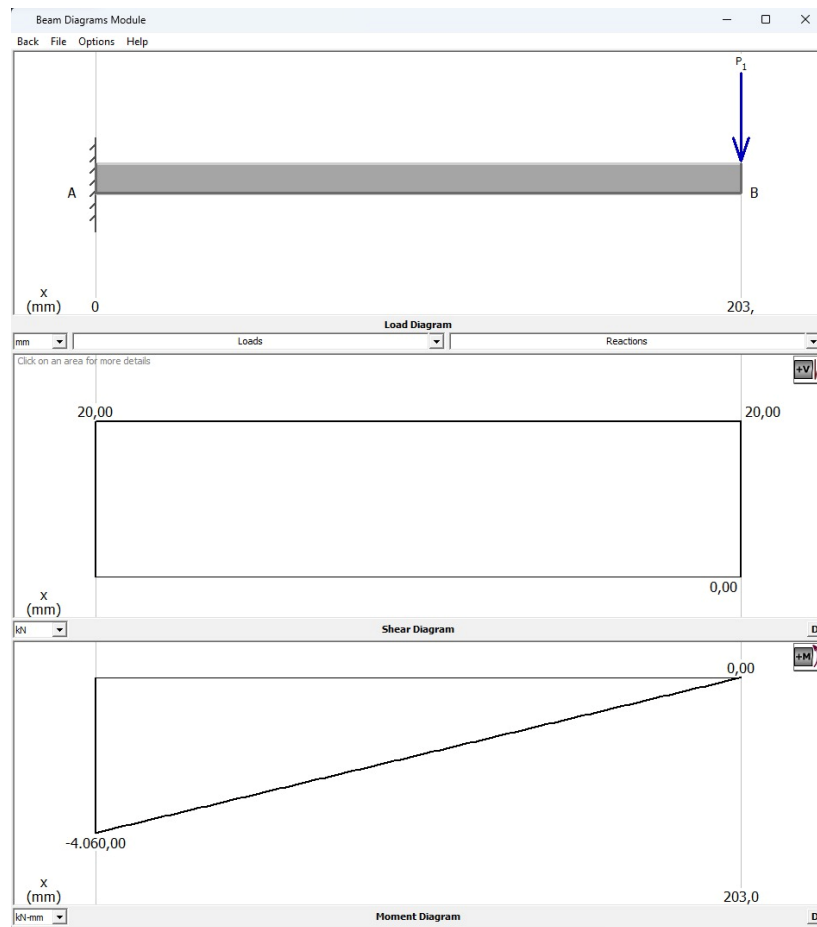
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, será apresentado todos os resultados referentes a modelagem da peça, estudos estáticos, cálculo estrutural e custos envolvidos.

Cálculos Estruturais, Simulação e Materiais Utilizados.

Primeiramente, foi calculado o momento fletor que a peça está sujeita, conforme a figura 4.

Figura 4. Cálculo de Momento Fletor.



Fonte: Próprio autor (2023).

A partir do cálculo do Momento, foi calculado a tensão nominal:

$$\sigma_{nom} = \frac{4060 \cdot 35}{\frac{59 \cdot 70^3}{12}}$$

$$\sigma_{nom} = 0,084 \text{ Mpa}$$

Considerando a tensão nominal e o fator de concentração de tensão, pode se chegar na tensão máxima que a viga se romperia:

$$Kt = A \cdot \epsilon \left[b \left(\frac{d}{w} \right) \right]$$

$$Kt = 2,316908 * 2,7183^{[-0,76209*0,70]}$$

$$Kt = 1,36$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \sigma_{\text{nom}} * Kt$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 0,084 * 1,36$$

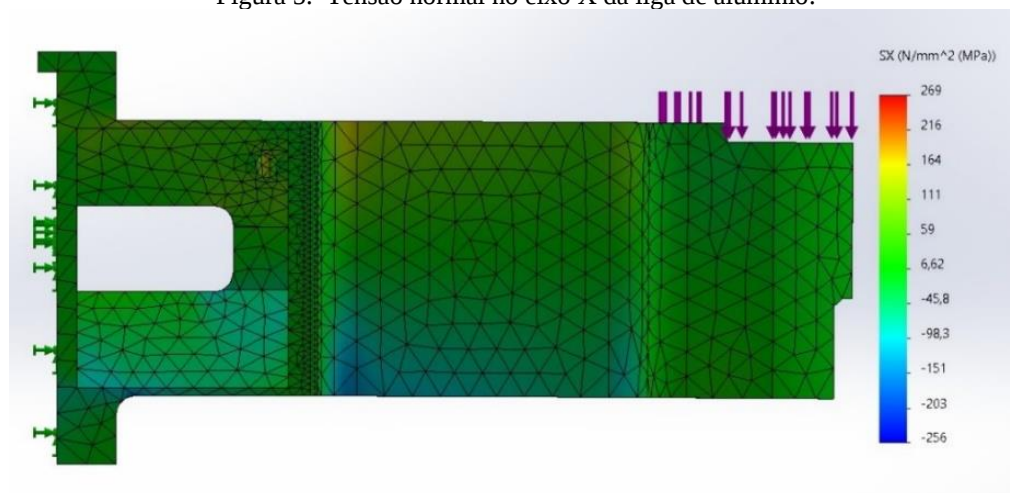
$$\sigma_{\text{máx}} = 0,11424$$

Assim, a tensão de escoamento do material utilizado tem que ser maior que 0,11424 MPa, não considerando nenhum fator de segurança.

Como o material é um item crítico para a máquina, pode se usar um fator de segurança de 1,6. Portanto, o valor mínimo de tensão de escoamento da peça deve ser de 0,182784 MPa, partindo que a tensão de escoamento do material utilizado é de 90 MPa, ele atende tal solicitação.

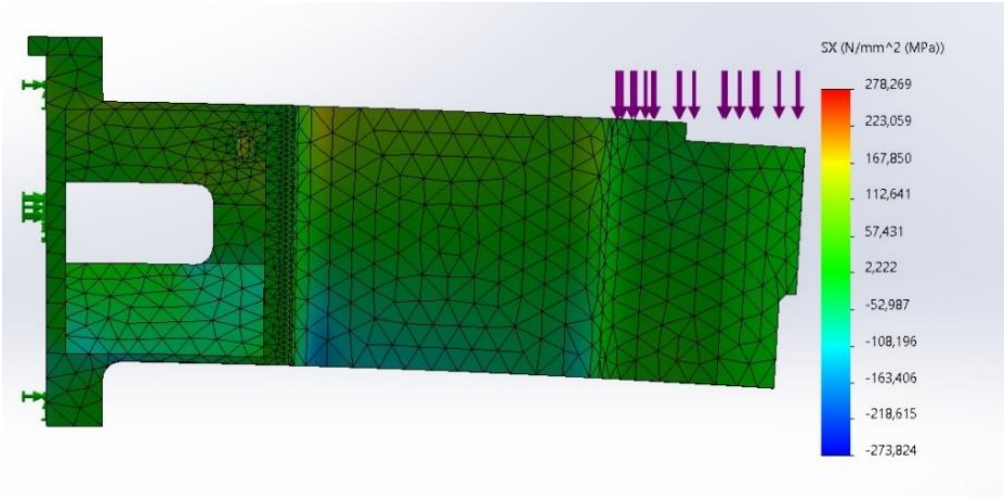
Junto a isso, foi realizado a comparação via SolidWorks como mostram as figuras abaixo.

Figura 5. Tensão normal no eixo X da liga de alumínio.



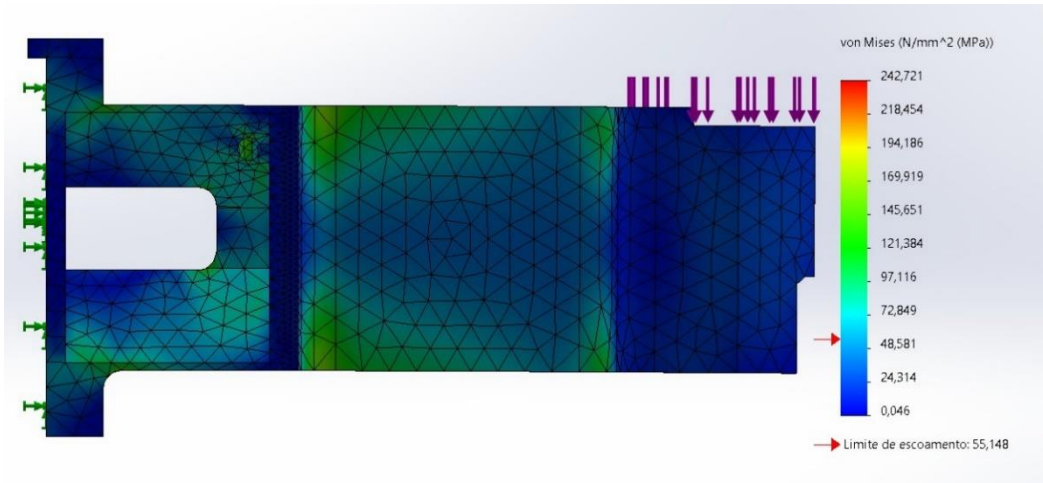
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 6. Tensão normal no eixo X no Path 15 CF



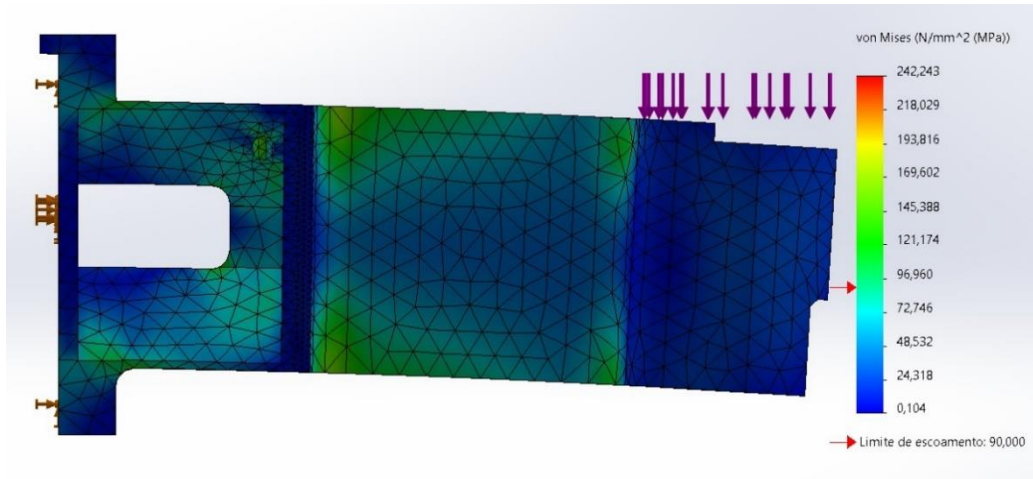
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 7. tensão de Von Mises liga de alumínio.



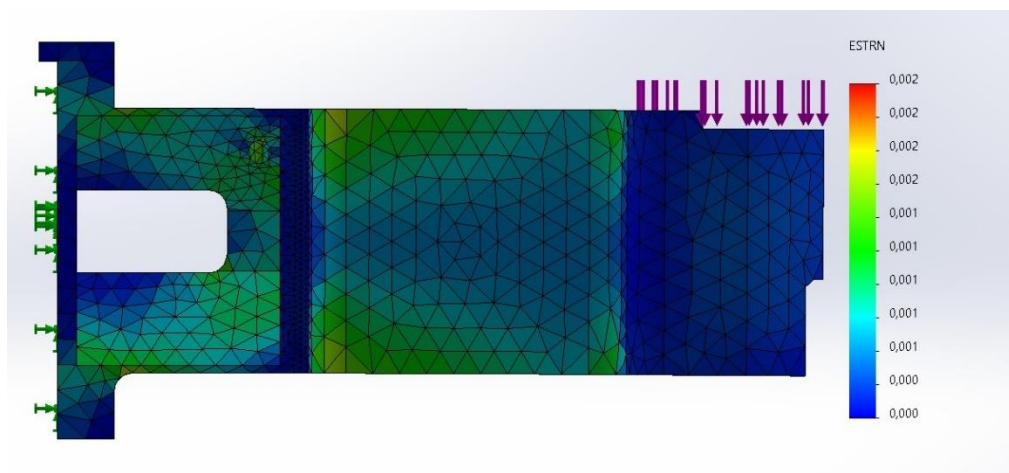
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 8. tensão de Von Mises Path 15 CF



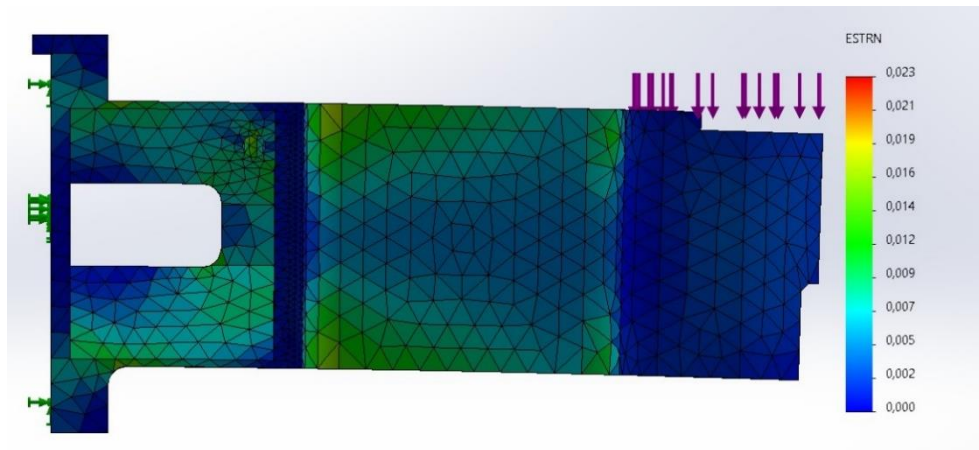
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 9. deformação equivalente liga de alumínio.



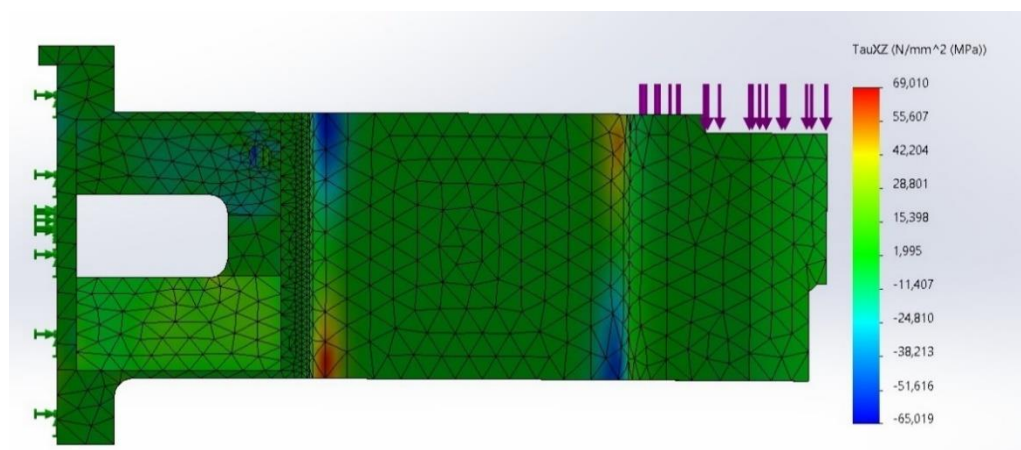
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 10. deformação equivalente Path 15 CF.



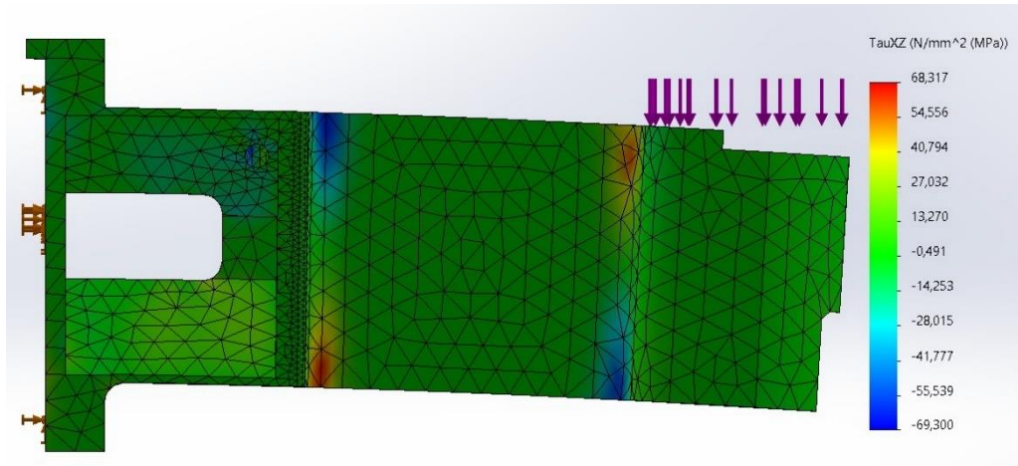
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 11. Tensão de cisalhamento eixo XZ liga de alumínio.



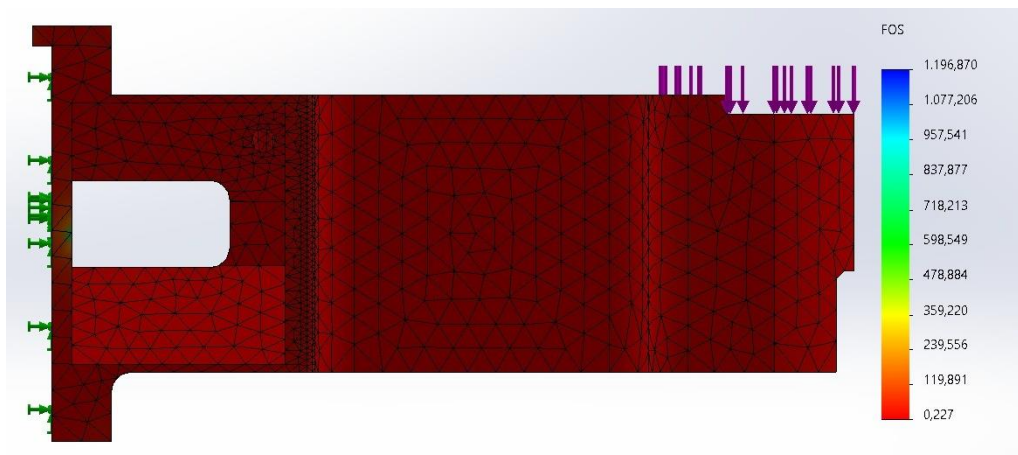
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 12. Tensão de cisalhamento no eixo XZ Path 15 CF.



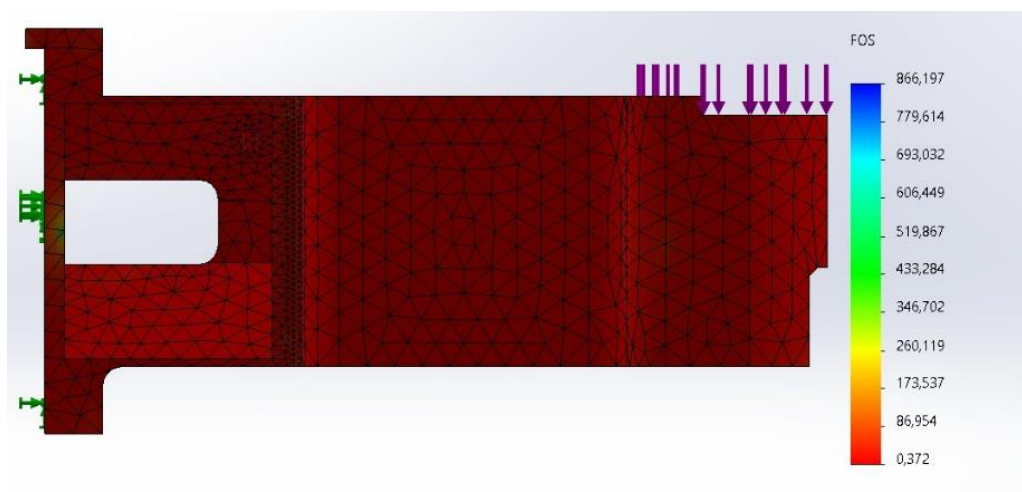
Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 13. Fator de segurança acordo com Von Mises liga de alumínio.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 14. Fator de segurança de acordo com Von Mises Path 15 CF.



Fonte: Próprio autor (2023).

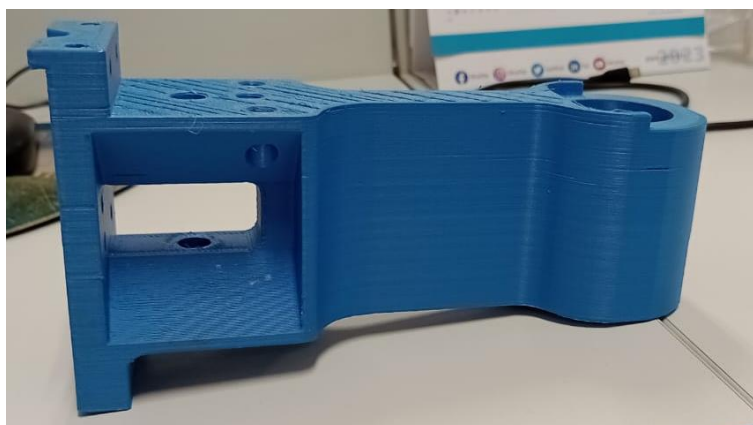
A partir de todas as análises apresentadas, nota-se que a peça não é submetida a esforços de grande magnitude, porém os extremos de onde inicia-se a diminuição de largura da peça, apresenta as maiores tensões normais, cisalhantes e de deformação, assim são alarmantes que possam dar início a uma trinca, levando a quebra dela.

Portanto, tais solicitações podem acarretar ao rompimento das camadas, devido a interstícios presentes na hora da impressão ou pela direção da impressão.

Ensaio Mecânico

Devido a alteração na geometria da peça, foi feito uma impressão em PLA, figura 15, para a validação geométrica em máquina, realizado conforme a figura 16.

Figura 15. Peça Impressa em PLA.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 16. Teste de validação geométrica em máquina com PLA.



Fonte: Próprio autor (2023).

Tais testes foram feitos de maneira manual, empurrando e puxando a peça no transferidor e não houve nenhum problema quanto a sua funcionalidade de movimento. Assim, a peça foi impressa em Basf Path com 15% de Carbono, figura 17, e submetida ao ciclo operacional da máquina durante 2 meses (Figura 18).

Figura 17. Peça Impressa Path com nova geometria.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 18. Teste estrutural em máquina utilizando a peça impressa em Path.



Fonte: Próprio autor (2023).

Após aproximadamente 421000 ciclos, a peça não aparentou evidências de desgastes ou quebras, assim, atendeu os requisitos do equipamento e apresentou funcionalidade igual às outras peças em alumínio.



Comparação entre custos

Na tabela 2, está representado a quantidade de peças necessárias e qual o preço unitário de uma delas.

Tabela 2. Comparação entre valores da peça original e peça Impressa e quantidade necessária.

Descrição	Peça Fornecedor		Peça Impressa	
Preço Unitário	R\$	9.149,06	R\$	1.234,40
Quantidade necessária		20		20
Total	R\$	182.981,20	R\$	24.688,00

Fonte: SIPA e Materializa (2023).

Com a substituição de todas as peças, há uma economia de 158.293,20 reais a cada troca total de todas elas.

Sendo que as trocas são feitas por condição através de análise por desgastes, ou seja, a cada ano é analisado todas as peças da máquina para que se possa realizar a troca necessárias.

CONCLUSÃO

Em suma, conclui-se que a peça impressa utilizando o material Basf Path com 15% de carbono não apresentou nenhum problema quanto a sua aplicação, tendo um desempenho equalitário às peças em alumínio e, através das análises estáticas, nota-se que ela não é submetida a um grande esforço mecânico, porém é exposta a elevadas temperaturas quando comparada com polímeros mais usuais, não sendo possível utilizá-los.

Mesmo com tais exigências, há um ganho econômico significativo quanto a sua implementação, tornando mais vantajoso a utilização de peças impressas por manufatura aditiva equiparadas com as de alumínio e, também, torna conveniente a aquisição de uma impressora 3D para fabricação de outras peças internamente, reduzindo o custo das impressões com fornecedores.

GLOSSÁRIO

FFF – Fabricação por filamento fundido

MA – Manufatura aditiva

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno

PLA - Políácido Láctico

PA – Poliamida

PET – Politereftalato de Etileno

CF – Fibra de Carbono

CAD – Computer Aided Design



REFERÊNCIAS

CAMPOS, Luan Victor Diniz. **Avaliação do Efeito do Nível e do Tipo de Preenchimento nas Propriedades Mecânicas de Corpos de Prova Fabricados por Impressão 3D Utilizando o Material ABS**. 2022. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Ceará, Ceará.

DOMINGOS, Caroline Maciel. **Análise Comparativa das Propriedades do Políacido Láctico PLA de Fornecedores Distintos para Aplicações em Manufatura Aditiva**. 2022. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau.

DUEIRE DA SILVEIRA, José Victor Baneoth. **Síntese e Caracterização de Compósitos ABS/Polipirrol Produzidos via Manufatura Aditiva através da Técnica FDM**. Ano de defesa. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco.

Filament2print. **Technical Data Sheet Ultrafuse PATH 15 CF**. Filament2print. Disponível em: <https://bit.ly/46mdueQ>. Acessado em: 07/11/2023

GIBSON, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). **"Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing."** Springer.

KHORASANI, A. M., Gibson, I., & Nahavandi, S. (2019). **"Review of the effect of printing orientation on the mechanical properties of 3D-printed materials."** Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 233(2), 359-377 p.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788582600238. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582600238/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

Materializa. **Materiais**. Disponível em: <https://materializa.com.br/materiais>. Acesso em: 01/10/2023.

PARALLOLAS, Ernesto Abel Fernando Friedmann. **Revisão Técnica de Processos Manufatura Aditiva e Estudo de Configurações para Estruturas de Impressoras Tridimensionais**. 7. ed. São Paulo: Humanitas, 2008. 99 p.

SUN, Q., Rizvi, G. M., Bellehumeur, C. T., & Gu, P. (2008). "Effect of layer thickness and orientation on mechanical properties and dimensional accuracy of 3D printed porous samples." In Solid Freeform Fabrication Symposium. 782-795p.



TOFAIL, S. A. M., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donnell, K., Charitidis, C., & Ray, S. S. (2018). "**Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities.**" Materials. 22-37 p.

3DLab. **Sentido de Impressão das Peças 3D.** 3DLab. Disponível em: <https://bit.ly/46d8fxY>. Acessado em: 30/08/2023

3DFila. **Conheça as 4 Etapas da Impressão 3D FDM ou FFF.** Disponível em: <https://bit.ly/3u8NRR0>. Acessado em: 30/08/2023