

# OTIMIZAÇÃO DE UM REDUTOR POR DESIGN GENERATIVO PARA A MANUFATURA ADITIVA

Matheus dos Santos Mulet<sup>1</sup>, Mohammad Shaterzadeh Yazdi<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI  
 matheusmulet@gmail.com<sup>1</sup> mshartzadeh@fei.edu.br<sup>2</sup>

**Resumo:** Buscando compreender o uso e a finalidade da ferramenta de *design* generativo (DG), foi decidido otimizar a massa da coroa de um par engrenado de um redutor de velocidade convencional e também explorar o potencial geométrico que essa ferramenta pode proporcionar através de geometrias orgânicas, aplicando esse objetivo sobre as carcaças da estrutura, para assim, testar as limitações de fabricação da Manufatura Aditiva (MA). Os resultados foram alcançados e evidenciaram bem visualmente o que era esperado.

## 1. Introdução

O Design Generativo é inovador e tem se mostrado bastante promissor para a redução de massa [1] de produtos já existentes e para a geração de soluções de solicitações mecânicas através de geometrias orgânicas como observadas na natureza [2].

Ao projetar uma peça levando apenas em consideração o processo de fabricação convencional, o custo fica mais alto ao se fabricar por Manufatura Aditiva (MA) [3], uma vez que o processo é mais lento em relação aos processos já conhecidos tal como a usinagem; mas quando a peça é projetada novamente levando em consideração parâmetros de MA, os custos que estão intrinsecamente ligados a produção e descarte dos suportes por exemplo, podem ser reduzidos [4].

## 2. Metodologia

O projeto teve início ao escolher o modelo CAD de um redutor de velocidade, mostrado na figura 1, para que fosse aplicado os objetivos do trabalho sobre ele.

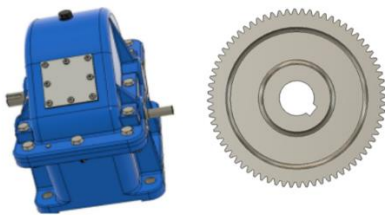


Figura 1 – Redutor de velocidade e a coroa do modelo CAD escolhido

Em seguida, foram assumidas algumas hipóteses simplificadoras do sistema de transmissão de potência em que esse redutor poderia ser inserido, para poder mapear e calcular as solicitações mecânicas dos componentes. As condições de contorno da coroa estão organizadas na tabela I e podem ser visualizadas na figura 2.

Tabela I- Carregamentos da Coroa

Força Normal (N)	Torque (N.m)
2900	195

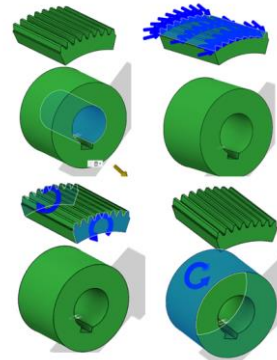


Figura 2 – Condições de contorno da Coroa

As tabelas II e III organizam as reações de apoio dos rolamentos aplicada nas carcaças e também podem ser vistos na figura 3.

Tabela II- Reações dos rolamentos nas carcaças superior e inferior, plano horizontal

Rolamentos	Reações (N)	Sentido
A	500,35	cima
B	500,35	cima
C	485,36	baixo
D	485,36	baixo

Tabela III- Reações dos rolamentos nas carcaças superior e inferior, plano vertical

Rolamentos	Reações (N)	Sentido
A	1374,75	baixo
B	1374,75	baixo
C	1333,5	cima
D	1333,5	cima

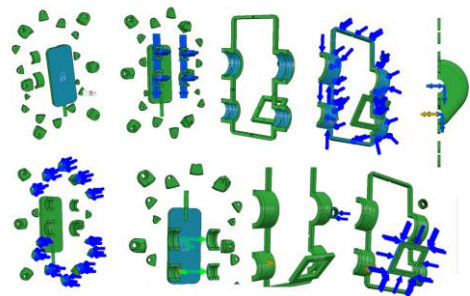


Figura 3 – Condições de contorno para as carcaças

O estudo foi configurado para reduzir a massa das estruturas com fator de segurança (FS) igual a 2, o que implica em dizer que a cada iteração o algoritmo do Fusion 360 percebe a distribuição de tensão no componente e onde há menos tensão ocorre a remoção do material e onde há mais tensão, ocorre a adição de material para tentar satisfazer esse FS.

$$FS = \frac{\text{Limite de escoamento do material}}{\text{Tensão Máxima de Von Mises}}$$

Em todos os estudos foi usado a liga de Ti-6Al-4V, que possui 882,5 MPa de limite de escoamento.

### 3. Resultados

Os resultados esperados foram alcançados e podem ser visualizados na figura 5 e tabela IV.

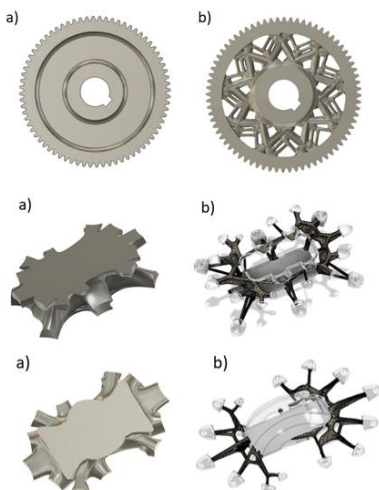


Figura 5 – a) antes do DG; b) depois do DG

Tabela IV- Otimização de massa

Componentes	Massa (kg) antes do DG	Massa (kg) do DG
Novo domínio da carcaça inferior	30,108	1,895
Novo domínio da carcaça superior	10,888	0,629
Coroa	3,979	2,503

Foi possível constatar as geometrias orgânicas características do DG observadas na estrutura prototipada da figura 7 e que puderam testar os limites da MA e a importância de se utilizar metodologias de DfAM (como a análise da melhor orientação e o uso de suportes adequados para a impressão 3D dos componentes) que garantem minimizar as limitações observadas na figura 6.



Figura 6 – Imperfeições de fabricação da MA



Figura 7 – Prototipação do redutor após o DG

### 4. Conclusões

A otimização de massa da coroa evidenciou que o *design* generativo se mostrou uma ferramenta muito eficiente para a otimização de massa de qualquer estrutura. A Manufatura Aditiva, se mostrou um processo complementar aos estudos de DG pois permite fabricar com uma melhor exatidão, geometrias complexas, com diferentes angulações como mostram os resultados.

Vale ressaltar que o estudo não está sugerindo a substituição das carcaças convencionais pelos resultados obtidos, pois o objetivo nessa parte do estudo foi de apenas tornar as carcaças convencionais, objetos de estudo para a exploração do potencial geométrico do DG compreendendo a ferramenta na sua totalidade (os parâmetros, a matemática do software) e para que também fosse possível testar as limitações de fabricação da MA a partir de geometrias complexas, características do DG.

Entretanto, o *design* generativo é uma poderosa ferramenta que pode sim ser usada para a evolução de qualquer produto existente, desde que o objetivo do estudo seja justamente esse, mas antes é preciso quebrar alguns paradigmas de que apenas as estruturas já conhecidas, são apenas as únicas e as melhores soluções para determinados carregamentos, enquanto na realidade existem infinitas possibilidades de soluções que com o auxílio da MA e de metodologias de *DfAM*, podem ser fabricadas e aplicadas em casos reais de engenharia.

### 5. Referências

- [1] PEÑAHERRERA, Andrés Sebastián Pinto. Generative Design Optimization Process for Developing an E-bike Frame Using SolidThinking Inspire. 2019. 74f. TCC (Graduação) - Curso de engenharia mecânica, Colégio de Ciências e Engenharia, Universidade San Francisco de Quito, Quito, 2019.
- [2] AUTODESK. Fusion 360 Generative Design. [ca.2022a].
- [3] MOLAEI, Reza; FATEMI, Ali. Fatigue Design with Additive Manufactured Metals: Issues to Consider and Perspective for Future Reserach. In: 7<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON FATIGUE DESIGN, 7.2017, Senlis. Anais Eletrônicos Senlis: Procedia Engineering, 2017.p.5-16
- [4] DIEGEL, Olaf. Wohlers associates. The Impact of DfAM. [ca.2021]

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI (PIBIC-FEI). Projeto com vigência de 08/2022 a 07/2022.