

## O uso da manufatura aditiva no desenvolvimento de um braço RIG de baixo custo

### Using additive manufacturing to propose a low cost arm rig

DOI: 10.46814/lajdv4n6-012

Recebimento dos originais: 24/10/2022

Aceitação para publicação: 21/11/2022

#### Matheus dos Santos de Oliveira

Pós-Graduando em Experimentação Tridimensional

Instituição: Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Endereço: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR,

CEP: 81530-000

E-mail: mso2.95@hotmail.com

#### Márcio Fontana Catapan

Doutorado em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Endereço: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Américas, Curitiba - PR,

CEP: 81530-000

E-mail: marciocatapan@ufpr.br

#### RESUMO

Fazer cinema no Brasil é difícil, especialmente se for um nicho que não é voltado para um grande público. Querer experimentar novas técnicas pode acabar tendo um custo elevado. Diante dessas dificuldades, este estudo objetiva fornecer a experiência de se trabalhar com um braço rig, ferramenta utilizada no stopmotion, para posicionar as marionetes em uma posição específica. Para ter um baixo custo nesse instrumento, foi escolhida a manufatura aditiva e, também, disponibilizar os arquivos prontos para a manufatura em um site voltado para a comunidade de projetos e desenvolvimento de produtos. Como as dimensões utilizadas foram as mesmas de um produto já existentes, os resultados obtidos foram a diferença de força entre o braço rig proposto e o braço rig utilizado como base. Com um coeficiente de segurança alto, percebeu-se que a força pode ser aplicada no protótipo seria inferior a que pode ser aplicada no braço base, fazendo com que a marionete necessite ter menos massa. Porém, pelo valor aproximado que se pode obter tal ferramenta, torna-se viável para pequenas experimentações.

**Palavras-chave:** braços Rig, manufatura aditiva, stopmotion, projeto de produto.

#### ABSTRACT

Making cinema in Brazil is difficult, especially if it is a niche that is not aimed at a large audience. Wanting to try out new techniques can come at a high cost. Faced with these difficulties, this study aims to provide the experience of working with a rig arm, a tool used in stopmotion, to position the puppets in a specific position. In order to have a low cost in this instrument, additive manufacturing was chosen and, also, to make the files ready for manufacturing available on a website aimed at the design and product development community. As the dimensions used were the same as those of an existing product, the results obtained were the difference in strength between the proposed rig arm and the rig arm used as a base. With a high coefficient of safety, it was realized that the force that can be applied to the prototype would be lower than what can be applied to the base arm, causing the puppet

to have less mass. However, for the approximate value that can be obtained such a tool, it becomes viable for small experiments.

**Keywords:** Rig arm, additive manufacturing stop motion, product design.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas, socioeconômico e político, brasileiro, parecem não ter muito interesse no ramo das artes plásticas/visuais, seja na área da pintura, escultura, curadoria, multimídia ou até mesmo na área de acadêmica. Cenário muito bem descrito por Ávila (2010), onde descreve que no Brasil, para se viver da arte talvez seja preciso conviver com algumas adversidades, pois, por mais que tenha crescido, esteja crescendo e surgindo novas políticas de apoio à arte, o mercado artístico ainda é fechado e inseguro. De certo, nem sempre o profissional será reconhecido como deseja ou não terá o retorno financeiro que espera. O artista constantemente encontra dificuldades para se estabelecer no mercado e exercer sua atividade e mesmo com a infinidade de elementos que a arte possui e que, por sua vez, são inerentes à perpetuação cultural, a arte continua tendo um espaço irrelevante nas prioridades para as políticas sociais”.

Descaso reforçado por Paraiso (2016), durante entrevista à revista Carta Capital, onde fala que até 2003 o Ministério da cultura servia mais como uma faixa de distribuição de recurso para os próprios integrantes e financiar coquetéis.

Paraiso (2016) também comenta sobre as dificuldades, do ramo do cinema, vividas durante a tentativa de colocar o longa metragem “Lua em Sargitário”, primeiro longa de ficção da diretora, no circuito principal de filmes passados nas salas de cinema no Brasil. Na matéria: Animação stopmotion vem ganhando seu tão aguardado espaço nas produções brasileiras, para a revista, Revista de Cinema, Paraiso (2021) afirma que o mercado de stopmotion vem crescendo nos últimos 20 anos, já que tivemos por volta de 40 longas metragem, sem contar a infinidade de curtas produzidos. Tendo em mente as dificuldades mostradas por Samira e por Marcia, em conjunto, com o cenário que Jeferson destaca, proporcionar estudos dentro dessa área, parece um passo mais que natural, já que não se encontram muitos estudos para facilitar o acesso a ferramentas para esta modalidade de animação

Para fazer uma cena de stopmotion com marionetes, a utilização de um braço rig para marcar a posição e ajudar na sustentação do personagem em cena, facilita o trabalho. Assim como Priebe (2011) exemplifica em seu relato sobre um estudo em cima do stopmotion, utilizando uma marionete.

Ferramentas muito específicas, como o braço rig, acabam sendo elitizadas por terem preços que podem chegar por volta de R\$200. Por conta disso, o profissional tem de recorrer a trabalhos manuais para obter uma ferramenta semelhante.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Como descrito na matéria *How to Make Your Own Stopmotion Animation*, Stopmotion é a técnica em que se vai capturando objetos estáticos, quadro a quadro, onde a cada quadro os objetos vão sofrendo pequenas alterações, para que ao final, quando todas as imagens forem compiladas, dará a ilusão de movimento, para isso, um mínimo de 12 imagens deve ser tiradas. (MasterClass, 2021)

Dentro do stopmotion, mesmo existindo algumas variações de técnicas que podem ser utilizadas, o stopmotion com marionetes foi escolhido como base para este estudo.

Dentro desta técnica são usados modelos, em escala, dos personagens e para buscar mais realismos, estruturas (Figura1). Para simular a anatomia dos mesmos, são construídas e inseridas na parte interna dos modelos.

Figura 1 - Raven Puppet. Adaptado de (Read, 2011).



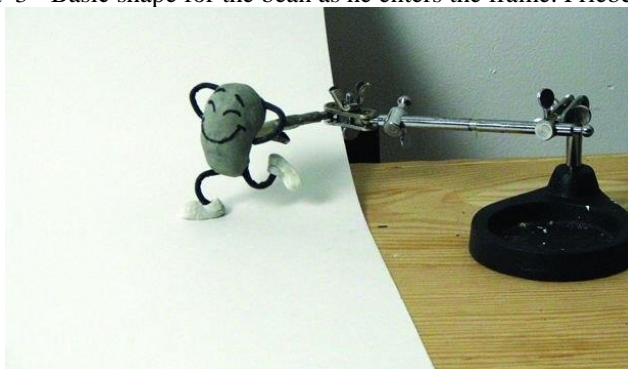
As articulações internas são uma das mais importantes partes em um modelo para *stopmotion*. Franco (2009) destaca que quem chegou ao modelo que é mais utilizado hoje, as articulações *ball-and-socket* (Figura 2), foi o Russo Ladislav Starewicz um dos pioneiros a potencializar a animação como stop-motion.

Figura 2 - Double Ball Joint. Adaptado de (Flynn, 2011).



O braço rig (Figura 3) é uma estrutura, adicional ao método de animação com modelos, usada para ajudar a marcar a posição do personagem no *frame*. Esta estrutura é formada por uma base, hastes, em uma quantia que se adéque ao modelo utilizado, uma extremidade que possibilite prender o personagem e em cada encontro de haste existe uma união ball-and-socket, para permitir uma ampla movimentação.

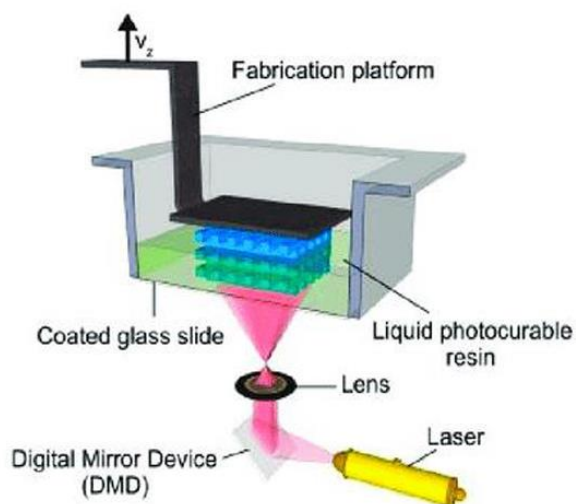
Figura 3 - Basic shape for the bean as he enters the frame. Priebe (2011)



Em Da Redação (2016), como descrito na matéria Entenda como funcionam os diferentes tipos de impressoras 3D, existem variados tipos deste processo de fabricação, pois não existe um método “coringa”. Cada um serve para determinados tipos de aplicação e refinamento de acabamento.

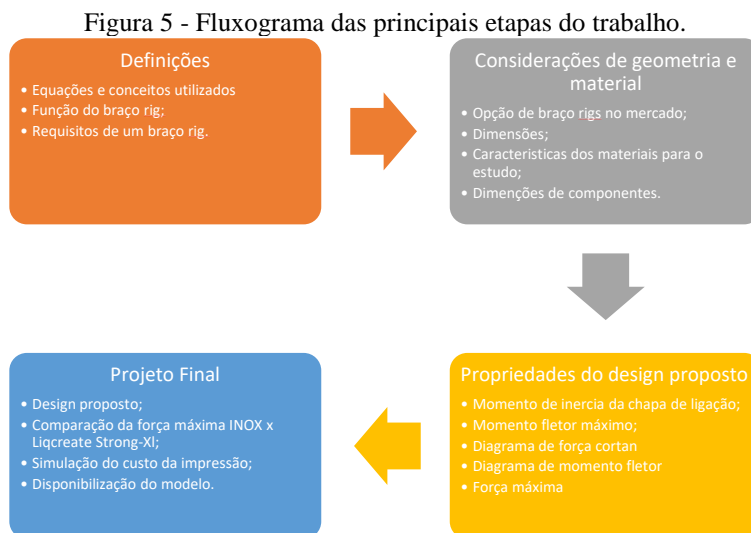
A estereolitografia ou, simplesmente SLA, é a técnica mais antiga de manufatura aditiva (mais conhecida como impressão 3D). Segundo Rodrigues (2018), a tecnologia e o termo SLA foram criados em 1986, por Chuck Hull, fundador da empresa 3D Systems. O processo de SLA (Figura 4), funciona a partir de um laser que, ao ser direcionado a um tanque ou bandeja com resina líquida fotossensível, endurece a mesma, criando a peça 3D desejada.

Figura 4 - Esquema do processo de fabricação por estereolitografia. Adaptado de Marin (2018).

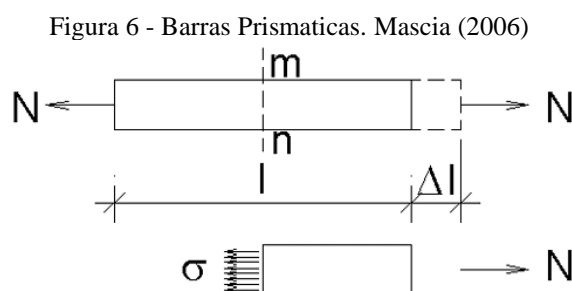


### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Durante o estudo, o planejamento ilustrado no fluxograma da Figura 5 foi seguido para a definição do design final.



Na parte de definições de equações foi utilizado conceitos como: tensão e deformação, conforme Mascia (2006) define, quando uma barra prismática, com seção constante é submetida a forças axiais que produzem alongamento uniforme ou tração na barra. Fazendo-se um corte “mn”, tem-se a Figura 6.



que por equilíbrio obtém-se:

$$\sigma_x A = N$$

com N aplicada no C.G. da seção, ou

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1)$$

sendo  $\sigma$  denominado tensão normal e com a hipótese da tensão ser distribuída uniformemente na seção transversal.

Se  $N$  tiver sentido oposto ao da Figura 5 ter-se-ia **compressão** na barra.

Portanto se:  $N > 0 \rightarrow \sigma > 0 \equiv$  Tração

$N < 0 \rightarrow \sigma < 0 \equiv$  Compressão

O alongamento total da barra será designado de  $\Delta l$ . Assim o alongamento por unidade de comprimento ou alongamento específico denominado deformação normal será:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Esta equação é válida para alongamento uniforme ao longo da barra.

Se:  $N > 0 \rightarrow \sigma > 0 \equiv$  Tração

$N < 0 \rightarrow \sigma < 0 \equiv$  Compressão

Notar que tem dimensão de  $[F] \cdot [L]^{-2}$  e a deformação normal é adimensional  $[L] \cdot [L]^{-1}$  (mm/mm,  $\mu\varepsilon$ ). (MASCIA, 2006)

Para a tensão fletora, utilizando conceitos de lei de Hook e momento de curvatura, onde Buffoni (2022) equaciona como:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot y}{I} \quad (3)$$

Onde:  $\sigma_x$ : Tensão fletora;  $M_y$ : Momento fletor máximo;  $I$ : Momento de inercia. (BUFFONI, 2022).

Em complemento ao conceito de tensão fletora: O **momento de inércia** é um tipo de grandeza física associada diretamente a inércia de rotação. Esse indicador da inércia aponta para a tendência que um determinado corpo massivo possui em se manter em movimento ou em seu estado inicial.

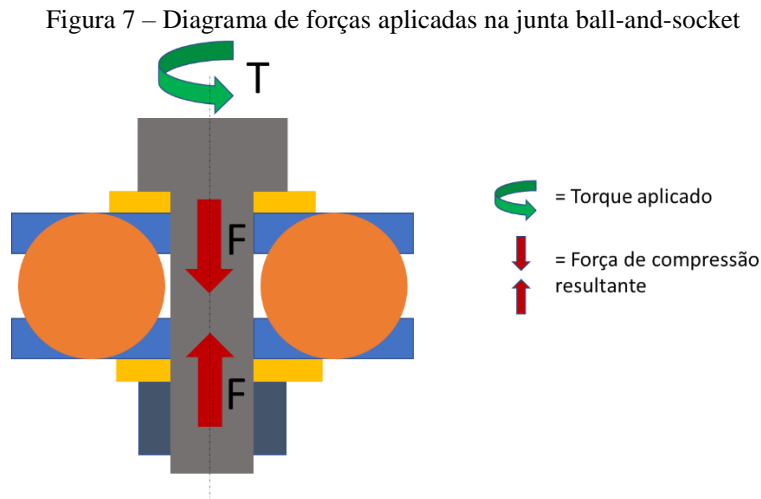
Para cada formato que a viga possa ter, existe uma equação predeterminada para calcular a inercia da mesma. No caso de seções retangulares, podemos usar a equação:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (4)$$

Onde:  $I$ : Inercia;  $b$ : Base do retângulo;  $h$ : Altura do retângulo.

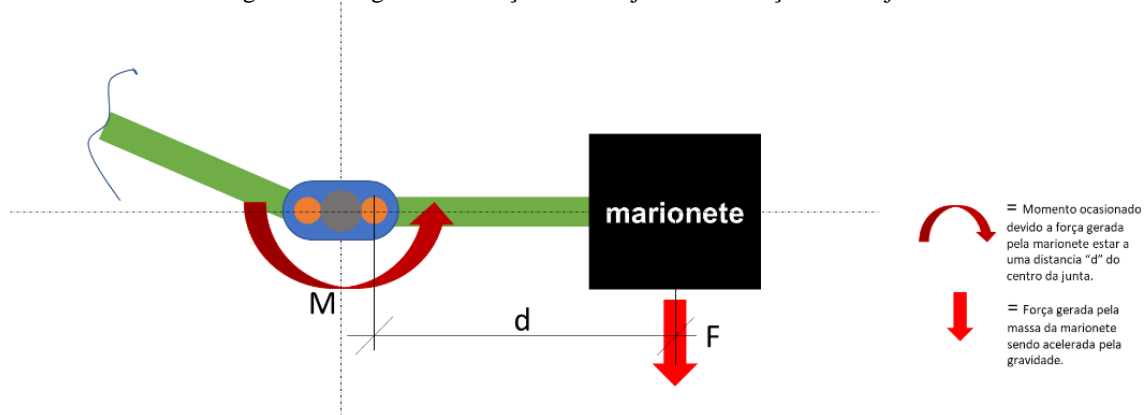
Com essas definições e definindo que o braço não deve se mexer, pode-se assumir que as juntas *ball-and-socket* sempre serão submetidas ao aperto máximo que a menor seção pode aguentar sem que haja deformação plástica do material, como demonstrada na Figura 07.

Para isso, apenas por questões de cálculo, um fator de segunda de  $C_s=2$ .



Esse aperto irá impedir que o momento que o peso da marionete pode gerar, por exemplo em uma cena em que uma marionete precise ficar estática no ar, seja suficiente para mudar a posição dela, assim fixando-a em sua posição (Figura 8).

Figura 8 - Diagrama de forças de uma junta em relação ao conjunto.



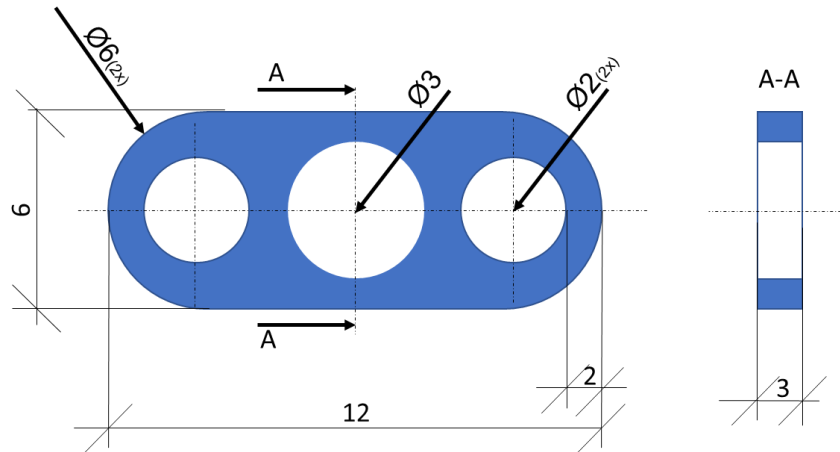
Como a ideia do estudo é comparar a troca de material, as principais características dimensionais que caracterizam o braço rig foram retiradas da biela de aço inoxidável tipo um:

- Comprimento total da haste: 90 mm;
- Tanho da bola da ponta:  $\varnothing$  6 mm;
- Tamanho da haste: 3mm;

- Material: Aço inoxidável.

Ja chapa de ligação foi estimada pelo autor e suas características seguem a Figura 9:

Figura 9 - Placa estimada para os cálculos.



Com requisitos e equações definidos para determinar os valores de força aplicada, Luz (2018) recomenda a necessidade das carecteristicas do material, onde para o inox 304 tem-se  $\sigma$ : 505 Mpa.

E em relação a resina para a impressão SLA, a coluna de high power LED curing, de 120 minutos a 60°C, da Figura 10 foi usada como base.

Figura 10 - Tabela de materiais do material Liqcreate Strong-X (Liqcreate, 2019)

Polymer properties			
Mechanical Properties		UV post-curing	
Description	ASTM Method	High power LED curing	High power LED curing
		(30 minutes at 60°C)	(120 minutes at 60°C)
Tensile strength	D638M	52 – 70 MPa	60 – 84 MPa
Tensile modulus	D638M	2.9 – 3.2 GPa	3.1 – 3.4 GPa
Elongation at break	D638M	4 – 8%	3 – 6%
Flexural Strength	D790M	121 – 130 MPa	134 – 140 MPa
Flexural modulus	D790M	3.1 – 3.3 GPa	3.3 – 3.5 GPa
IZOD Impact (notched)	D256A	20 J/m	17 J/m
Shore D Hardness	D2240	87	90
Water sorption	D570-98	0.45%	0.39%
Tg	D7028	n/a	128°C

Para o cálculo do momento inercia precisou-se retirar a área do furo central, da chapa de ligação. Utilizando a equação (4), deduzi-se que  $[I_F = I_{ex} - I_{in}]$ , assim:

Momento de inercia externo:



$$I_{ex} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{ex} = \frac{0,006 \cdot (0,003)^3}{12}$$

$$I_{ex} = 1,35 e^{-11}$$

Momento de inercia interno:

$$I_{ex} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{ex} = \frac{0,003 \cdot (0,003)^3}{12}$$

$$I_{ex} = 6,75 e^{-12}$$

Momento de inercia final:

$$I_F = I_{ex} - I_{in}$$

$$I_F = 1,35 e^{-11} - 6,75 e^{-12}$$

$$I_F = 6,75 e^{-12}$$

Para o momento fletor ser isolado, a tensão de tração do material, com um coeficiente de segurança de  $C_s=2$ , foi considerada como tensão fletora máxima, assim garantindo que o material não irá deformar durante o aperto.

Assim, utilizando os dados pesquisados sobre as características do inox, obtém-se:

$$\frac{\sigma_{inox}}{C_s} = \frac{M_{inox} \cdot y}{I}$$

$$\frac{505}{2} = \frac{M_{inox} \cdot 0,0015}{6,75 e^{-12}}$$

$$M_{inox} = 1,136 e^{-6} N.m$$

Para o Liqcreate (2019), o mesmo raciocínio do inox foi considerado, assim, o valor calculado foi:

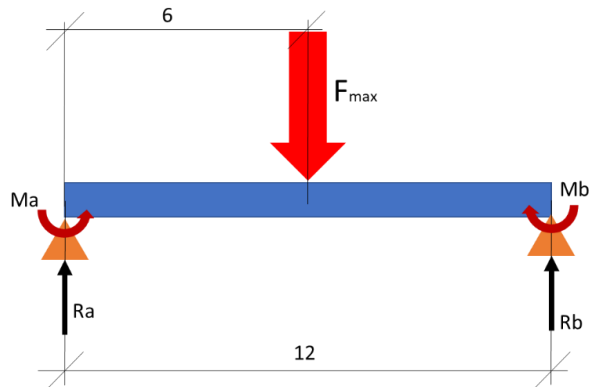
$$\frac{\sigma_{LSX}}{C_s} = \frac{M_{LSX} \cdot y}{I}$$

$$\frac{84}{2} = \frac{M_{Lsx} \cdot 0,0015}{6,75 e^{-12}}$$

$$M_{Lsx} = 1,890 e^{-07} N.m$$

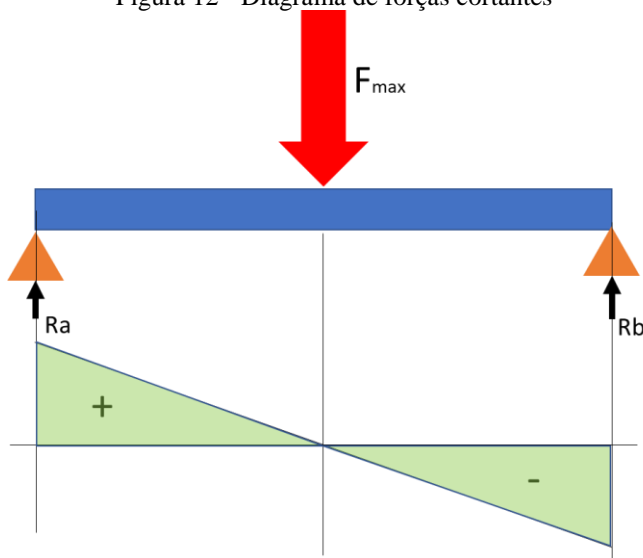
Utilizando o diagrama de forças da Figura 11, foi assumido que  $[F_{max} = R_a + R_b]$  e que  $\sum M = 0$ .

Figura 11 - Diagrama de forças em um lado da junta ball-and-socket



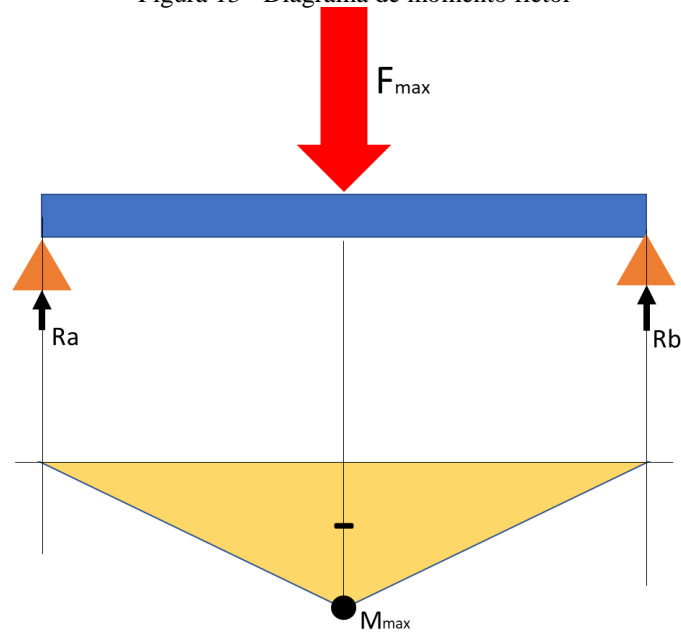
Sabendo que  $F_{max}$  é uma força aplicada em um ponto, pode ser afirmado que o diagrama de força cortante (Figura 12) teria o seguinte formato:

Figura 12 - Diagrama de forças cortantes



O diagrama de momento fletor (Figura 13), torna-se negativo (compressão), devido ao sentido da força aplicada.

Figura 13 - Diagrama de momento fletor



Com os valores de momento máximo obtidos anteriormente e, sabendo que a área do triângulo retângulo obtido no diagrama de forças cortantes, é igual ao momento fletor máximo, ao fazer as devidas deduções obtém-se:

$$A = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$h = \frac{A \cdot 2}{b}$$

Onde:  $h \rightarrow$  Força resultante  $= \frac{F_{max}}{2}$ ,  $A \rightarrow$  Momento máximo (área do triângulo);  $B \rightarrow$  distância entre os pontos zero (base do triângulo)

Com esses conceitos foi possível chegar na determinação onde a força máxima para o inox pode ser definida como:

$$h = \frac{A \cdot 2}{b}$$

$$h = \frac{1,136 e^{-6} \cdot 2}{0,006}$$

$$\frac{F_{max}}{2} = \frac{1,136 e^{-6} \cdot 2}{0,006}$$

$$F_{max} = \frac{1,136 e^{-6} \cdot 4}{0,006}$$

$$F_{max} = 7,573 e^{-4} N$$

Força máxima para o (Liqcreate, 2019), seguiu o mesmo raciocínio do inox e se obteve:

$$h = \frac{A \cdot 2}{b}$$

$$h = \frac{1,890 e^{-07} \cdot 2}{0,006}$$

$$\frac{F_{max}}{2} = \frac{1,890 e^{-07} \cdot 2}{0,006}$$

$$F_{max} = \frac{1,890 e^{-07} \cdot 4}{0,006}$$

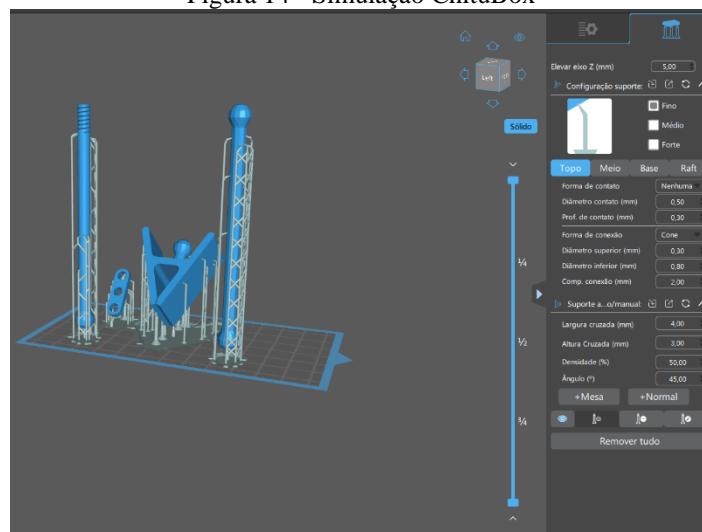
$$F_{max} = 1,260 e^{-4} N$$

Devido aos valores encontrados foi constatado que, em condições equivalente, há uma queda de 83,3% na força máxima que pode ser aplicada na junta. Com um ajuste no coeficiente de segurança, um valor de força mais alto seria encontrado, para obter uma queda menor no valor da força.

Já que o quesito estrutural não foi tão promissor, uma simulação do preço, da impressão SLA foi feita, pois foi material que foi utilizado para os cálculos e tendo em vista que a estereolitografia tem como pontos fracos o tempo de produção e o custo mais elevado (3D Lab, 2018).

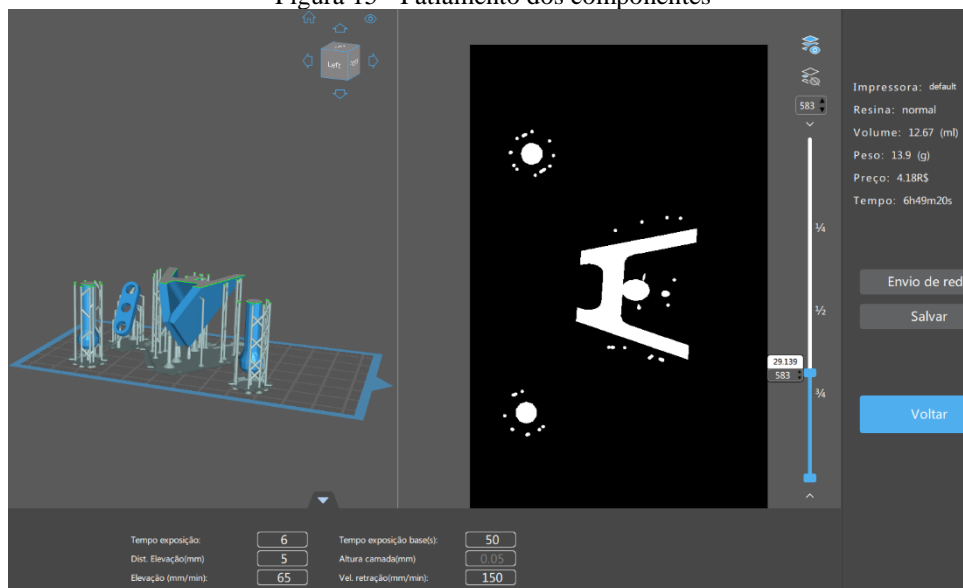
O programa de simulação da impressão utilizado foi o programa Chitubox. Na Figura 14 pode-se verificar a simulação de todos os componentes com seus, respectivos, suportes adicionais para a impressão.

Figura 14 - Simulação ChituBox



Logo, na figura15, encontra-se uma simulação do fatiamento, mostrando a densidade dos componentes, juntamente com a o tempo e preço estimado da impressão do conjunto.

Figura 15 - Fatiamento dos componentes



Com essa simulação, pode-se estimar que o preço do conjunto completo fica em torno de R\$ 4,18, levando aproximadamente 6 horas e 49 minutos, considerando apenas as partes impressas. Somando com o valor de alguns parafusos, porcas e arruelas lisa comerciais, o conjunto, possivelmente, não deve passar de R\$10,00 já que os componentes, de forma unitária, podem ser comprados por aproximadamente R\$0,21.

### 3 CONCLUSÕES

A utilização do SLA para impressão do braço rig se mostra viável pelo preço simulado e pelo tempo de impressão também. Em conjunto com o upload dos modelos, em arquivos “.stl”, em um site voltado a disponibilizar modelos gratuitos para sua comunidade pode-se afirmar que o objetivo principal do projeto foi alcançado.

Mesmo sabendo que o modelo não é a prova de falhas e que a reprodução exata deste estudo consiste em utilizar o mesmo material que foi considerado para os cálculos, pode-se dizer que o estudo poderá servir como base para outros estudos comparativos, já que o conceito para fazer a relação com os produtos disponibilizados no mercado será o mesmo.

Por fim é correto afirmar que o braço rig deste estudo mostra-se inferior ao que está disponibilizados no mercado hoje, já que foi visto que, levando em consideração um  $C_s = 2$ , a força que pode ser aplicada na junta, valor calculado, cairá aproximadamente 83,3%. Porém para pequenos experimentos e um primeiro contato com a ferramenta mostra-se bem promissor.

## REFERÊNCIAS

- 3DLab. *Conheça os tipos de impressão 3D e os seus benefícios!* Acesso em 10 de Dez de 2021, disponível em 3dlab.com.br: <https://3dlab.com.br/tipos-de-impressao-3d-e-beneficios/>
- Ávila, S. Dificuldades do Artista. (N. Queiroz, Entrevistador) Acesso em 20 de Nov de 2021, disponível em <http://desafiodoartista.blogspot.com/p/dificuldades-do-artista.html>
- BUFFONI, S. S. (s.d.). *Tensões de Flexão nas Vigas*. Apostila, Escola de engenharia industrial metalúrgica de volta redonda, volta redonda. 2022.
- Da Redação. (27 de Fev de 2016). *Entenda como funcionam os diferentes tipos de impressoras 3D*. Acesso em 10 de Nov de 2021, disponível em O Tech Tudo: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2016/02/entenda-como-funcionam-os-diferentes-tipos-de-impressoras-3d.ghml>
- Flynn, n. (27 de Out de 2011). *Ball & Socket Armature - Double Ball Joint*. Acesso em 17 de Dez de 2022, disponível em nathan-flynn.blogspot.com: <http://nathan-flynn.blogspot.com/2011/10/ball-sockets-armature-double-ball-joint.html#.YuXYunbMK3A>
- FRANCO, T. R. (2009). *Animação em stop-motion: Tecnologia de produção através da história*. Dissertação, Dissertação (Dissertação em Artes) - UFMG , Belo Horizonte.
- Liqcreate. (2019). *O que significam as propriedades de uma resina ou peça impressa em 3D?* Acesso em 15 de Agosto de 2022, disponível em liqcreate.com: <https://www.liqcreate.com/pt/artigos-de-suporte/explica%C3%A7%C3%A3o-propriedades-resina-ou-pe%C3%A7a-impressa-em-3d/>
- Luz, G. (01 de 08 de 2018). *Aço AISI 304 Propriedades Químicas e Mecânicas*. Acesso em 15 de Agosto de 2022, disponível em [www.materiais.gelsonluz.com](https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/08/aco-aisi-304-propriedades-quimicas-e.html#:~:text=O%20limite%20de%20escoamento%20ou,215%20MPa%20ou%2031200%20psi): <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/08/aco-aisi-304-propriedades-quimicas-e.html#:~:text=O%20limite%20de%20escoamento%20ou,215%20MPa%20ou%2031200%20psi>.
- Marin, D. (2018). *Aplicação de diferentes métodos pós-cura em peças produzidas por impressão 3D*. Trabalho de conclusão de curso, Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de materiais) - Universidade Federal de Pelotas, CENTRO DE DES ENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - CDtec, Pelotas.
- MASCIA, N. T. (2006). *TRAÇÃO, COMPRESSÃO E LEI DE HOOKE*. Artigo, FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Departamento de Estruturas, CAMPINAS.
- MasterClass. (30 de Ago de 2021). *How to Make Your Own Stop Motion Animation*. Acesso em 13 de Nov de 2021, disponível em MasterClass: <https://www.masterclass.com/articles/how-to-make-your-own-stop-motion-animation#what-is-stop-motion>
- Paraíso, M. (21 de Setembro de 2016). *A dificuldade de fazer cinema no Brasil*. (CARTACAPITAL, Entrevistador) Acesso em 05 de Agosto de 2022, disponível em <https://www.cartacapital.com.br/cultura/a-dificuldade-de-fazer-cinema-no-brasil/>
- Priebe, K. *The Advanced Art of Stop-Motion Animation': Building Puppets: Part 4*. Acesso em 2021, disponível em <https://www.awn.com/>: <https://www.awn.com/animationworld/advanced-art-stop-motion-animation-building-puppets-part-4>

Read, G. (17 de Jan de 2011). *Ball & Socket Stop-Motion Raven Puppet*. Acesso em 20 de Nov de 2021, disponível em graham-skinbones: <http://graham-skinbones.blogspot.com/2011/01/raven-puppet.html?m=0>

Rodrigues, A. (30 de Out de 2018). *O que é Estereolitografia – Como essa tecnologia está revolucionando a joalheria*. Acesso em 10 de Nov de 2021, disponível em joias com rinoceros: <https://www.joiascomrhinoceros.com/o-que-e-estereolitografia/>