



UFF-Universidade Federal Fluminense
Escola de Engenharia

Amanda Anaice Alvim
Layane Pereira dos Santos Pimenta da Silva
Mariana Soares Quintanilha
Natasha Almeida Moreira

Projeto 4

Impressora 3D

Niterói
2021

Objetivos: Dimensionar os motores de passo e equipamentos eletrônicos ancilares necessários ao funcionamento de uma impressora 3D por extrusão. Desenvolver matematicamente as características de cargas mecânicas referidas aos eixos de cada motor.

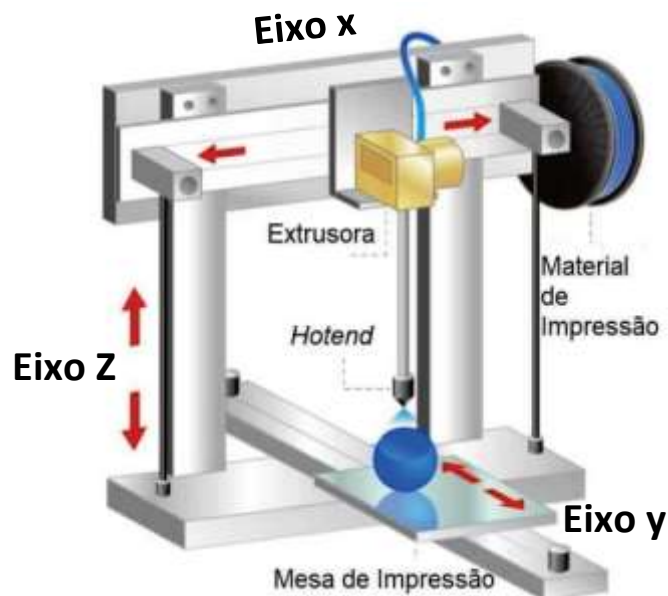
Deseja-se construir uma impressora 3D tipo FDM acionada por motores de passo. A seguir são dados alguns parâmetros de projeto a partir dos quais o sistema deve ser projetado.

- **Volume de impressão:** 250 mm x 250 mm x 300 mm
- **Resolução:** 0,2 mm (XY) e 0,1 mm (Z)

Tarefa 1

Defina como será a sua impressora: quais graus de liberdade terá a cabeça extrusora e quais terá a mesa de impressão. Dimensione as partes móveis: fusos, guias lineares, mesa de impressão, cabeça extrusora, etc. para atender essas definições. Calcule as cargas mecânicas referidas aos eixos de cada um dos motores. Anexe as folhas de dados das peças escolhidas no documento a ser entregue.

Para o trabalho optamos por dimensionar uma impressora 3D FDM cartesiana, por possuir mecânica mais simples e serem fáceis de calibrar, em comparação com outros tipos de impressora 3D.



Fonte: [impressora3dbaixocusto.pdf \(utfpr.edu.br\)](http://impressora3dbaixocusto.pdf(utfpr.edu.br))

A partir da imagem conseguimos definir os graus de liberdade da cabeça extrusora e da mesa de impressão a partir dos eixos X, Y e Z.

- **Cabeça extrusora:** 2 graus de liberdade (eixos X e Z).
- **Mesa de impressão:** 1 grau de liberdade (eixo Y).

- **Mesa de Impressão:**

- **Mesa Aquecida:**

- Tensão de trabalho: 24 Volts

- Potência média de consumo em plena carga: 400watts

- Dimensão Externa: 314mm x 314mm

- Área útil: 300mm x 300mm

- Espessura: 3 mm

A mesa aquecida é de alumínio, com isso estimamos a massa da a partir da densidade do alumínio em g/cm³ e o volume da mesa e chegamos em um valor de 729g.

- **Vidro Borossilicato para Mesa Impressora:**

- Dimensão: 300 x 300mm

- Espessura: 3mm

- Precisão: Suporta ser aquecido sem sofrer grande dilatação.

- Coeficiente de dilatação: Expansão térmica 3 x menor que vidro comum, o que proporciona precisão.

- Temperatura máxima: 810°C

- Resistência mecânica: 5 vezes maior comparado vidro comum.

Considerando uma densidade de 2,23 g/cm³ para o vidro borossilicato, obtemos um valor de aproximadamente 602g para a superfície de vidro.

- **Cabeça Extrusora:**

Marca/Modelo: Haldis – V6 Volcano

Massa: 100,2g

- **Guias Lineares e Patins:**

Modelo: MGN12H

Comprimento: 350mm

Massa: 227,5g

Quantidade: 6

Material: Aço Revestido INOX

- **Fusos:**

Comprimento: 350mm

Diâmetro: 8mm

Utilizando uma densidade de 7,85g/cm³ obtemos uma massa de aproximadamente 138g

Quantidade: 4

Material: Aço Revestido INOX.

Cálculo da Carga

Calcularemos o torque dos diferentes eixos.

- **Eixo x:** No eixo x consideramos o peso da cabeça extrusora, a geometria do fuso e o atrito entre as guias lineares e os patins. O coeficiente de atrito das guias lineares é $\mu = 0,8$ e o raio do fuso é $r_F = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$.

$$\tau_H = \mu \times Mg \times r_F$$

A massa total nesse eixo será dada por:

$$\begin{aligned}M_x &= M_{extrusora} + M_{fuso} \\M_x &= 0,1002 + 0,138 \\M_x &= 0,2382 \text{ kg}\end{aligned}$$

Portanto, o torque no eixo x será

$$\tau_H = 0,8 \times 0,2382 \times 9,81 \times 0,004$$

$$\tau_H = 0,0075 \text{ N.m}$$

- **Eixo y:** Para o eixo y, consideramos o peso da mesa de impressão (vidro e mesa aquecida), além da geometria do fuso e do atrito entre as guias e os patins. O coeficiente de atrito das guias lineares é $\mu = 0,8$ e o raio do fuso é $r_F = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$.

A massa total nesse eixo será dada por:

$$\begin{aligned}M_y &= M_{\text{mesa aquecida}} + M_{\text{vidro}} \\M_y &= 0,729 + 0,602 \\M_y &= 1,331 \text{ kg}\end{aligned}$$

Portanto, o torque no eixo y será:

$$\tau_H = \mu \times Mg \times r_F$$

$$\tau_H = 0,8 \times 1,331 \times 9,81 \times 0,004$$

$$\tau_H = 0,042 \text{ N.m}$$

- **Eixo z:** Para o eixo z, consideramos o fuso, as duas guias, os patins e a cabeça extrusora. O coeficiente de atrito das guias lineares é $\mu = 0,8$ e o raio do fuso é $r_F = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$.

$$\tau_V = (1 + \mu) \times Mg \times r_F$$

A massa total nesse eixo será dada por:

$$\begin{aligned}M_z &= 2M_{guias+patins} + M_{extrusora} + M_{fuso} \\M_z &= 2 \times 0,227 + 0,1002 + 0,138\end{aligned}$$

$$M_z = 0,692 \text{ kg}$$

Portanto, o torque no eixo y será

$$\tau_v = (1 + 0,8) \times 0,692 \times 9,81 \times 0,004$$

$$\tau_v = 0,049 \text{ N.m}$$

Tarefa 2

Dimensione e escolha motores de passo capazes de acionar as respectivas cargas mecânicas calculadas anteriormente sem que sejam superdimensionados. Especifique o tipo de passo (simples, meio ou micro passo), modo de acionamento (unipolar, bipolar paralelo ou série), mostre as ligações dos condutores dos motores e calcule a relação de inércia. Anexe as folhas de dados dos motores no documento a ser entregue.

- **Eixo x:** Considerando o torque $\tau_H = 0,0075 \text{ N.m} = 0,076 \text{ kgfcm}$ obtido na tarefa 1 escolhemos um motor NEMA 17, buscando um valor mais próximo ao obtido, cujas especificações estão detalhadas abaixo.

AK17/1.10F6LN1.8 - ESPECIFICAÇÕES GERAIS

Especificação	Valor
Ângulo do passo	1,8°
Número de passos	200
Enrolamento	Bifilar
Temperatura de operação máx.	80°C
Temperatura ambiente	-10°C ~ 50°C
Resistência de isolamento	100VAC / 500VDC
Rigidez dielétrica	500VAC / 1min
Classe de isolamento	B
Esforço radial máximo	0,03mm - 400g de carga
Esforço axial máximo	0,03mm - 500g de carga
Detent torque	0,06gf.cm
Inércia rotórica	48g.cm ²
Quantidade de fios	6
Peso	0,22kg

Bipolar Série	
Fio do motor	Terminal do driver
Vermelho	A+
Verde	A-
Amarelo	B+
Azul	B-
Branco / Preto	Isolado

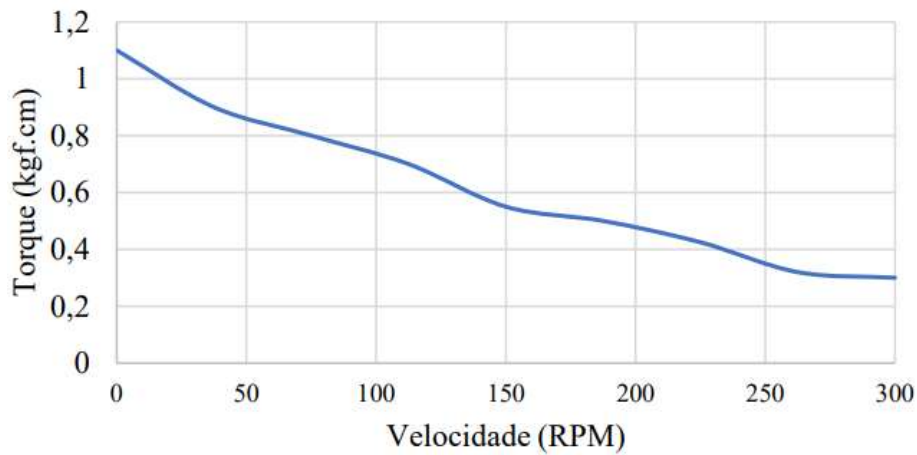
Unipolar	
Fio do motor	Terminal do driver
Vermelho	A+
Verde	A-
Amarelo	B+
Azul	B-
Branco / Preto	Comum

TABELA DE SELEÇÃO

NEMA	MODELO	CONEXÃO		HOLDING TORQUE (kgf.cm)	CORRENTE (A/fase)	TENSÃO (V/fase)	RESISTÊNCIA (Ω/fase)	INDUTÂNCIA (mH/fase)	PESO (kg)
17	AK17/1.1F6LN1.8	Bipolar	Série	1,1	0,07	0,017	140	148	0,22
		Unipolar		0,77	0,1	0,012	37	37	

O NEMA 17 é um modelo cujo ângulo de passo é 1,8°, ou seja, é um motor de passo simples.

AK17/1.1F6LN1.8



Obtendo a relação de inércia:

$$RI = \frac{Mr_f^2 + J_f}{J_M}$$

$$RI = \frac{0,2382 \cdot 0,004^2 + 1,1 \cdot 10^{-6}}{4,8 \cdot 10^{-6}} = \frac{4,9 \cdot 10^{-6}}{4,8 \cdot 10^{-6}} = 1,023$$

- **Eixo y:** Na tarefa 1 encontramos torque $\tau_H = 0,042 \text{ N.m} = 0,428 \text{ kgf.cm}$ para o eixo y, desta forma, foi escolhido o mesmo motor utilizado no eixo x.

Obtendo a relação de inércia:

$$RI = \frac{Mr_f^2 + J_f}{J_M}$$

$$RI = \frac{1,331 \cdot 0,004^2 + 1,1 \cdot 10^{-6}}{4,8 \cdot 10^{-6}} = \frac{4,4 \cdot 10^{-6}}{4,8 \cdot 10^{-6}} = 0,917$$

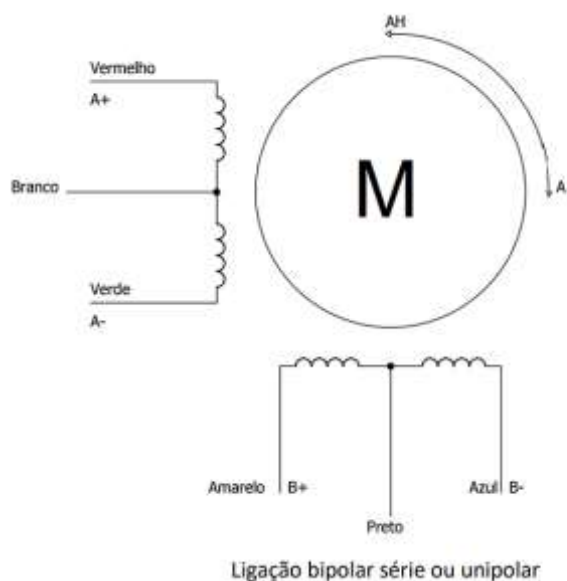
- **Eixo z:** Para o eixo z foi encontrado torque igual a $\tau_V = 0,049 \text{ N.m} = 0,499 \text{ kgf.cm}$, assim, o mesmo motor utilizado para os eixos x e y foi escolhido para o eixo z.

Obtendo a relação de inércia:

$$RI = \frac{Mr_f^2 + J_f}{J_M}$$

$$RI = \frac{0,692 \cdot 0,004^2 + 1,1 \cdot 10^{-6}}{4,8 \cdot 10^{-6}} = \frac{12,172 \cdot 10^{-6}}{4,8 \cdot 10^{-6}} = 2,536$$

Para os três eixos foi escolhido os motores do tipo bipolar por serem mais utilizados e também pelo fato dos motores unipolares terem uma maior redução do torque em comparação aos bipolares.

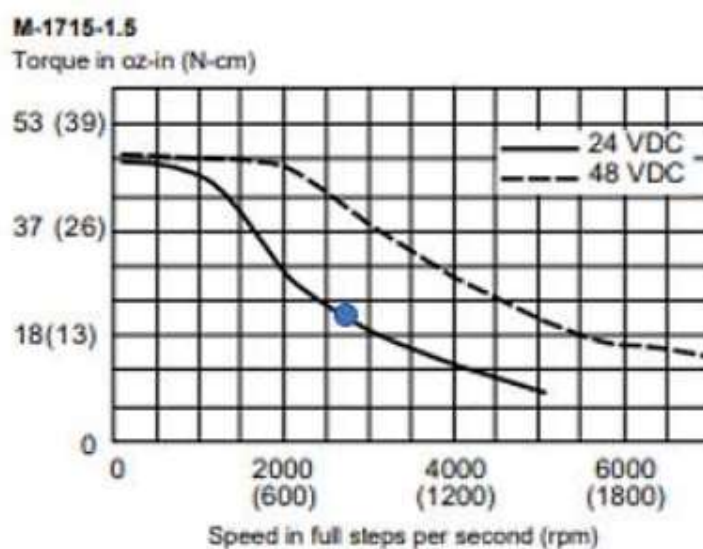


Tarefa 3

Dimensione os drivers para o correto acionamento dos motores sem que sejam superdimensionados e uma fonte de corrente contínua adequada para alimentação. Anexe as folhas de dados dos drivers e da fonte no documento a ser entregue.

Dimensionamento dos drivers

Baseado no motor escolhido na tarefa 2, o **NEMA 17**, acessamos o ponto de operação no gráfico a partir da folha de dados do componente:



Com isso, selecionamos o driver o DM320T, da STEPPER ONLINE, cujas características técnicas incluem:

- Faixa de tensão de entrada de 10 a 30 Vdc, satisfazendo o ponto de operação do motor em questão de 24 Vdc.
- Faixa de corrente de saída de 0,3 a 2,2 A com 8 configurações selecionáveis.
- 8 resoluções de micro passos disponíveis. (A serem definidas de acordo com a resolução indicado no enunciado do projeto.

<https://www.amazon.com.br/Stepper-STEPPERONLINE-10-30VDC-resolu%C3%A7%C3%B5es-micro-passo/dp/B075R88FMN>

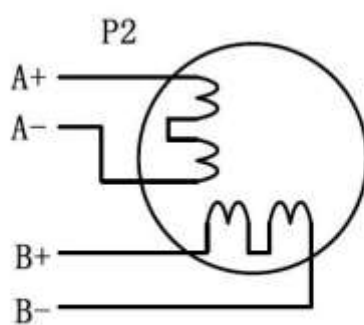
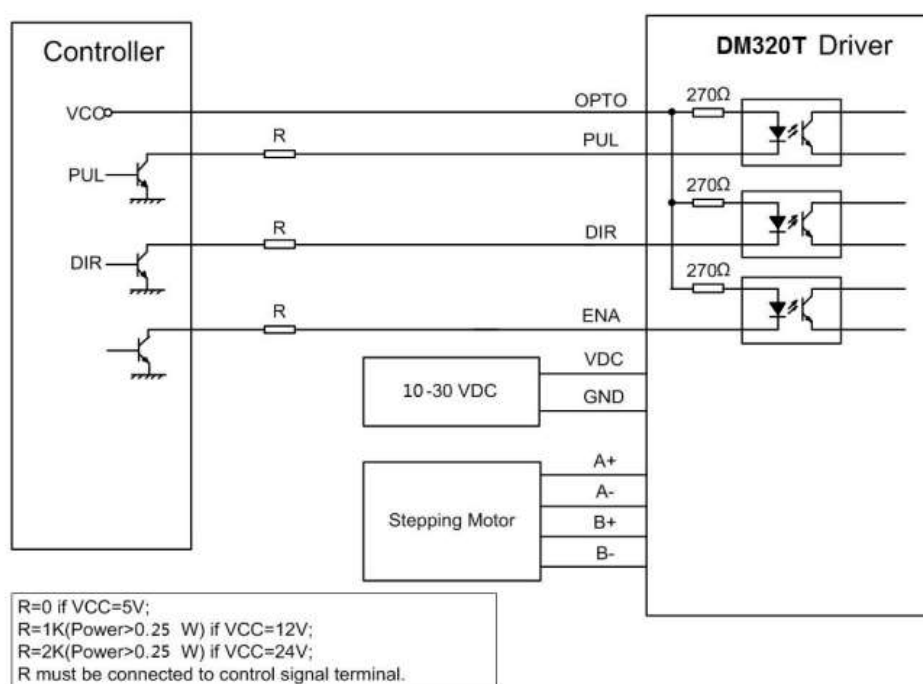


Figure 4: 4-lead Motor Connections

Para minimizar um possível mal dimensionamento, pensamos em buscar um valor médio. Desta forma, fizemos uma média entre os valores de passo por revolução e encontramos o valor de 4650. A partir disso analisamos na tabela para encontrar o valor mais próximo para que tenhamos o valor do micro passo.

Microstep	Steps/rev.(for 1.8°motor)	SW4	SW5	SW6
2	400	ON	ON	ON
4	800	OFF	ON	ON
8	1600	ON	OFF	ON
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	ON	ON	OFF
64	12800	OFF	ON	OFF
20	4000	ON	OFF	OFF
40	8000	OFF	OFF	OFF

Com isso, temos que o valor mais próximo é o de 4000 o que corresponde a 1:20 micro passos.

- Para o motor em x e em y (mesma resolução):

Precisamos de uma resolução em 0,2 mm. Então, fazendo uma proporção para a resolução desejada de acordo com o enunciado, temos:

$$4000 \text{ ---- } 0,8 \text{ mm}$$

$$X \text{ ---- } 0,2 \text{ mm}$$

$$X = 1000 \text{ passos}$$

- Para o motor em z:

Precisamos de uma resolução em 01.mm. Então, fazendo uma proporção, temos:

$$4000 \text{ ---- } 0,8 \text{ mm}$$

$$X \text{ ---- } 0,1 \text{ mm}$$

$$X = 500 \text{ passos}$$

Dimensionamento da fonte

Dimensionando a fonte de corrente contínua:

$$I_{mx} + I_{my} + I_{mz} + 3 * I_{driver} = I_{total}$$

$$I_{total} = 1,5 + 1,5 + 1,5 + 3 * 2,2 = 11,1^a$$

Logo, a fonte escolhida foi a **Fonte De Alimentação Digital 1502dd + Yihua**, de 15 A para suprir a capacidade do sistema de funcionamento da impressora 3D.



Tarefa 4

Monte uma planilha com o orçamento de todas as peças e equipamentos escolhidos para o projeto desta impressora 3D. Compare os valores com os obtidos por outros grupos e discorra sobre possíveis diferenças nas escolhas, vantagens e desvantagens do seu projeto em relação aos demais.

De acordo com os dimensionamentos feitos anteriormente, consideramos todos os componentes necessários para a construção de uma impressora 3D, registrados na tabela abaixo:

Componente	Quantidade	Preço	Preço total
Fusos	4	R\$ 62,18	R\$ 248,72
Guias lineares	6	R\$ 94,50	R\$ 567,00
Cabeça extrusora	1	R\$ 152,79	R\$ 152,79
Vidro da mesa impressora	1	R\$ 124,40	R\$ 124,40
Mesa impressora	1	R\$ 279,75	R\$ 279,75
Driver	3	R\$ 284,63	R\$ 853,89
Motor NEMA17	3	R\$ 67,20	R\$ 201,60
Fonte de Alimentação	1	R\$ 209,90	R\$ 209,90
TOTAL:			R\$ 2.638,05

Realizando esse levantamento, chegamos ao orçamento final de R\$ 2.638,05. A seguir, apresentamos uma comparação entre os orçamentos de cada grupo que realizou o projeto da impressora 3D.

Grupo 1

Estrutura da base				
Item	Peça	Quantidade	Massa (g)	Preço
1	Canto Base	4	147,2	R\$ 14,72
2	Acoplador do Motor	1	8	R\$ 0,80
3	Suporte para o fuso e sensor	4	32	R\$ 3,20
4	Haste Roscada	2	50	R\$ 18,00
5	Kit Fuso Trapezoidal	1	200	R\$ 148,61
6	Sensor de Fim de Curso	1	2	R\$ 9,00
7	Motor de Passo	1	340	R\$ 89,00
8	Microcontrolador	1	x	R\$ 88,27
9	Driver	5	x	R\$ 57,75
10	Fonte	1	x	R\$ 78,00
TOTAL:		21	1366,8	R\$ 811,11

Eixo Transversal				
Item	Peça	Quantidade	Massa (g)	Preço
1	Guia linear	2	60	R\$ 36,00
2	Suporte Lateral	2	16	R\$ 1,60
3	Cabeça Extrusora	1	500	R\$ 219,90
4	Rolamento linear	2	20	R\$ 17,60
5	Acoplador do Motor	2	16	R\$ 1,60
6	Kit Fuso Trapezoidal	1	200	R\$ 145,00
7	Suporte eixo X	1	8	R\$ 0,80
8	Sensor de Fim de Curso	1	2	R\$ 9,00
9	Motor de Passo	1	340	R\$ 89,00
TOTAL:		6	1274	R\$ 577,30

Estrutura mesa aquecida				
Item	Peça	Quantidade	Massa (g)	Preço
1	Suporte mesa	1	300	R\$ 58,00
2	Fixador da mesa	1	8	R\$ 0,80
3	Mesa aquecedora	1	600	R\$ 51,00
4	Rolamento linear	4	40	R\$ 35,20
5	Guia linear	2	40	R\$ 36,00
TOTAL:		9	1148	R\$ 322,60

Frame principal				
Item	Peça	Quantidade	Massa (g)	Preço
1	Suporte Frame	1	730	R\$ 135,00
2	Acoplador do Motor	2	16	R\$ 1,60
3	Kit Fuso Trapezoidal	2	400	R\$ 290,00
4	Suporte para o fuso e sensor	5	40	R\$ 4,00
5	Guia linear	2	60	R\$ 36,00
6	Rolamento linear	2	20	R\$ 17,60
7	Sensor de Fim de Curso	1	2	R\$ 9,00
8	Motor de Passo	2	1100	R\$ 211,00
TOTAL:		12	4124	R\$ 1.276,40

O orçamento do grupo 1 totalizou R\$ 2.987,41, um valor um pouco acima do nosso orçamento. O projeto desse grupo aparenta ter tomado direções um pouco diferentes da nossa. Acredito que tenham projetado uma impressora mais completa e com alguns itens que não estão inclusos em nosso projeto. Por exemplo, o microcontrolador e acoplador de motor.

Grupo 2

ITEM	NOME DA PEÇA	LINK DE COMPRA	VALOR
TARE			
1	Eixos - Guia linear 350 mm	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1826915666-2-	R\$ 68,90
2	Eixo retificado cromado - Guia 3D 300mm	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1190171595-2-	R\$ 41,47
3	Fuso trapezoidal 300mm	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2086032254-fuso	R\$ 47,99
4	Fuso trapezoidal 350mm	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2079261272-fuso	R\$ 52,29
5	Mesa de aquecimento 300x300mm	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1103719164-mk3	R\$ 224,75
6	Vidro borossilicato 300x300mm	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1655125409-	R\$ 124,40
7	Extrusora completa	https://www.arducore.com.br/extrusora-completa-mk8-	R\$ 219,90
TARE			
8	Motor de passo Nanotec ST2018L0804-A	https://en.nanotec.com/produts/443-st2018l0804-a	R\$ 283,65
9	Motor de passo Nanotec ST2018M0804-A	https://en.nanotec.com/produts/440-st2018m0804-a	R\$ 252,54
10	Motor de passo Nanotec ST5918M2008-A	https://en.nanotec.com/produts/520-st5918m2008-a	R\$ 273,28
TARE			
11	Fonte De Alimentação Eletrônica Automática 24v 3a Plástica	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2015640775-	R\$ 59,98

O orçamento do grupo 2 totalizou R\$1.649,15 mais o valor do driver que foi adicionado posteriormente por eles de (3x) R\$359,34, gerando um valor de R\$ 2.726,63. A principal diferença notada, foi o valor de investimento dos motores, eles selecionaram um motor europeu que custa quase 3 vezes mais o valor do nosso. Utilizaram também uma fonte bem mais barata do que a nossa, e pelo o que identificamos apenas o valor de 1 guia está descrita no orçamento, o que faz com que haja um equilíbrio que aproxima o orçamento total do grupo 2 com o nosso.

Grupo 3

Lista de Materiais				
Material	Quantidade	Preço unitário	Subtotal	Link
Motor de Passo Nema17	3	R\$ 61,00	R\$ 183,00	motor-de-passo
Kit Cnc 3d Eixo Guia Linear + Fuso Trapezoidal Completo	3	R\$ 254,50	R\$ 763,50	Kit Cnc 3d Eixo Guia Linear + Fuso Trapezoidal Completo
Impressora 3d cama quente	1	R\$ 187,37	R\$ 187,37	Impressora 3d cama quente acessórios
Moochy Ender-3 Oficial Completa Montagem Extrusora Kit Impressora 3D Peças Acessórios	1	R\$ 199,99	R\$ 199,99	Moochy Ender-3 Oficial
Fonte 24v Volt 3a Chaveada 110/220v Estabilizada Bivolt+cabo	1	R\$ 56,05	R\$ 56,05	Fonte 24v Volt 3a Chaveada 110/220v
Kit Cnc Shield Compatível Arduino Uno + 4 Driver A4988	1	R\$ 127,97	R\$ 127,97	Kit Cnc Shield Compatível Arduino Uno
Lm2596 Conversor Regulador Tensão Step Down	1	R\$ 13,90	R\$ 13,90	Conversor Regulador Tensão
Perfil De Alumínio Estrutural V-slot 20x20 Padrão Openbuilds	2	R\$ 34,02	R\$ 68,04	Perfil De Alumínio Estrutural
Valor total da impressora:			R\$	1.599,82

O orçamento do grupo 3 totalizou R\$ 1.599,82. De todos os projetos de impressora realizados, este foi o que resulta no melhor custo-benefício. Percebemos que alguns componentes foram orçados em forma de kit, o que contribuiu para um orçamento mais em conta. Não consideramos um regulador de tensão no nosso projeto, como o grupo 3 fez, pois focamos em uma estrutura mais básica e compatível com os conhecimentos de aula da matéria. Existem diferentes tipos de impressoras 3D no mercado pelo que pesquisamos, e com isso a quantidade e tipos de peças podem variar de acordo com a funcionalidade de cada impressora.

Referências dos Componentes Seleccionados

Mesa Aquecida:

[Mesa Aquecida 300x300mm Alumínio Completa Impressora 3d | Parcelamento sem juros
\(mercadolivre.com.br\)](https://www.mercadolivre.com.br)

Vidro Borossilicato:

[Vidro Borossilicato 300x300mm Mesa Impressora 3d + Pres | Parcelamento sem juros \(mercadolivre.com.br\)](https://www.mercadolivre.com.br)

Cabeça extrusora:

[Kit de extrusor inclinado todo de metal v6 j. com suporte de ventilador e peças 3d, para impressoras e3d v6 volcano hotend|Peças e acessórios em 3D| - AliExpress](#)

Guias Lineares e Patins:

[Impressora 3d, guia linear em miniatura para impressora 3d, modelos mgn7 mgn12 mgn15 mgn9 1 100 200 350 500 600 800mm, 1 peça|Guias lineares| - AliExpress](#)

Fusos:

[1 Fuso Tr8 Passo 2mm X 350mm Com Castanha Em Metal Cnc 3d | MercadoLivre](#)

Motor de Passo NEMA 17:

[AK34-52F4CN1.8.pdf \(neomotion.com.br\)](#)