

MODELAGEM DE SISTEMAS DINÂMICOS

PME 3380

GRUPO 24

Paulo Mateus Corrêa Vianna	10772741
Alessandra da Cruz Nunes Moraes	10337209
Yuri Lopes Pamplona	10853498
Luiz Ricardo de Sousa Cruz	10334961



PROPOSTA DO TRABALHO

O objetivo desse trabalho é a descrição e o estudo dos mecanismos utilizados na impressora 3D, no que se refere a movimentação do bico extrusor e da base de suporte.

IMPORTÂNCIA DO TEMA

- Saúde;
- Construção civil;
- Prototipagem rápida;
- Criação de produtos diversos.



HIPÓTESES SIMPLIFICADORAS

Corpos rígidos: Materiais indeformáveis e aplicação da mecânica clássica tanto para o cabeçote quanto para a base.

Desconsiderar movimento de oscilação que ocorre entre a base da impressora e a superfície na qual ela está apoiada.

O cabeçote tem formato cúbico com simetria geométrica e possui massa constante.

As barras paralelas giram com mesmas acelerações angulares para que não ocorra empenamento da peça.

As massas das partes plásticas foram desconsideradas.

A massa M distribuída da placa, hastes e apoios plásticos se encontra no centro geométrico desse corpo.

A massa M distribuída do cabeçote se encontra no centro geométrico do corpo.

MODELO FÍSICO

SIMPLIFICADO

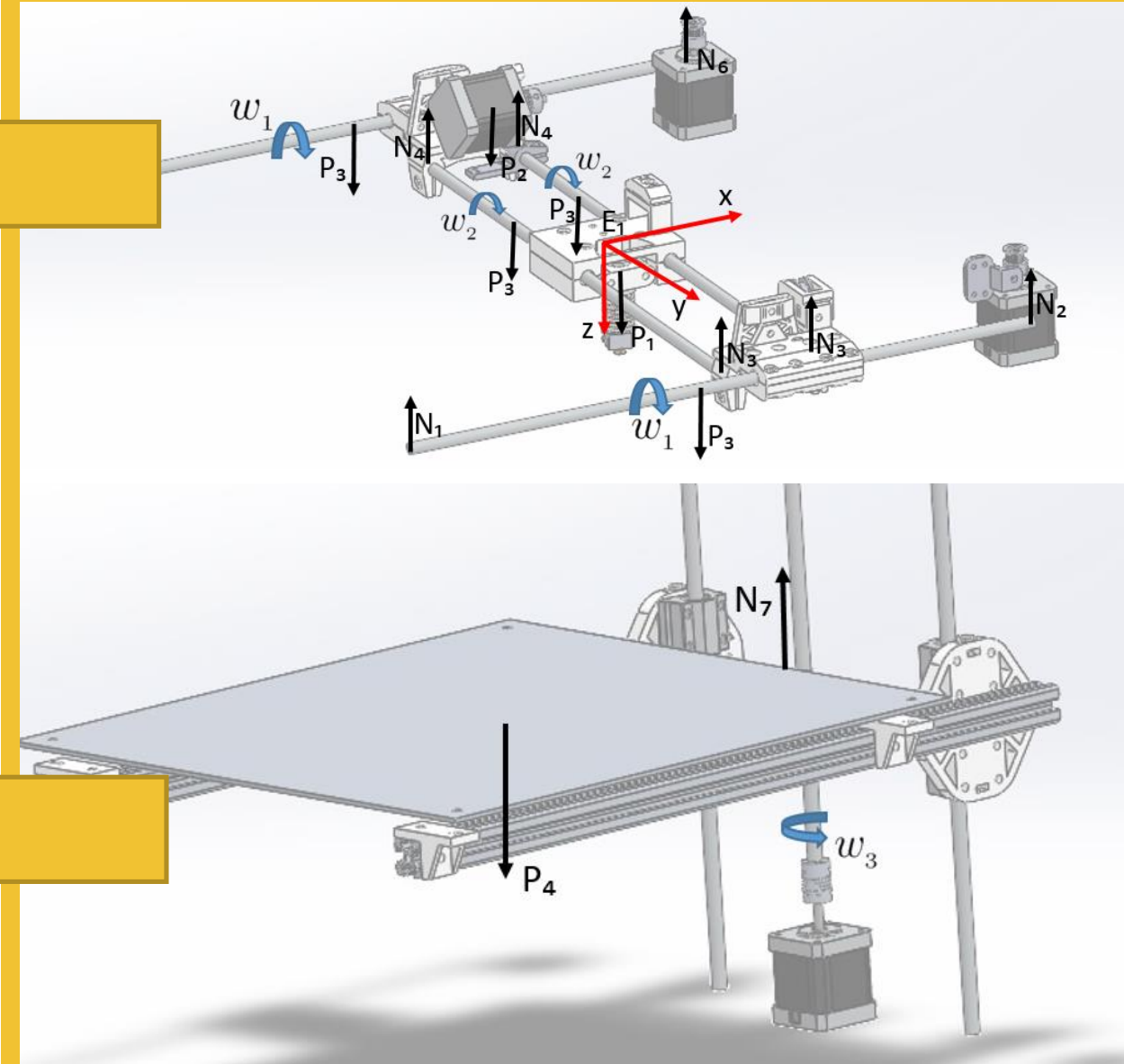
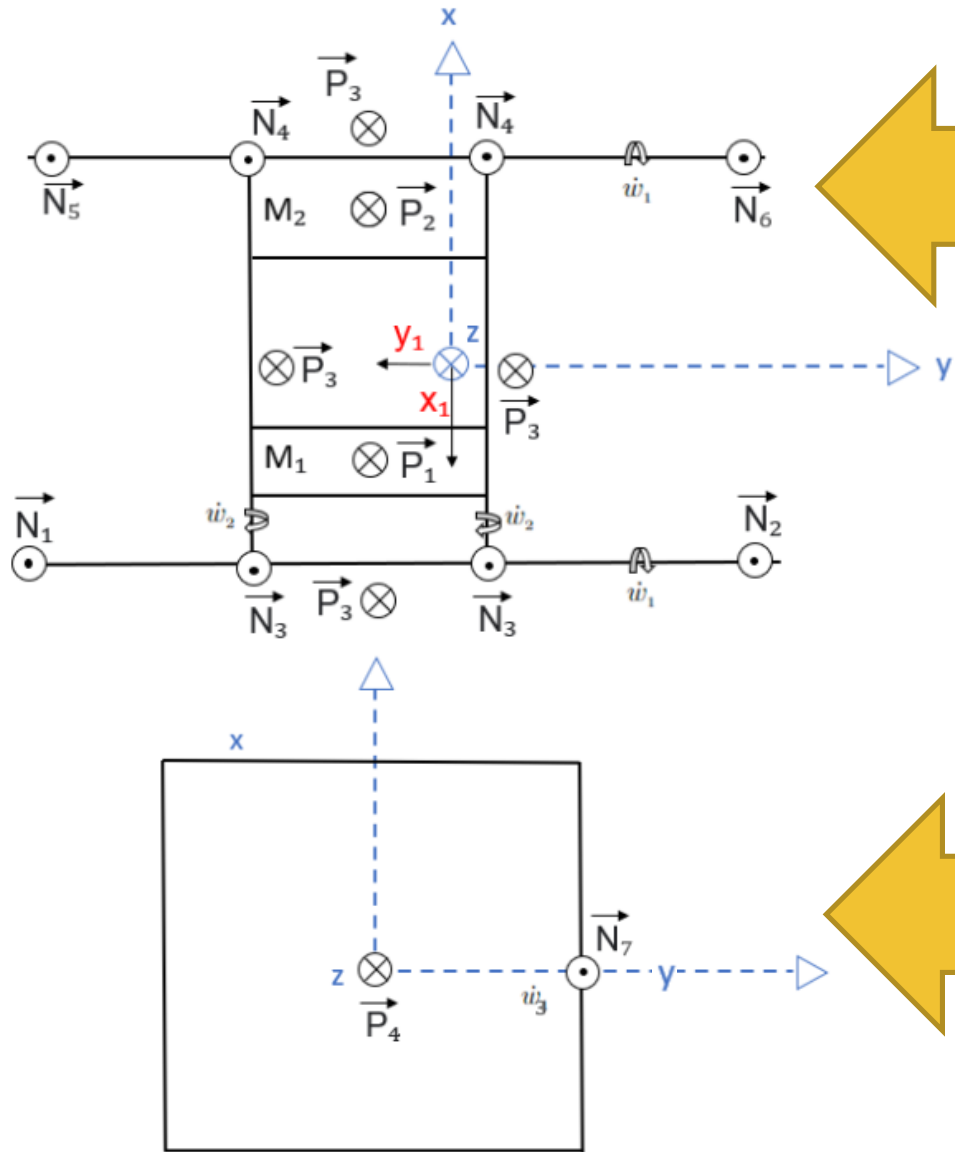


DIAGRAMA DE BLOCOS

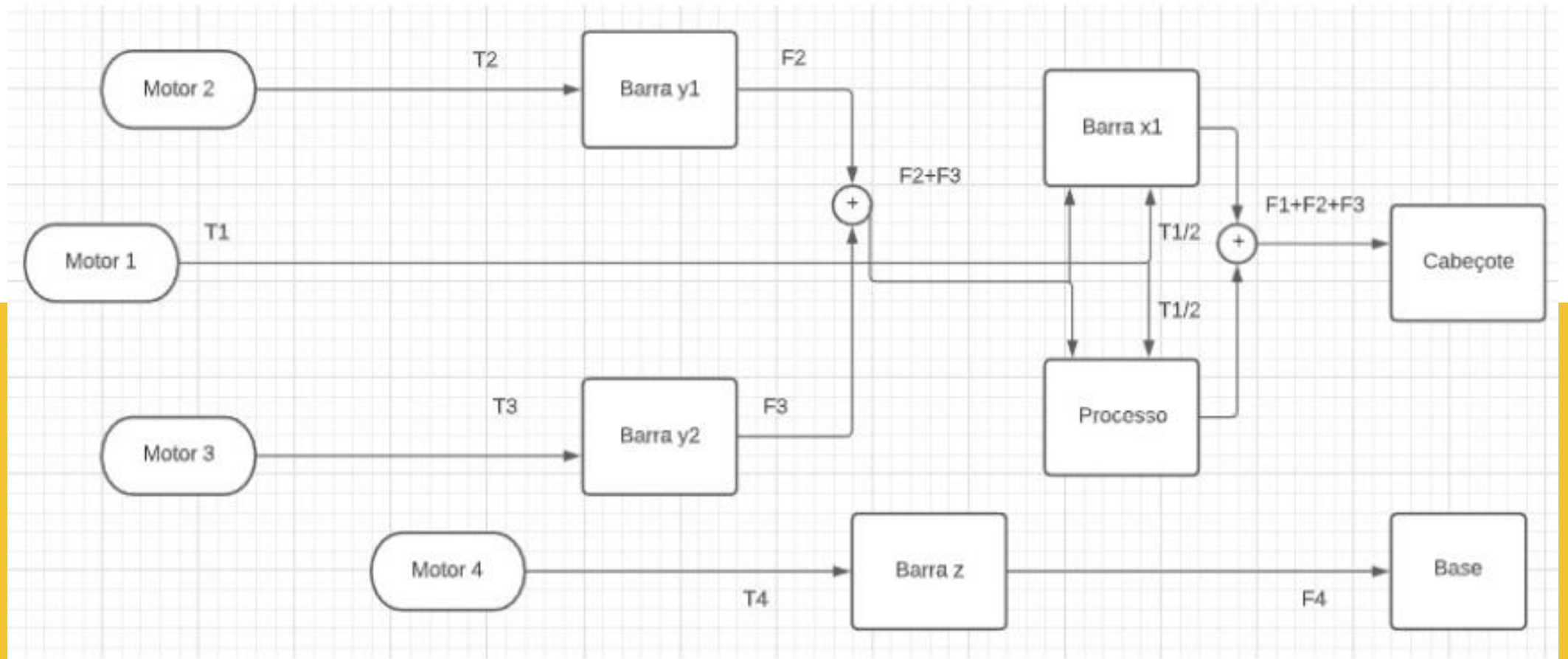


Figura 9 – Diagrama de Blocos

EQUAÇÕES FINAIS DO MOVIMENTO

$$(M_1 + M_3)\ddot{x} + 2c\dot{x} = \frac{2\pi T_1}{P}$$

$$(M_1 + M_2 + 3M_3)\ddot{y} + 2c\dot{y} = \frac{2\pi(T_2 + T_3)}{p}$$

$$(M_4 + \frac{M_3}{2})\ddot{z} + c\dot{z} - M_4g = \frac{2\pi T_4}{p}$$

ESPAÇO DE ESTADOS

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ \dot{x} \\ y \\ \dot{y} \\ z \\ \dot{z} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \\ \dot{X}_4 \\ \dot{X}_5 \\ \dot{X}_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{y} \\ \ddot{y} \\ \dot{z} \\ \ddot{z} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \\ \dot{X}_4 \\ \dot{X}_5 \\ \dot{X}_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_2 \\ \left(\frac{2\pi T_1}{p} - 2cX_2\right)\frac{1}{M_1+M_3} \\ X_4 \\ \left(\frac{2\pi(T_2+T_3)}{p} - 2cX_4\right)\frac{1}{M_1+M_2+3M_3} \\ X_6 \\ \left(\frac{2\pi T_4}{p} - cX_6 + M_4g\right)\frac{1}{M_4+\frac{M_3}{2}} \end{pmatrix}$$

ESPAÇO DE ESTADOS

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\delta \dot{x}}{\delta x} & \frac{\delta \dot{x}}{\delta y} & \frac{\delta \dot{x}}{\delta z} & \frac{\delta \dot{x}}{\delta \dot{x}} & \frac{\delta \dot{x}}{\delta \dot{y}} & \frac{\delta \dot{x}}{\delta \dot{z}} \\ \frac{\delta \dot{y}}{\delta x} & \frac{\delta \dot{y}}{\delta y} & \frac{\delta \dot{y}}{\delta z} & \frac{\delta \dot{y}}{\delta \dot{x}} & \frac{\delta \dot{y}}{\delta \dot{y}} & \frac{\delta \dot{y}}{\delta \dot{z}} \\ \frac{\delta \dot{z}}{\delta x} & \frac{\delta \dot{z}}{\delta y} & \frac{\delta \dot{z}}{\delta z} & \frac{\delta \dot{z}}{\delta \dot{x}} & \frac{\delta \dot{z}}{\delta \dot{y}} & \frac{\delta \dot{z}}{\delta \dot{z}} \\ \frac{\delta \ddot{x}}{\delta x} & \frac{\delta \ddot{x}}{\delta y} & \frac{\delta \ddot{x}}{\delta z} & \frac{\delta \ddot{x}}{\delta \dot{x}} & \frac{\delta \ddot{x}}{\delta \dot{y}} & \frac{\delta \ddot{x}}{\delta \dot{z}} \\ \frac{\delta \ddot{y}}{\delta x} & \frac{\delta \ddot{y}}{\delta y} & \frac{\delta \ddot{y}}{\delta z} & \frac{\delta \ddot{y}}{\delta \dot{x}} & \frac{\delta \ddot{y}}{\delta \dot{y}} & \frac{\delta \ddot{y}}{\delta \dot{z}} \\ \frac{\delta \ddot{z}}{\delta x} & \frac{\delta \ddot{z}}{\delta y} & \frac{\delta \ddot{z}}{\delta z} & \frac{\delta \ddot{z}}{\delta \dot{x}} & \frac{\delta \ddot{z}}{\delta \dot{y}} & \frac{\delta \ddot{z}}{\delta \dot{z}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-2c}{M_1+M_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-2c}{M_1+M_2+3M_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-c}{M_4+\frac{M_3}{2}} \end{pmatrix}$$

ESPAÇO DE ESTADOS

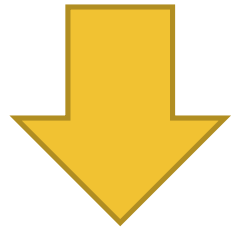
$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{2\pi}{P(M_1+M_3)} \\ \frac{2\pi}{P(M_1+M_2+3M_3)} \\ \frac{2\pi}{P(M_4+\frac{M_3}{2})} \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

TRANSFORMADA DE LAPLACE

$$L[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-st} dt = F(s)$$



Função de transferência

Para inteirar as análises será observada a função de transferência que pode ser obtida por via de manipulação das equações diferenciais. Especificamente, para encontrar essa função de transferência foi utilizado o programa do scilab.

$$G_s = \begin{pmatrix} \frac{337.80566 + 8.916 \cdot 10^{-15}s}{0.0322581s + s^2} \\ \frac{163.62462 + 1,815 \cdot 10^{-15}s}{0.0217391s + s^2} \\ \frac{244.95849 + 3,18 \cdot 10^{-17}s}{0.0116959s + s^2} \\ \frac{337.80566}{0.0322581 + s} \\ \frac{163.62462}{0.0217391 + s} \\ \frac{244.95849}{0.0116959 + s} \end{pmatrix}$$

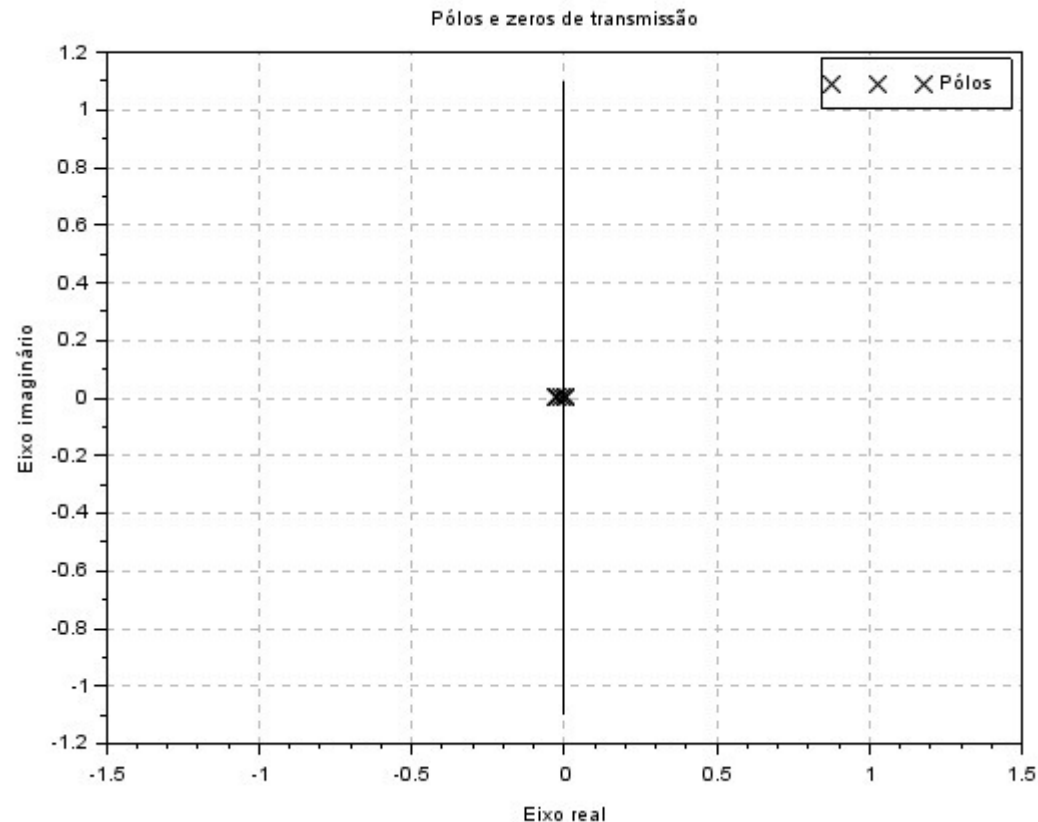
POLINÔMIO CARACTERÍSTICO

$$p(s) = s^6 + 5,9579s^5 + 5,576s^4 + 5,895 \cdot 10^{-12}s^3$$

Polinômio obtido a partir dos autovalores da matriz A.

ANÁLISE DA ESTABILIDADE

Análise dos polos



Pode-se observar que existem 3 polos nulos e outros 3 com parte real negativa (são pequenos portanto aparentam estar próximos).

ANÁLISE DA ESTABILIDADE

Critério de Routh-Hurwitz

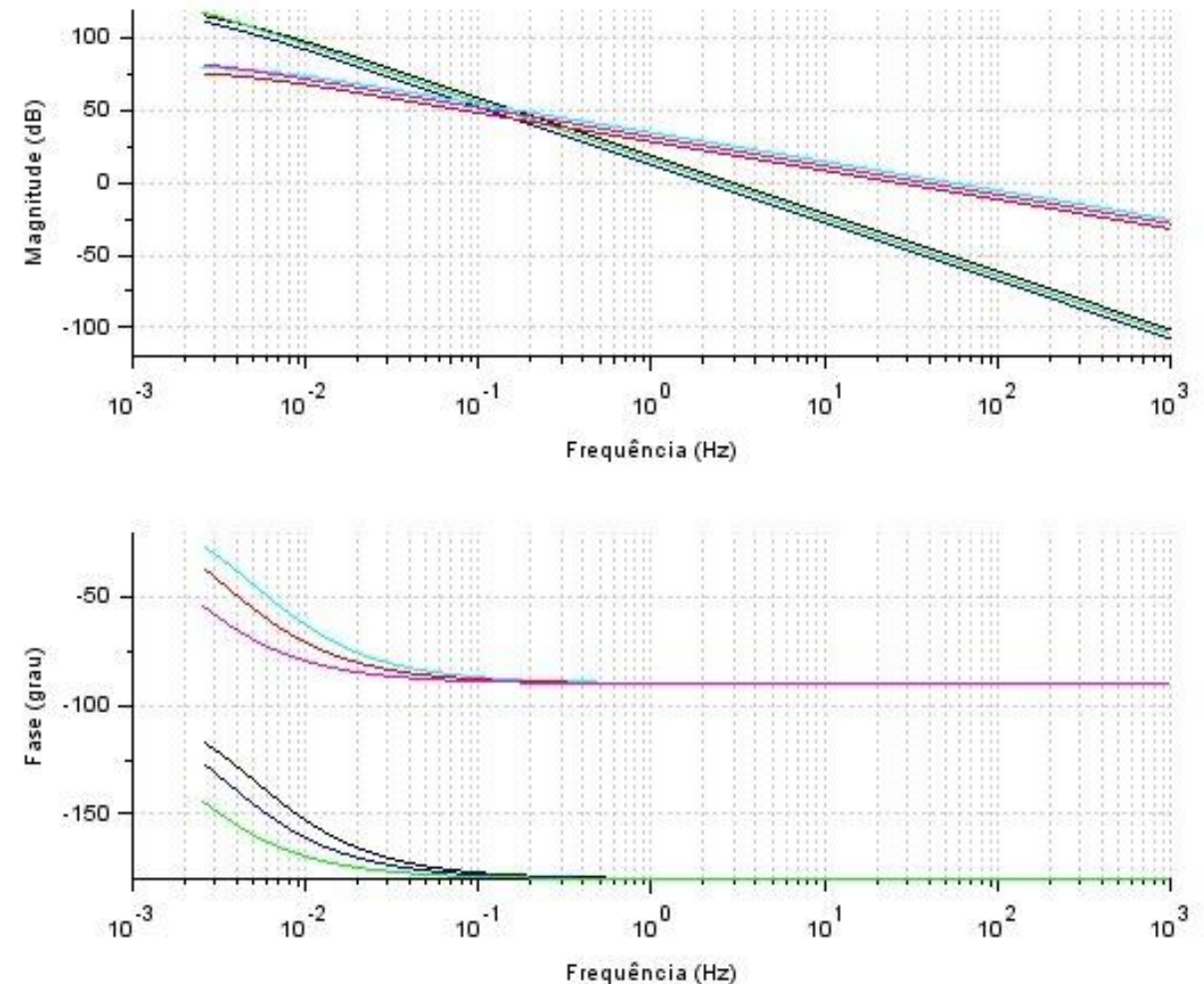
s^6	1	5,58
s^5	5,9579	5,90E-12
s^4	5,576	
s^3	5,9E-12	

Como 3 polos foram nulos, foi feita a análise por Routh-Hurwitz para certificar a estabilidade do sistema

ANÁLISE DA ESTABILIDADE

Diagramas de Bode

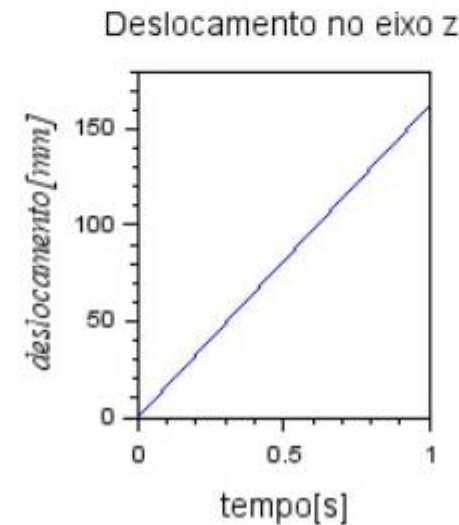
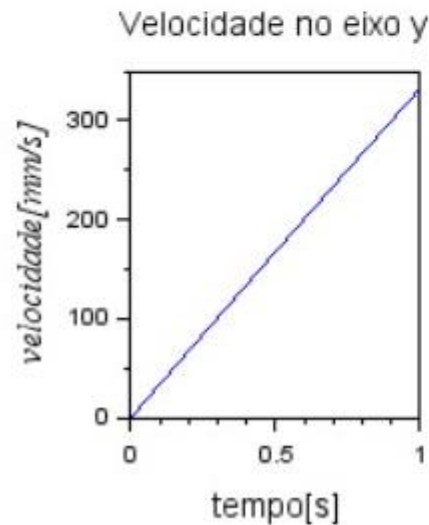
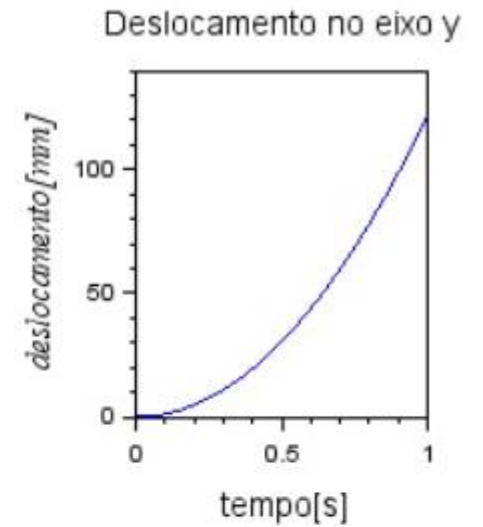
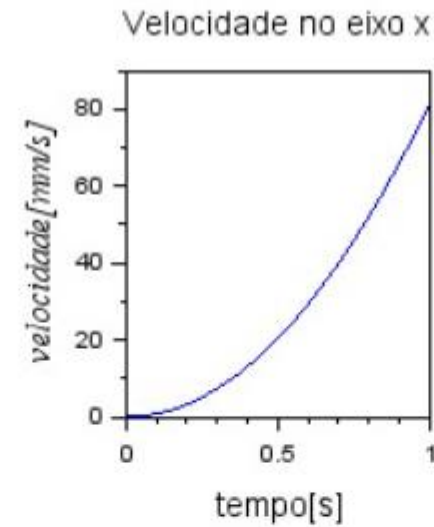
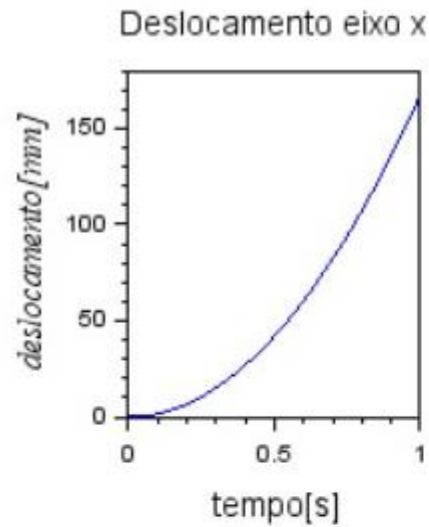
Relacionado ao domínio da frequência, gera respostas referentes a dinâmica do sistema e permite uma boa visualização dos cenários uma vez que forma respostas decompostas dos elementos.



DOMÍNIO DO TEMPO

Sinal Degrau

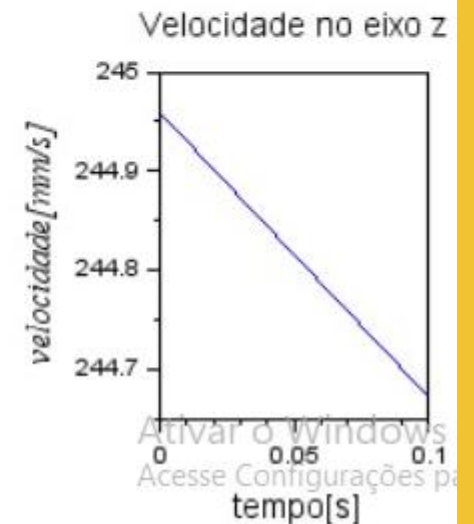
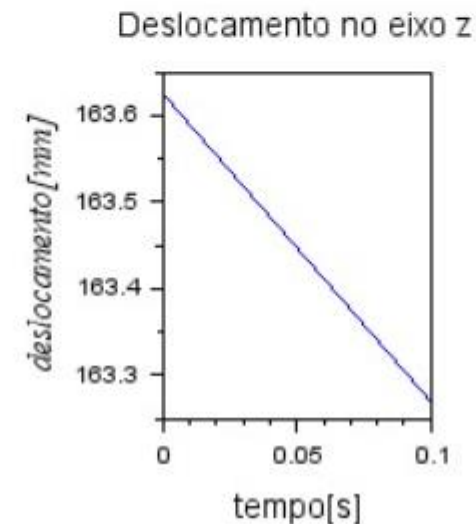
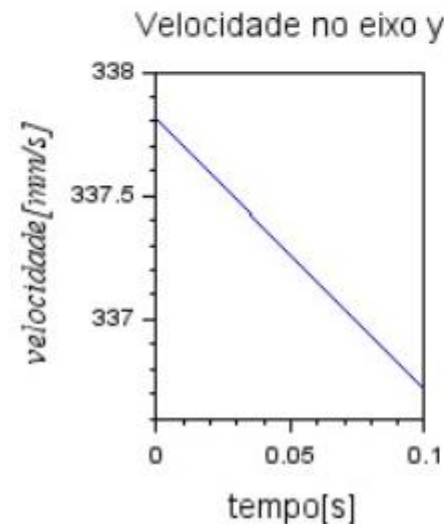
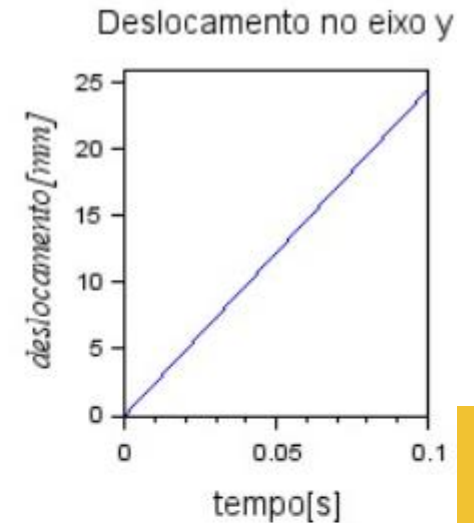
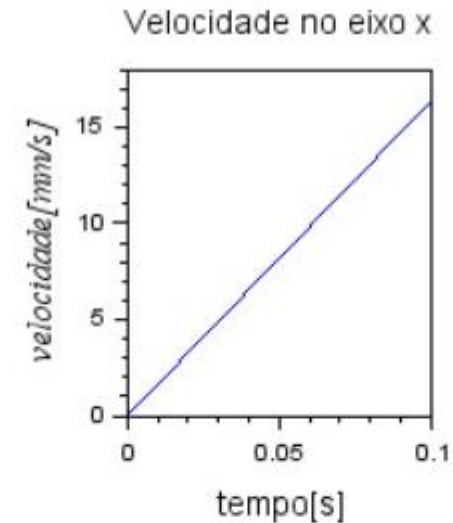
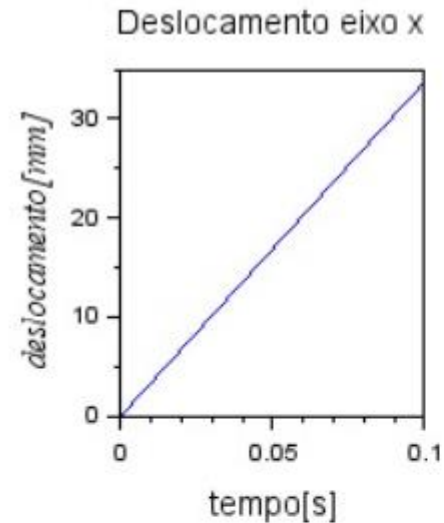
Como a impressora possui peças relativamente leves e não existe a resistência de mola, a força gerada pelo degrau é capaz de produzir um deslocamento contínuo.



DOMÍNIO DO TEMPO

Impulso

Como a simulação é de um tempo curto o impulso é capaz de gerar altas velocidades e deslocamentos que sobrepõe qualquer outro tipo de efeito

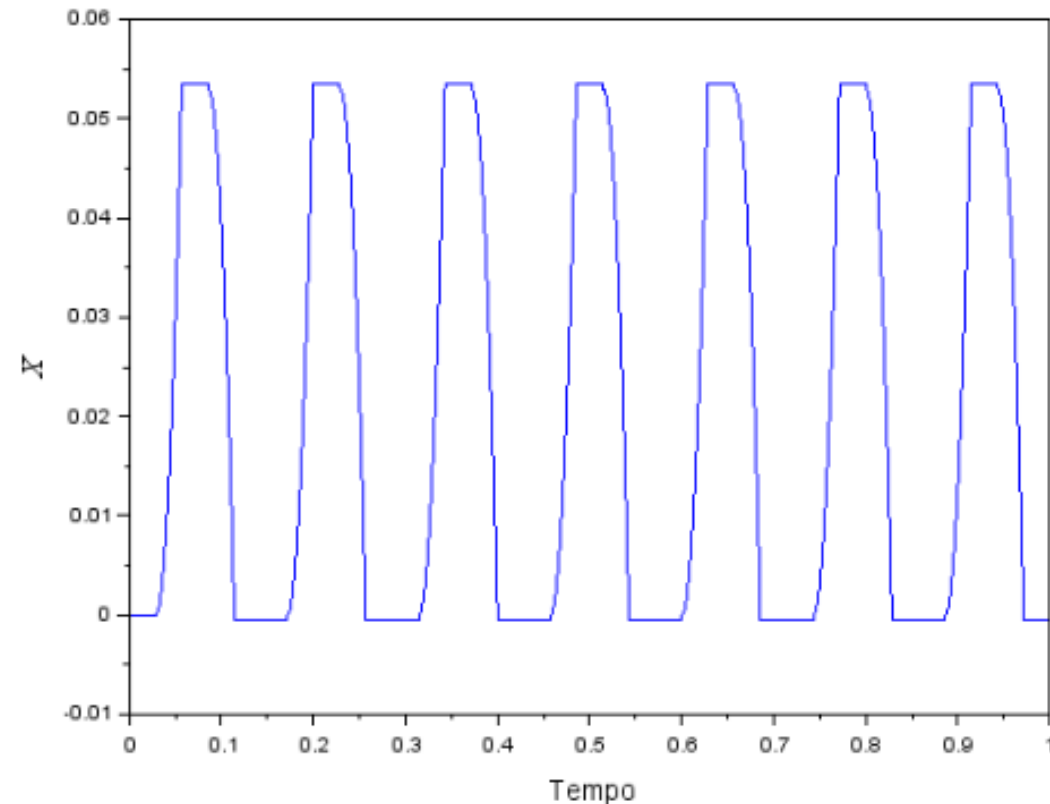


Ativar o Windows
Acesse Configurações pa

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Nesse eixo é importante observar que a trajetória se comporta próximo a uma parábola (o amortecimento causa uma modificação na descrição da trajetória)

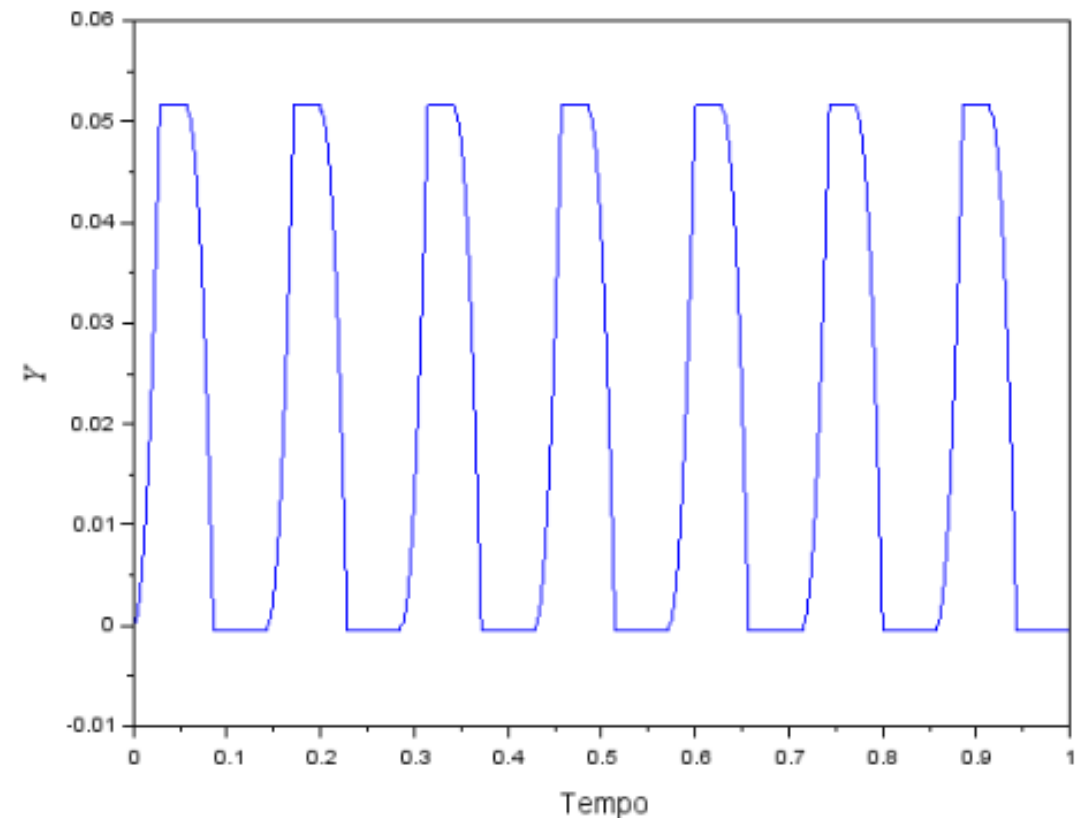
Figura 13 – Eixo X da trajetória do cabeçote da extrusão estudada



RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Da mesma forma do anterior, a trajetória é parecida com uma parábola. É importante frisar que o cabeçote trava em certos momentos em algum eixo devido a inexistência de torques naquele momento.

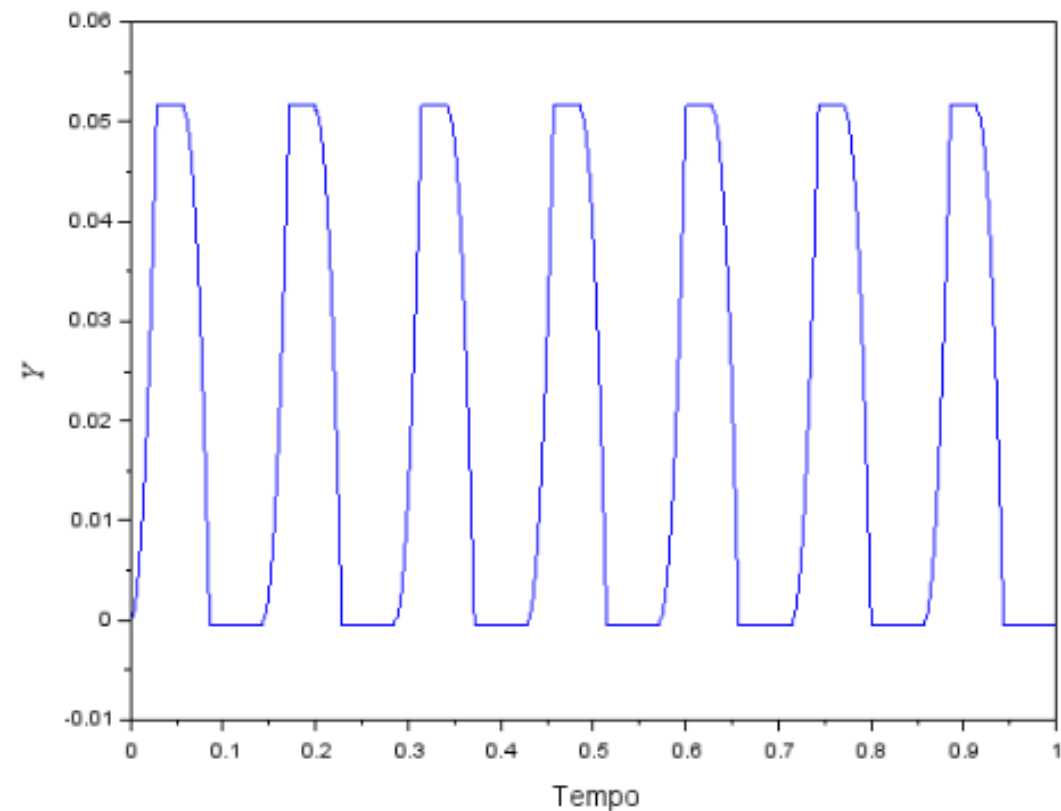
Figura 14 – Eixo Y da trajetória do cabeçote da extrusão estudada



RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Da mesma forma do anterior, a trajetória é parecida com uma parábola. É importante frisar que o cabeçote trava em certos momentos em algum eixo devido a inexistência de Torques naquele momento.

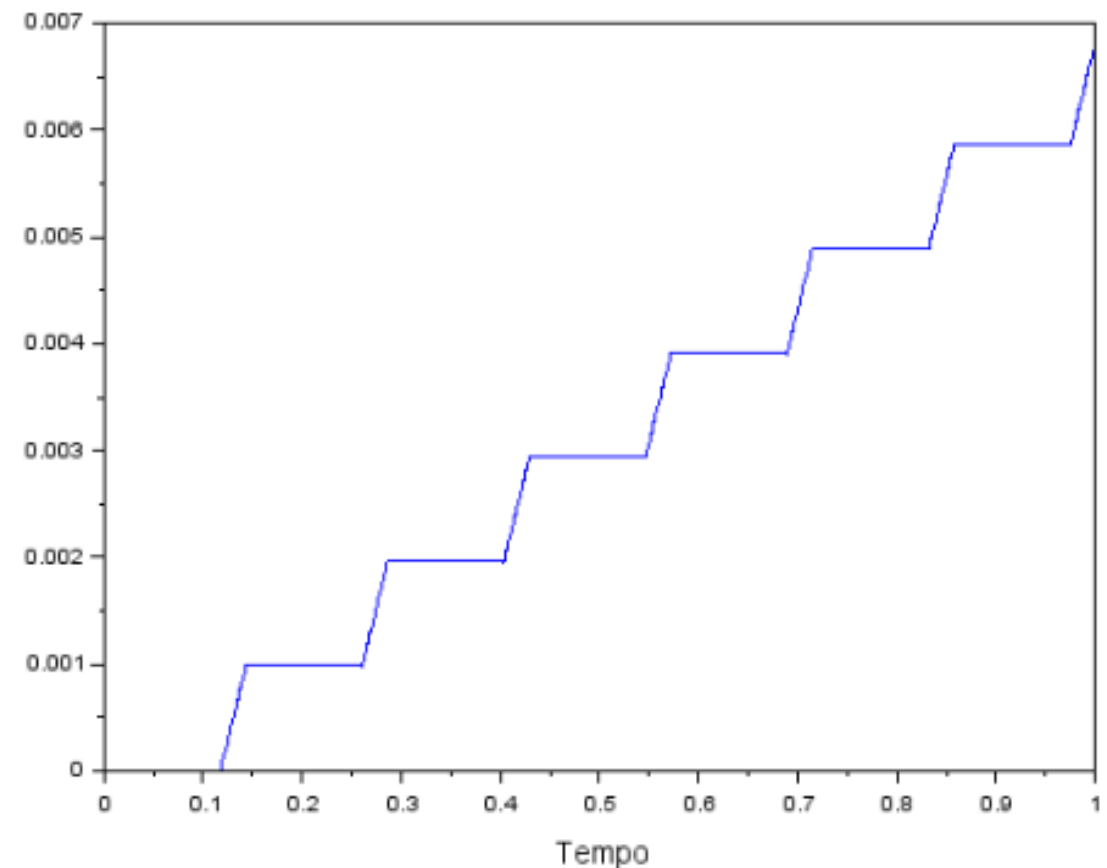
Figura 15 – Eixo Y da trajetória do cabeçote da extrusão estudada



RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O eixo nesse caso trabalha em um intervalo de tempo menor devido a menor movimentação, pois sobrepor o material extrudado precisa de apenas um abaixamento da base 1mm devido ao bico extrusor. Devido a rapidez do movimento da base e as constantes de amortecimento a descrição do movimento se assemelha a uma reta.

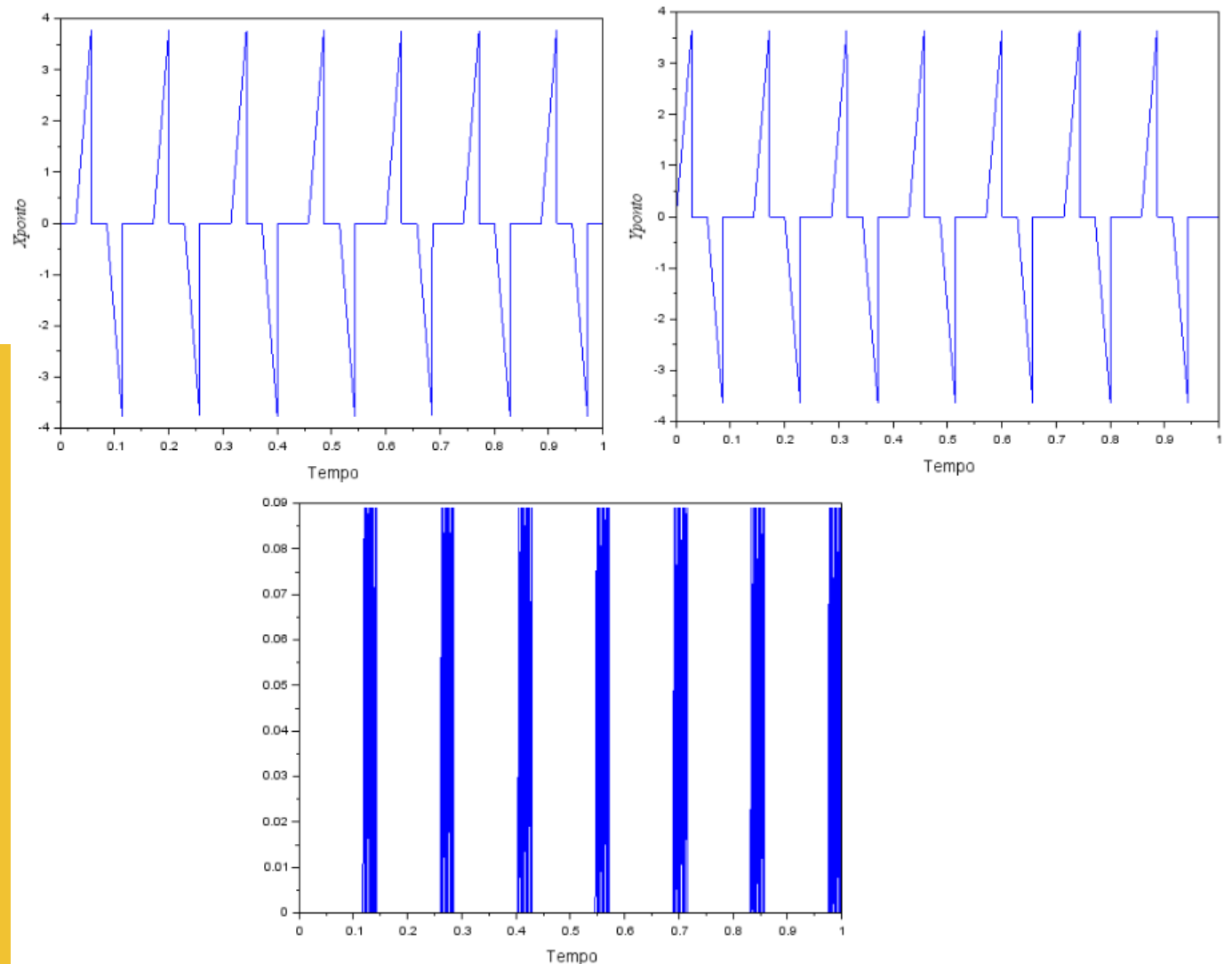
Figura 16 – Eixo Z da trajetória da base



RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Nesse caso a parcela do gráfico crescente representa o motor ligado e acelerando até alcançar uma velocidade limite. Ao pairar sobre esse máximo, o motor desliga, caracterizando uma reta praticamente vertical. Após isso, segue o mesmo padrão mas negativamente, e repete o ciclo durante o tempo estipulado.

Figura 17 – Velocidades do cabeçote no eixo x e y e velocidade da barra no eixo z



SIMULAÇÃO DO MOVIMENTO

O movimento do cabeçote é inspirado na forma de preenchimento retangular utilizada em grande parte das impressoras 3D do mercado.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, F. M. d. et al. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013

DEC, M. Avaliação e otimização da exatidão geométrica de impressora 3D utilizando medição por coordenadas. Tese (Doutorado), 2016

MILLS, D. Future medicine: The impact of 3d printing. *j nanomater mol nanotechnol* 4: 3.of, v. 3, p. 2, 2015

YOSSEF, M.; CHEN, A. Applicability and limitations of 3d printing for civil structures. 2015

ZUCCA, R. et al. Desenvolvimento de uma impressora 3d de baixo custo para prototipagem de objetos. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*

SHAH RUBUDINA T.C. LEEA, . R. R. N. An overview on 3d printing technology: Technological, materials, and applications. 2019.

YOSSEF, M.; CHEN, A. Applicability and limitations of 3d printing for civil structures. 2015.

ZUCCA, R. et al. Desenvolvimento de uma impressora 3d de baixo custo para prototipagem de objetos. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 40, n. 1, p. 47–54, 2019.

OBRIGADO!