

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE - CTJ**

**GABRIEL ANDREA CARVALHO, GABRIELLA ARÉVALO MARQUES,
HEBERT ALAN KUBIS, JEIEL SANTOS ARAÚJO OLIVEIRA, JOÃO VITOR
FRANQUE GOETZ, JOHANNA CAMILA REY**

PROJETO DE CAME MÁQUINA DE COSTURA

Joinville
2025

1. INTRODUÇÃO

2. REQUISITOS DE PROJETO

Os requisitos de projeto são os especificados:

- Raio de base: 19mm
- Raio do seguidor (rolete) = 6mm
- Altura máxima de deslocamento da agulha: 12mm
- Subida: 12mm em 50°
- Espera superior: em 10mm por 20°
- Descida: 12mm em 50°
- Repete-se essa sequência até completar 360°
- Velocidade de rotação: $\omega = 150$ rpm

3. EQUACIONAMENTO

Para uma curva polinomial a expressão geral é dada por:

$$s = c_0 + c_1 \cdot \theta + c_2 \cdot \theta^2 + c_3 \cdot \theta^3 + \dots + c_n \cdot \theta^n \quad (1)$$

Onde:

- s = deslocamento do seguidor
- θ = ângulo de rotação do Came
- c_i = constantes ($i = 1, 2, 3, \dots$)
- n - a ordem do polinômio

Como pedido no trabalho, o polinômio a ser utilizado deve ser um 3-4-5, ou seja:

$$s(\theta) = c_0 + c_1 \cdot \theta + c_2 \cdot \theta^2 + c_3 \cdot \theta^3 + c_4 \cdot \theta^4 + c_5 \cdot \theta^5 \quad (2)$$

$$\frac{ds(\theta)}{d\theta} = c_1 + 2 \cdot c_2 \cdot \theta + 3 \cdot c_3 \cdot \theta^2 + 4 \cdot c_4 \cdot \theta^3 + 5 \cdot c_5 \cdot \theta^4 \quad (3)$$

$$\frac{d^2s(\theta)}{d\theta^2} = 2 \cdot c_2 + 6 \cdot c_3 \cdot \theta + 12 \cdot c_4 \cdot \theta^2 + 20 \cdot c_5 \cdot \theta^3 \quad (4)$$

Ou na forma normalizada:

$$s(\theta) = h \cdot [10 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^5] \quad (5)$$

$$\frac{ds(\theta)}{d\theta} = h \cdot 30 \cdot [(\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^2 - 2 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^3 + (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^4] \quad (6)$$

$$\frac{d^2s(\theta)}{d\theta^2} = h \cdot 60 \cdot [(\frac{\theta - \theta_i}{\beta}) - 3 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^2 + 2 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^3] \quad (7)$$

3.1. POSIÇÃO

Para calcular encontrar as equações da posição, velocidade e aceleração, deve-se usar o parametro β que é diferente para cada um dos três trechos. O β é definido como:

$$\beta = \theta_f - \theta_i \quad (8)$$

Assim, tem-se:

- Trecho 1 (subida): $\beta = 50^\circ - 0^\circ = 50^\circ = 0.873\text{rad}$
- Trecho 2 (espera): $\beta = 70^\circ - 50^\circ = 20^\circ = 0.349\text{rad}$
- Trecho 3 (descida): $\beta = 120^\circ - 70^\circ = 50^\circ = 0.873\text{rad}$

Deste modo, a posição para o trecho 1 é dada por:

$$s(\theta) = 12 \cdot [10 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873}\right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873}\right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873}\right)^5] \quad (9)$$

Para o trecho 2:

$$s(\theta) = 12 \quad (10)$$

E para o trecho 3, que possui uma pequena diferença por ser de descida, sendo que aqui a expressão anterior entra subtraindo de 1:

$$s(\theta) = 12 \cdot [1 - (10 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873}\right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873}\right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873}\right)^5)] \quad (11)$$

Com isto, o trecho de 0° a 120° pode ser representado. Ajustando os valores de θ_i também pode-se determinar as equações para o resto da rotação. Para $120^\circ < \theta < 240^\circ$:

$$s(\theta) = 12 \cdot [10 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873}\right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873}\right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873}\right)^5] \quad (12)$$

$$s(\theta) = 12 \quad (13)$$

$$s(\theta) = 12 \cdot [1 - (10 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right)^5)] \quad (14)$$

Para $240^\circ < \theta < 360^\circ$:

$$s(\theta) = 12 \cdot [10 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right)^5] \quad (15)$$

$$s(\theta) = 12 \quad (16)$$

$$s(\theta) = 12 \cdot [1 - (10 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right)^3 - 15 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right)^4 + 6 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right)^5)] \quad (17)$$

Assim, plotando o grafico da posição:

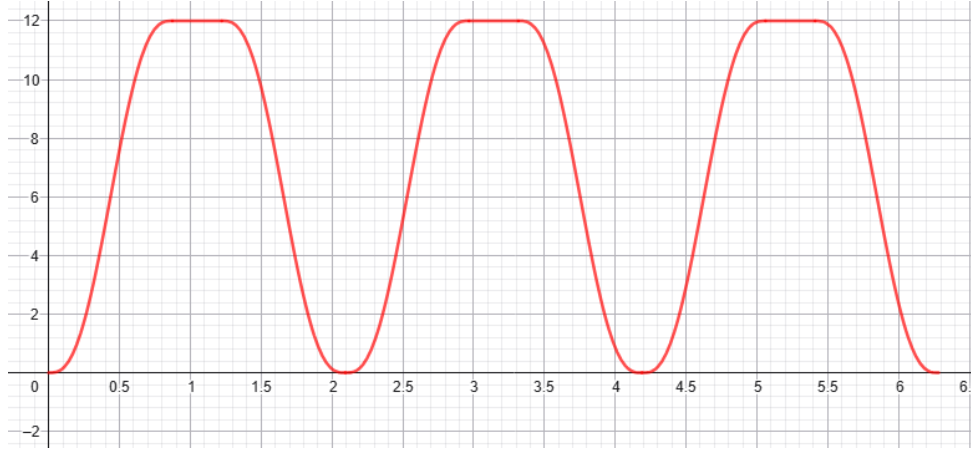


Figura 1: Deslocamento do seguidor em função de θ .

3.2. VELOCIDADE

Para a velocidade os valores de β continuam os mesmos. Assim, a equação da velocidade para o trecho 1 é:

$$v(\theta) = 360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \cdot \left[\left(\frac{\theta}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta}{0.873} \right)^4 \right] \quad (18)$$

Para o trecho 2:

$$v(\theta) = 0 \quad (19)$$

Para o trecho 3:

$$v(\theta) = -360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \left[\left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^4 \right] \quad (20)$$

Para $120^\circ < \theta < 240^\circ$:

$$v(\theta) = 360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \cdot \left[\left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^4 \right] \quad (21)$$

$$v(\theta) = 0 \quad (22)$$

$$v(\theta) = -360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \left[\left(\frac{\theta - 3.316}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873} \right)^4 \right] \quad (23)$$

Para $240^\circ < \theta < 360^\circ$:

$$v(\theta) = 360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \cdot \left[\left(\frac{\theta - 4.189}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873} \right)^4 \right] \quad (24)$$

$$v(\theta) = 0 \quad (25)$$

$$v(\theta) = -360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \left[\left(\frac{\theta - 5.411}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873} \right)^4 \right] \quad (26)$$

Assim, o gráfico da velocidade é:

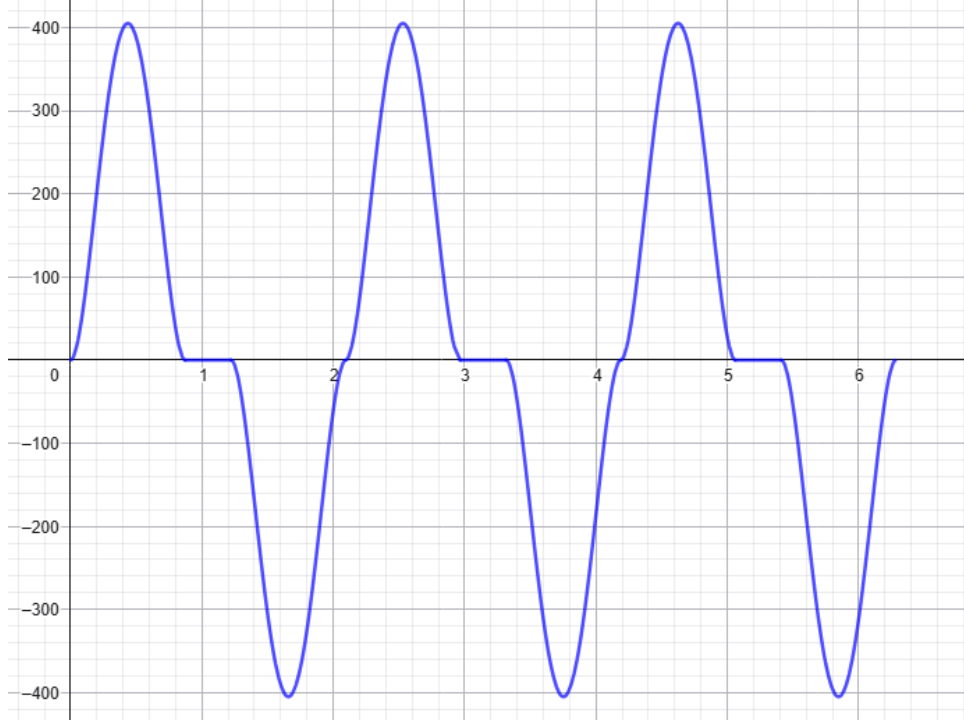


Figura 2: Velocidade do seguidor em função de θ .

3.3. ACELERAÇÃO

Para a aceleração no trecho 1 tem-se:

$$v(\theta) = 720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta}{0.873} \right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873} \right)^3 \right] \quad (27)$$

Para o trecho 2:

$$v(\theta) = 0 \quad (28)$$

Para o trecho 3:

$$v(\theta) = -720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^3 \right] \quad (29)$$

Para $120^\circ < \theta < 240^\circ$:

$$v(\theta) = 720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873} \right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^3 \right] \quad (30)$$

$$v(\theta) = 0 \quad (31)$$

$$v(\theta) = -720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \left[\left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right)^3\right] \quad (32)$$

Para $240^\circ < \theta < 360^\circ$:

$$v(\theta) = 720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right)^3\right] \quad (33)$$

$$v(\theta) = 0 \quad (34)$$

$$v(\theta) = -720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \left[\left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right)^3\right] \quad (35)$$

Assim, o gráfico da velocidade é:



Figura 3: Aceleração do seguidor em função de θ .

4. ÂNGULO DE PRESSÃO

Para calcular o gráfico do ângulo de pressão, é necessário levar em conta o raio de base do came $R_b = 19mm$, a posição $S(\theta)$ do came e a velocidade $\frac{ds}{d\theta}$. Com estes dados, o ângulo de pressão é dado por:

$$\phi(\theta) = \arctan \frac{\frac{ds}{d\theta}}{R_b + s(\theta)} \quad (36)$$