



# Modelagem Cinemática e Simulação do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi

## Kinematics Modeling and Simulation of the of the SCARA RH-3FRHR35 Manipulator Robot with Upper Mount, Manufacturer Mitsubishi

Paulo Roberto Machado Silva Junior<sup>1</sup>, Carlos Vinicius Boduar de Alcantara<sup>2</sup>,  
Flávio Luiz Rossini<sup>3</sup>

### RESUMO

O presente trabalho tem como proposta a modelagem cinemática e a simulação do robô manipulador SCARA RH-3FRHR3 da fabricante Mitsubishi. Diante das emergentes inovações tecnológicas, a robótica é vista como um símbolo de pesquisa e desenvolvimento. No artigo são mostrados: o modelo cinemático do robô; e as simulações que forneceram as informações de trajetória quanto a posição, velocidade e aceleração de cada junta. A partir dos resultados analíticos e numéricos apresentados, espera-se que estudantes e profissionais de robótica possam realizar comparações e promover melhorias, assim como novos desenvolvimentos, a fim de promover maior competitividade da indústria Brasileira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem cinemática; Robô Mitsubishi RH- 3FRHR35; Simulação Numérica.

### ABSTRACT

The present work proposes the kinematic modeling and simulation of the SCARA RH-3FRHR3 manipulator robot from the manufacturer Mitsubishi. Given emerging technological innovations, robotics is seen as a symbol of research and development. The article shows: the kinematic model of the robot; and the simulations that provided trajectory information regarding the position, speed and acceleration of each joint. Based on the analytical and numerical results presented, it is expected that robotics students and professionals can make comparisons and promote improvements, as well as new developments, in order to promote greater competitiveness in the Brazilian industry.

**KEYWORDS:** Kinematics Modeling; Mitsubishi RH-3FRHR35 Robot; Numerical Simulation.

### INTRODUÇÃO

A usinagem é crucial para a personalização na manufatura moderna, com máquinas e ferramentas predominando devido à sua eficiência (CRAIG, 2012) (FENERICK; VOLANTE, 2020). Segundo a Federação Internacional de Robótica (IFR), as vendas de robôs cresceram de 53.409 unidades em 1993 para 303.847 em 2016. O *World Robotics* de 2021 (ROBOTICS, 2022) mostrou um recorde de 517.385 robôs industriais instalados, um aumento de 31

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: pjunior.2018@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2319582599132113>.

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: carlosalcantara@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7244931764814224>.

<sup>3</sup> Docente no Curso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: flrossini@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8616413126997528>.

Assim como na indústria, na academia a área de robótica se encontra em franca ascensão. Selecionou-se para análise o robô tipo SCARA, devido sua versatilidade quanto as aplicações. Neste sentido, cada fabricante desse modelo possui sua versão, a qual demanda de análise de modelos cinemáticos e dinâmicos, além dos respectivos sistema de controle (ROSSINI; MELO ABREU; OLIVEIRA, 2023) (SOUZA; ROSSINI; OLIVEIRA, 2023) (ROSSINI; LOPES et al., 2022) (LIMA et al., 2022) (ROSSINI; LIMA et al., 2023) (OLIVEIRA; ROSSINI et al., 2020) (OLIVEIRA; ROSSINI, 2018) (SANCHES; ROSSINI, 2016).

O presente trabalho desenvolveu um estudo de caso aplicado a Robô Manipulador Scara RH-3FRHR35 com fixação superior da fabricante Mitsubishi (ELECTRIC, 2016), realizou-se as modelagens da cinemática direta, planejamento de trajetória e respectivas simulações computacionais.

## DESCRIÇÃO DO MODELO

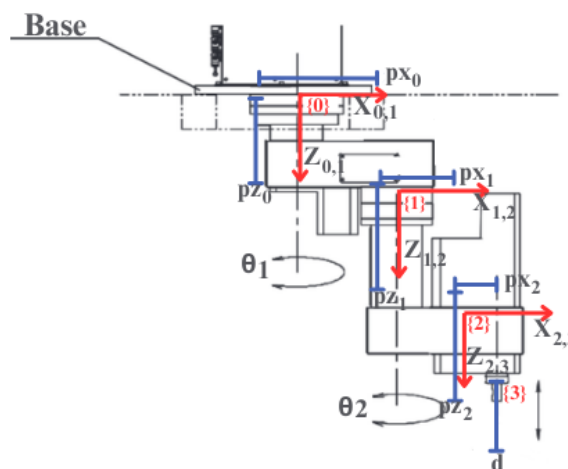
O robô Mitsubishi RH-3FRHR35 é ideal para montagem precisa de componentes pequenos. A Figura 1 mostra o robô RRRP com quatro graus de liberdade, incluindo três juntas rotativas e uma prismática, e sua estrutura suspensa é adequada para espaços limitados.

Figura 1 – Rôbo manipulador tipo SCARA modelo RH-3FRHR35 da Mitsubishi.



Fonte: (ELECTRIC, 2016).

Figura 2 – Modelo mecânico 2D do robo Mitsubishi RH-3FRHR35.



Fonte: Adaptado de (ELECTRIC, 2016).

Desenvolveu-se um esquema mecânico, conforme ilustrado na Figura 2. Esse esquema destaca os elos, juntas e os Sistemas de Referência (SR)  $\{i\}$ , onde  $i = 0, 1, 2, 3$ . Estes SRs são essenciais para localizar e orientar o robô no espaço tridimensional.

A posição de um SR influencia diretamente as coordenadas de todos os elementos no ambiente. Aqui, são apresentadas as relações entre os SRs  $\{i\}$  e  $\{i - 1\}$ , onde  $i = 0, 1, 2, 3$ . Com o SR  $\{0\}$  estabelecido como referência fixa, os outros SRs denotam corpos móveis. Os vetores que localizam cada SR são descritos a seguir:

$${}^0P_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & p_{z0} \end{bmatrix}^T, \quad {}^1P_2 = \begin{bmatrix} p_{x1} & 0 & p_{z1} \end{bmatrix}^T, \quad {}^2P_3 = \begin{bmatrix} p_{x2} & c & p_{z2} \end{bmatrix}^T, \quad {}^3P_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & d \end{bmatrix}^T \quad (1)$$



sendo  $p_{z0}$ ,  $p_{x1}$ ,  $p_{z1}$ ,  $p_{x2}$  e  $p_{z2}$  os parâmetros fixos e  $d$  é a variável de movimento prismático associado ao SR {3}.

### ORIENTAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA $\{i\}$

Além da posição, a orientação define a direção dos eixos coordenados em relação ao ambiente em que o robô se encontra. Assim, para descrever completamente um SR, torna-se necessário caracterizar a posição e a orientação de todos os corpos do robô. Essa caracterização pode ser realizada com as projeções do SR  $\{i\}$  em relação ao SR  $\{i-1\}$ , com  $i = 0,1,2,3$ , expresso como:

$${}^i R = \begin{bmatrix} X_i X_{i-1} & Y_i X_{i-1} & Z_i X_{i-1} \\ X_i Y_{i-1} & Y_i Y_{i-1} & Z_i Y_{i-1} \\ X_i Z_{i-1} & Y_i Z_{i-1} & Z_i Z_{i-1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

A descrição da projeção do SR {1} em relação ao SR {0} com rotação em torno do eixo Z, expressada como:

$${}^0 R = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

sendo  $\cos(\theta_1) = c_1$  e  $\sin(\theta_1) = s_1$ . Portanto, é possível aplicar analogamente as demais juntas.

### EQUAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

Conforme (CRAIG, 2012), a equação de transformação (ET) representa a orientação e localização dos SRs em uma estrutura. Para descrever a Cinemática Direta do robô, é vital considerar o vetor de posição, Equação (1), e a matriz rotacional de cada junta, Equação (2). Estes são concatenados como:

$${}^i T = \begin{bmatrix} {}^i R & {}^i P_i \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Constituiu-se a ET para o SR {1} em relação ao SR {0}, como:

$${}^0 T = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & p_{z0} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

### CINEMÁTICA DIRETA

A Cinemática Direta (CD) é responsável por determinar a posição e a orientação do efetuador do robô (MELO ABREU; ROSSINI; OLIVEIRA, 2022). Após a realização da multiplicação das ETs apresentadas na Equação (4) para todos os SRs, torna-se possível localizar o efetuador final, SR {4}, em relação a base fixa do robô, SR {0}, expressa por meio da seguinte multiplicação:



$${}^0T_4 = {}^0T_1 ({}^1T_2 ({}^2T_3 ({}^3T_4))) \quad (6)$$

A ET, mostrada na Equação (6), refere-se ao SR {4}, em relação a base fixa do robô, SR {0}, por isso, possui estrutura da forma:

$${}^0T_4 = \begin{bmatrix} \sigma_1 & -\sigma_2 & 0 & \cos(\theta_1)(p_{x1} + p_{x2}\cos(\theta_2)) - p_{x2}\sin(\theta_1)\sin(\theta_2) \\ \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & \sin(\theta_1)(p_{x1} + p_{x2}\cos(\theta_2)) + p_{x2}\cos(\theta_1)\sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & p_{z0} + p_{z1} + p_{z2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

sendo  $\sigma_1 = \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$  e  $\sigma_2 = \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$ .

## DESCRIÇÃO DA TRAJETÓRIA

A geração de trajetória é essencial na robótica, o que permite movimentos apropriados em diferentes cenários (COSTA FRANCO et al., 2017). Existem várias técnicas, desde trajetórias lineares até abordagens avançadas baseadas em planejamento e otimização (MISSIAGGIA, 2014).

A fim de prevenir danos ao robô, a trajetória precisa ser suave. Movimentos abruptos aceleram o desgaste e podem gerar ressonâncias (CRAIG, 2012). Para esse fim, usou-se um polinômio de terceira ordem para tal propósito:

$$\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (8)$$

sendo  $\theta(t)$  é o valor do ângulo da junta em função do tempo  $t$ ,  $a_i$ , com  $i = 0,1,2,3$ , são os parâmetros do polinômio para que o movimento seja suave as seguintes condições devem ser atendidas:

$$\theta(0) = \theta(0), \quad \theta(t_f) = \theta(t_f), \quad \dot{\theta}(0) = 0, \quad \dot{\theta}(t_f) = 0 \quad (9)$$

sendo  $t_f$  o tempo final do movimento,  $\theta(0)$  é o ângulo inicial,  $\theta(t_f)$  é o ângulo final,  $\dot{\theta}(0)$  é velocidade angular inicial e  $\dot{\theta}(t_f)$  é a velocidade angular final.

A partir da Equação (8), as equações de velocidade e de aceleração podem ser obtidas por meio da derivada temporal, cujos resultados são, respectivamente:

$$\dot{\theta}(t) = a_1t + 2a_2t + 3a_3t^2 \quad (10)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3t \quad (11)$$

A partir da combinação das quatro restrições e do polinômio de terceira ordem, é possível determinar os parâmetros  $a_0, a_1, a_2$  e  $a_3$ , conforme segue:

$$a_0 = \theta(0), \quad a_1 = 0, \quad a_2 = \frac{3}{t_f^2}(\theta(t_f) - \theta(0)), \quad a_3 = -\frac{2}{t_f^3}(\theta(t_f) - \theta(0)) \quad (12)$$

Ao empregar as Equações (12) para determinar os parâmetros e inseri-los nas Equações (8), (10) e (11), consegue-se planejar trajetórias do robô ao decorrer do tempo.



## RESULTADOS

Os resultados foram adquiridos usando o *software* MATLAB®. Simulações foram feitas com base nos valores de posição, velocidade e aceleração para cada junta,  $i = 1,2,3$ , conforme os parâmetros do Quadro 1.

Quadro 1 – Exemplo de quadro.

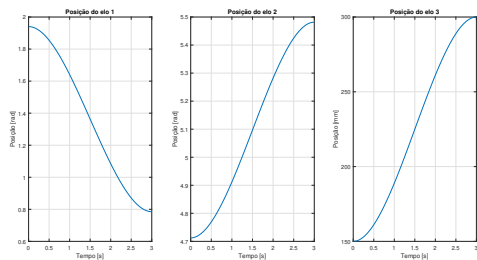
Elos	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
$m_i$ (Kg)	19,88	4,06	0,055
$w_i$ (m) ( $10^{-3}$ )	300	285	20
$l_i$ (m) ( $10^{-3}$ )	$b = 135$	$c = 135$	20
$h_i$ (m) ( $10^{-3}$ )	$b = 535$	$c = 115$	150
$\theta_i$ inicial (mm)	$b = 100$	$c = 100$	150
$\dot{\theta}_i$ inicial (mm)	$b = 0$	$c = 0$	0
$\theta_i$ final (mm)	$b = 300$	$c = 300$	300
$\dot{\theta}_i$ final (mm)	$b = 0$	$c = 0$	0

Fonte: Próprio autor.

## GERAÇÃO DA TRAJETÓRIA

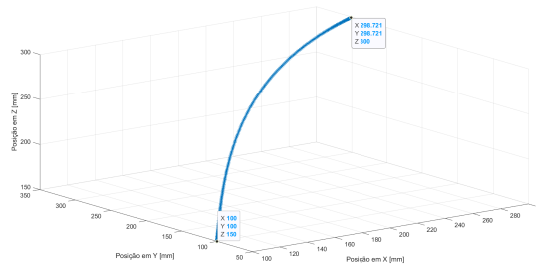
Utilizou-se a posições cartesianas inicial  $[X,Y,Z]_i = [100,100,150]_i$  até a final  $[X,Y,Z]_f = [300,300,300]_f$  para obter as informações no espaço de juntas, as quais foram aplicadas as Equações (8), (10) e (11). Pela Figura 3, observa-se as trajetórias no espaço de juntas para os elos  $i = 1,2,3$ .

Figura 3 – Posição da trajetória para cada junta.



Fonte: Elaborado por autores (2023).

Figura 4 – Trajetória no espaço cartesiano.



Fonte: Elaborado por autores (2023).

A visualização no espaço cartesiano, Figura 4, oferece clareza sobre a trajetória do robô. Esta visualização destaca pontos relevantes e potenciais colisões. Além disso, a análise de trajetória ajuda a otimizar rotas e prevenir movimentos desnecessários.

## CONCLUSÃO

No artigo, desenvolveram-se a modelagem matemática da cinemática e o planejamento de trajetória do robô SCARA RH-3FRHR3 da empresa EPSON.

Nas simulações no espaço de juntas e cartesiano, verificou-se uma trajetória suave nos pontos determinados. A modelagem deste artigo server como base para estudantes e profissionais que



visam implementá-la em microcontroladores em projetos experimentais.

## Agradecimentos

Agradeço ao orientador, Prof. Dr. Flávio Luiz Rossini, cuja expertise e orientação foram indispensáveis para a realização deste trabalho. Igualmente grato à UTFPR, que proporcionou o ambiente acadêmico propício e os recursos necessários para desenvolvimento desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- COSTA FRANCO, Alexandre da et al. **Geração e controle de trajetória de robôs móveis omnidirecionais**. [S.l.], 2017. Acesso em: 11 jul. 2023. Disponível em: [↗](#).
- CRAIG, J. J. **Robótica**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.
- ELECTRIC, Mitsubishi. **Mitsubishi Electric Industrial Robo FR Series**. [S.l.], 2016. P. 49–50. Acesso em: 18 jun. 2023. Disponível em: [↗](#).
- FENERICK, Jessica Aparecida; VOLANTE, Carlos Rodrigo. Evolução das Indústrias, os Benefícios da Automação e as Perspectivas do Mercado da Robótica no Brasil e no Mundo. **Revista Interface Tecnológica**, Interface Tecnológica, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 734–745, jul. 2020. Acesso em: 15 jun. 2023. Disponível em: [↗](#).
- LIMA, Bruno Suracci de et al. Modelagem, Simulação e Análise de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS Fabricante EPSON. In: LIMA, Bruno Suracci de et al (Ed.). **Engenharia elétrica: Sistemas de energia elétrica e telecomunicações**. s.l.: Atena Editora, 2022. Acesso em: 30 ago. 2023. P. 108–125. DOI: [10.22533/at.ed.0022217088](https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217088). Disponível em: [↗](#).
- MELO ABREU, Leonardo de; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem cinemática de um robô modelo SCARA e desenvolvimento de aplicativo para análise gráfica. **Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**, p. 1–6, 2022. Acesso em: 18 jun. 2023. DOI: [10.29327/1152426.1-2](https://doi.org/10.29327/1152426.1-2). Disponível em: [↗](#).
- MISSIAGGIA, Leonardo. **Planejamento otimizado de trajetória para um robô cilíndrico acionado pneumaticamente**. [S.l.: s.n.], 2014. Acesso em: 22 ago. 2023. Disponível em: [↗](#).
- OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; ROSSINI, Flávio Luiz. Modeling, Simulation and Analysis of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 2, p. 375–383, 2018. DOI: [10.1109/tla.2018.8327389](https://doi.org/10.1109/tla.2018.8327389).
- OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; ROSSINI, Flávio Luiz et al. Modeling, Simulation and Implementation of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. **2020 IEEE Congresso Bienal de Argentina (ARGENCON)**, 2020. DOI: [10.1109/argencon49523.2020.9505570](https://doi.org/10.1109/argencon49523.2020.9505570).
- ROBOTICS, International Federation of. **World Robotics Report: “All-Time High” with Half a Million Robots Installed in one Year**. Acesso em: 24 jul. 2023. 2022. Disponível em: [↗](#).



ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de et al. Modelagem, Simulação, Planejamento de Trajetória e Controle Não Linear no Espaço de Juntas de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS - Epson. In: ROSSINI, Flávio Luiz et al (Ed.). **Engenharia: a máquina que constrói o futuro**. s.l.: Editora Conhecimento Livre, 2023. Acesso em: 30 ago. 2023. P. 21–41. DOI: [10.37423/230407596](https://doi.org/10.37423/230407596). Disponível em: [↗](#).

ROSSINI, Flávio Luiz; LOPES, João Marcos Pericaro et al. Modelagem, simulação e controle de trajetória do robô manipulador scara SR-6 IA através de um aplicativo matlab®. In: ROSSINI, Flávio Luiz et al (Ed.). **Ciências exatas estudos e desafios**. s.l.: Brazilian Journals Editora, 2022. Acesso em: 02 set. 2023. P. 248–278. DOI: [10.35587/brj.ed.0001995](https://doi.org/10.35587/brj.ed.0001995). Disponível em: [↗](#).

ROSSINI, Flávio Luiz; MELO ABREU, Leonardo de; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem cinemática, planejamento e geração de trajetória para um robô modelo SCARA através de aplicativo para análise gráfica. In: ROSSINI, Flávio Luiz et al (Ed.). **Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 7**. s.l.: Aya Editora, 2023. Acesso em: 02 set. 2023. P. 43–58. DOI: [10.47573/aya.5379.2.211.4](https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.211.4). Disponível em: [↗](#).

SANCHES, Hugo Eduardo; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Controlador um Manipulador Robótico. **Journal of Exact Sciences - JEC**, v. 9, n. 1, p. 5–13, 2016. Disponível em: [↗](#).

SOUZA, Eber Delgado de; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Desenvolvimento de um aplicativo no ambiente app designer do software matlab® para planejamento de trajetória do robô puma 560. In: SOUZA, Eber Delgado de; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de (Ed.). **Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica**. s.l.: Atena Editora, 2023. Acesso em: 02 set. 2023. P. 87–109. DOI: [10.22533/at.ed.4652316018](https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018). Disponível em: [↗](#).