

## Modelagem e simulação da cinemática direta do Multifuncional T3-401S Synthis Robô SCARA, fabricante Epson

### Modeling and simulation of the direct kinematics of the Multifunctional T3-401S Synthis Robot SCARA, Epson manufacturer

Gabriele Vilas Boas Takano<sup>1</sup>, Jonatas Silva Tank<sup>2</sup>, Luana Aparecida Santos da Silva<sup>3</sup>,  
Flavio Luiz Rossini<sup>4</sup>

#### RESUMO

O presente artigo propõe a modelagem e simulação da cinemática direta do robô manipulador SCARA Epson T3-401S. O sistema, composto por três eixos rotativos e um eixo prismático, é analisado em termos de orientação e posição de cada componente. Aplicou-se o método de mapeamento de sistemas de referências com o objetivo de obter a cinemática direta que possibilita a visualização de trajetórias em função de variáveis como os ângulos de rotação. O artigo obteve sucesso, com o auxílio dos *softwares* RoboAnalyzer e Matlab®.

**PALAVRAS-CHAVE:** cinemática direta; modelagem matemática; simulação computacional.

#### ABSTRACT

This article proposes the modeling and simulation of the direct kinematics of the robot manipulator SCARA Epson T3-401S. The system composed of three rotating axes, one prismatic axis is analyzed in terms of orientation, and position of each component. The reference systems mapping method was applied with the aim of obtaining the direct kinematics that allows the visualization of trajectories depending on variables such as the rotation angles. The article was successful, with the help of RoboAnalyzer software and Matlab®.

**KEYWORDS:** direct kinematics; mathematical modeling; computational simulation.

#### DESENVOLVIMENTO

É notório que nos últimos anos, a indústria de robôs vem tomando cada vez mais espaço no mercado, sobretudo industrial. Para garantir processos mais seguros e competitivos, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisa na área de robótica (ROSSINI, ABREU, OLIVEIRA, 2023), (ROSSINI et al., 2023a), (ABREU, ROSSINI, OLIVEIRA, 2022a), (SOUZA, ROSSINI, OLIVEIRA, 2023), (ROSSINI et al., 2022), (OLIVEIRA et al., 2020), (OLIVEIRA, ROSSINI, 2018), (LIMA et al., 2022), (ROSSINI et al., 2023), (SANCHES, ROSSINI, 2016). Diante disso, surge a necessidade de explorar técnicas de projeto a fim de otimizar as linhas de produção, como é o caso da cinemática direta, a qual pode ser contribuir nos seguintes segmentos: controle de posição, planejamento de movimento, testes e simulações.

O robô escolhido para as análises foi o robô manipulador SCARA Epson T3-401S (EPSON AMERICA, 2023). Compacto, boa relação custo benefício, capacidade de carga

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: gtakano@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0437290813055261.

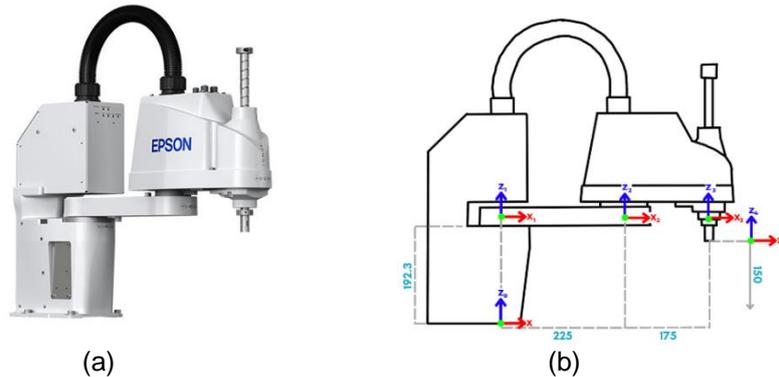
<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: jonatastank@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 8548116592364428.

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: luana.181096@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 5221180796521272.

<sup>4</sup> Docente do Departamento de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: frossini@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8616413126997528.

de 3kg, 40cm de tamanho de braço, 15cm de curso da junta prismática e atua em ambientes padrões (Standard). Devido à sua estrutura, é frequentemente usado para serviços *pick and place*, por exemplo. Na Figura 1a, ilustra-se a estrutura 3D do robô de estudo e na Figura 1b seus respectivos eixos e dimensões dadas em milímetros.

Figura 1 - Robô manipulador SCARA Epson T3-401S



Fonte: Adaptado (EPSON AMERICA, INC., 2023). (a) Estrutura 3D. (b) Eixos e dimensões (mm).

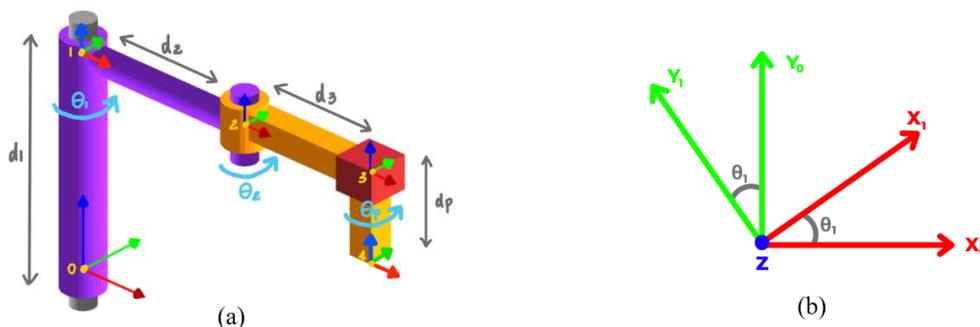
No Quadro 1 apresentam-se as especificações de comprimento e amplitude de movimento de cada eixo em relação ao seu anterior, foi possível realizar a representação e simulação através do *software* RoboAnalyzer, mostrado na Figura 2a.

Quadro 1 - Parâmetros do robô

Eixos	Comprimento	Máx. amplitude de movimento
Eixo N° 1 ( $d_1, \theta_1$ )	192,3 mm	$\pm 132^\circ$
Eixo N° 2 ( $d_2, \theta_2$ )	225 mm	$\pm 141^\circ$
Eixo N° 3 ( $d_3$ )	175 mm	-
Eixo N° 4 ( $d_p, \theta_p$ )	150 mm (máx.)	$\pm 360^\circ$

Fonte: Adaptado (EPSON AMERICA, INC., 2023).

Figura 2 - Análise da cinemática direta



Fonte: Adaptado (IIT DELHI, 2022). (a) Representação no *software* RoboAnalyzer. (b) Projeção do eixo 1 ( $X_1, Y_1$ ) sobre o eixo 0 ( $X_0, Y_0$ ) com rotação  $\theta_1$ .

A começar pela representação do eixo 1 em relação ao seu sistema de referência, nesse caso, o eixo 0, projeta-se um eixo sobre o outro e realiza-se a análise

trigonométrica para uma rotação  $\theta_1$ , conforme demonstrado na Figura 2b. Assim, encontram-se as matrizes de rotação (orientação)  ${}^0_1R$ , e a de posição do robô  ${}^0P_1$ , a partir da distância  $d_1$  no eixo z, as quais concatenadas resultam na forma da Eq. (2).

$${}^0_1R = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\text{sen}\theta_1 & 0 \\ \text{sen}\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^0P_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} {}^0_1R & {}^0P_1 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\text{sen}\theta_1 & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

De forma análoga, constituíram-se para os demais corpos móveis do robô, a seguir encontram-se as matrizes de rotação,  ${}^1_2R$ , posição,  ${}^1P_2$  e transformação,  ${}^1_2T$ .

$${}^1_2R = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\text{sen}\theta_2 & 0 \\ \text{sen}\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1P_2 = \begin{bmatrix} d_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} {}^1_2R & {}^1P_2 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\text{sen}\theta_2 & 0 & d_2 \\ \text{sen}\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$${}^2_3R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^2P_3 = \begin{bmatrix} d_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} {}^2_3R & {}^2P_3 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

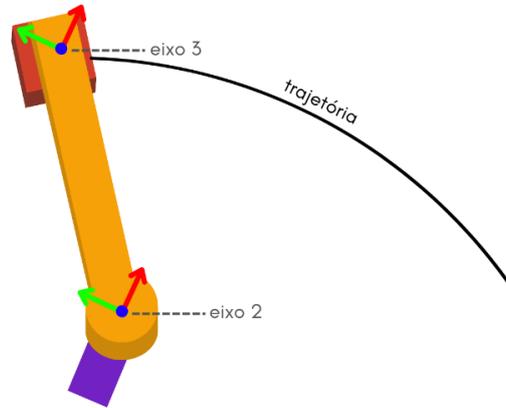
$${}^3_4R = \begin{bmatrix} \cos\theta_p & -\text{sen}\theta_p & 0 \\ \text{sen}\theta_p & \cos\theta_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^3P_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d_p \end{bmatrix} \quad (7)$$

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} {}^3_4R & {}^3P_4 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_p & -\text{sen}\theta_p & 0 & 0 \\ \text{sen}\theta_p & \cos\theta_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Para a representação do eixo 3 em relação ao eixo 2 segue-se a mesma lógica, entretanto, como pode ser observado na Figura 3, independentemente da rotação do eixo 2, o eixo 3 acompanhará igualmente, uma vez que ambos estão conectados por um eixo

fixo, logo, o ângulo de rotação entre eles será de  $0^\circ$ , resultando-se na matriz identidade  ${}^2_3R$  apresentada na Eq. (5).

Figura 3 - Representação do movimento linear do eixo 3 em relação ao eixo 2.

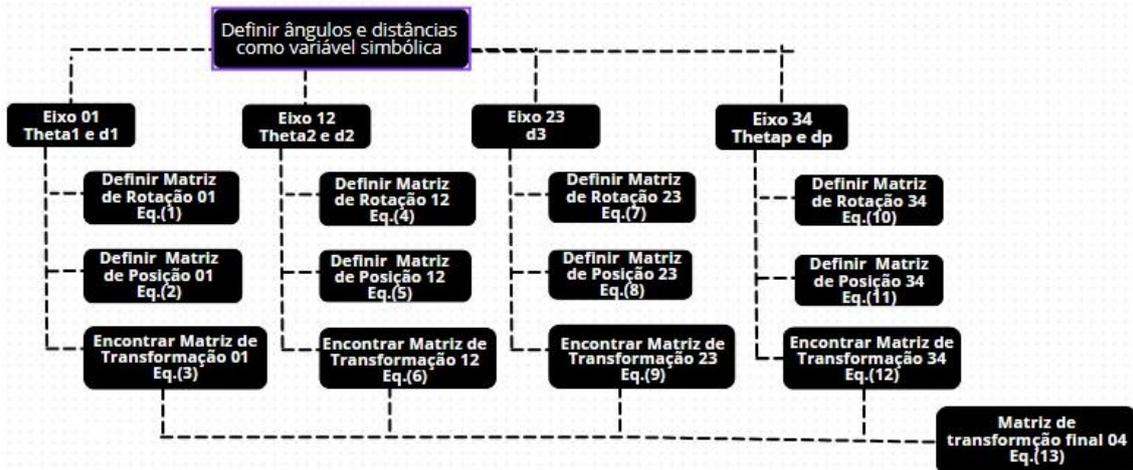


Fonte: Adaptado (IIT DELHI, 2022).

Dessa forma, obteve-se todas as matrizes necessárias para a representação da cinemática direta do robô em questão e, assim, foi possível obter a matriz de transformação geral do eixo 4 em relação ao eixo 0,  ${}^0_4T$ , através da implementação no software Matlab® conforme a Figura 4 apresentada no tópico seguinte.

## FLUXOGRAMA DO SCRIPT IMPLEMENTADO NO MATLAB®

Figura 4 - Fluxograma da estrutura de código Matlab® para cinemática direta.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

## RESULTADOS

Nas análises apresentadas, utilizou-se dos softwares RoboAnalyzer, Matlab®, bem como conceitos estudados em sala de aula, assim, foi possível obter a cinemática direta conforme Eq. (9).

$${}^4_0T = {}^0_1T * ({}^1_2T * ({}^2_3T * {}^3_4T)) \quad (9)$$

Dessa forma, da Eq. (10) a (13) é apresentado o resultado final, coluna a coluna da matriz de transformação geral, sendo  $\cos$  e  $\sin$  representados como  $c$  e  $s$ , respectivamente.

$${}^0_4T_{coluna_1} = \begin{bmatrix} c\theta_1(c\theta_2c\theta_p - s\theta_2s\theta_p) - s\theta_1(c\theta_2s\theta_p + c\theta_p s\theta_2) \\ -c\theta_1(c\theta_2s\theta_p + c\theta_p s\theta_2) - s\theta_1(c\theta_2c\theta_p - s\theta_2s\theta_p) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

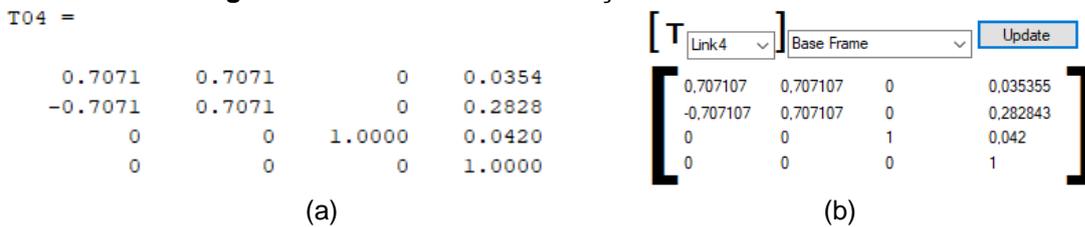
$${}^0_4T_{coluna_2} = \begin{bmatrix} c\theta_1(c\theta_2s\theta_p + c\theta_p s\theta_2) + s\theta_1(c\theta_2c\theta_p - s\theta_2s\theta_p) \\ c\theta_1(c\theta_2c\theta_p - s\theta_2s\theta_p) - s\theta_1(c\theta_2s\theta_p + c\theta_p s\theta_2) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$${}^0_4T_{coluna_3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$${}^0_4T_{coluna_4} = \begin{bmatrix} c\theta_1(d_2 + d_3c\theta_2) - d_3s\theta_1s\theta_2 \\ -s\theta_1(d_2 + d_3c\theta_2) - d_3c\theta_1s\theta_2 \\ d_1 + d_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Por fim, realizou-se simulações através do RoboAnalyzer, alteram-se os ângulos  $\theta_s$  para obter a matriz de transformação final  ${}^4_0T$  e comparam-se com o resultado da simulação matemática realizada através do Matlab®. Considerou-se para as distâncias o comprimento de cada junta (encontradas no Quadro 1) e  $\theta_1 = 45^\circ$ ,  $\theta_2 = 90^\circ$  e  $\theta_p = 180^\circ$ , valores escolhidos arbitrariamente. Assim, na Figura 5 validaram-se os resultados da matriz  ${}^4_0T$  calculada em ambos os *softwares*.

**Figura 5 – Matriz de transformação da cinemática direta**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023). (a) Matlab®. (b) RoboAnalyzer.

## CONCLUSÃO

A modelagem e simulação da cinemática direta do robô manipulador SCARA Epson T3-401S revelou-se um processo fundamental para compreender e analisar o comportamento do referido robô. A obtenção da matriz de transformação geral proporcionou a capacidade de visualizar e prever trajetórias com base em variações nos ângulos de rotação dos eixos. O sucesso alcançado nesse estudo é atribuído à aplicação

do método de mapeamento de sistemas de referência, assim como a validação por meio dos softwares RoboAnalyzer e Matlab®.

Este trabalho contribui significativamente para o campo da robótica, fornecendo uma base sólida para estudos futuros sobre o manipulador SCARA Epson T3-401S e sistemas similares. A compreensão aprofundada da cinemática direta é essencial para a implementação eficaz de estratégias de controle e programação de movimentos, aumentando assim a utilidade e eficiência desses robôs em diversas aplicações industriais.

## Agradecimentos

Agradecemos ao apoio da UTFPR, campus Campo Mourão, e ao Departamento de Engenharia Eletrônica pela oportunidade e em especial ao professor orientador que possibilitou a construção de uma base na área da robótica através desta pesquisa.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Leonardo De Melo; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem cinemática de um robô modelo SCARA e desenvolvimento de aplicativo para análise gráfica. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2022, UTFPR Santa Helena. Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Recife, Brasil: Even3, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/1152426.1-2>. Acesso em: 13 set. 2023.

EPSON AMERICA, INC. Epson, 2023. Robôs SCARA *All-In-One* Epson *Synthis* T3. Disponível em: <https://epson.com.br/Para-empresas/Rob%C3%B3tica/Rob%C3%B4s-SCARA/Rob%C3%B4s-SCARA-All-In-One-Epson-Synthis-T3/p/RT3-401SS>. Acesso em: 28 ago. 2023.

EPSON AMERICA, INC. Epson, 2023. SCARA *robot with built-in controller* T3. Disponível em: [https://download.epson.com.sg/product\\_brochures/industrial\\_robot/ESD/EPSON%20ROBOT%20T3.pdf?t=3](https://download.epson.com.sg/product_brochures/industrial_robot/ESD/EPSON%20ROBOT%20T3.pdf?t=3). Acesso em: 28 ago. 2023.

IIT DELHI. RoboAnalyzer, 2022. *Software* de simulação RoboAnalyzer. Disponível em: <http://www.roboanalyzer.com/about.html>. Acesso em: 29 ago. 2023.

LIMA, Bruno Suracci de; ROSSINI, Flávio Luiz; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Pericharo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modelagem, Simulação e Análise de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS Fabricante EPSON. In: LIMA, Bruno Suracci de et al. Engenharia elétrica: Sistemas de energia elétrica e telecomunicações. [S. l.]: Atena Editora, 2022. p. 108-125. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217088>. Acesso em: 13 set. 2023.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; ROSSINI, Flávio Luiz; SILVA, Manuel Fernando; MOREIRA, Antonio Paulo. Modeling, Simulation and Implementation of Locomotion Patterns for Hexapod

Robots. In: 2020 IEEE CONGRESO BIENAL DE ARGENTINA (ARGENCON), 2020, Resistencia, Argentina. 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON). [S. l.]: IEEE, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/argencon49523.2020.9505570>. Acesso em: 13 set. 2023.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto; ROSSINI, Flavio Luiz. Modeling, Simulation and Analysis of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 2, p. 375-383, fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tla.2018.8327389>. Acesso em: 13 set. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz; ABREU, Leonardo de Melo; 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; ABREU, Leonardo de Melo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 7. [S. l.]: Aya Editora, 2023. p. 43-58. ISBN 9786553792999. Disponível em: <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.211.4>. Acesso em: 13 set. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Pericharo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modeling, Simulation, Motion Trajectory Planning and Nonlinear Control in the Joint Space of the Manipulator Robot SCARA T3 401SS Manufacturer Epson. In: ROSSINI, Flávio Luiz et al. Development and its applications in scientific knowledge. [S. l.]: Seven Editora, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-248>. Acesso em: 13 set. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz; LOPES, João Marcos Pericharo; ABREU, Leonardo de Melo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem, simulação e controle de trajetória do robô manipulador scara sr-6 ia através de um aplicativo matlab®. In: ROSSINI, Flávio Luiz et al. Ciências exatas estudos e desafios. [S. l.]: Brazilian Journals Editora, 2022. p. 248-278. ISBN 9786581028824. Disponível em: <https://doi.org/10.35587/brj.ed.0001995>. Acesso em: 13 set. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Pericharo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. 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. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. [S. l.]: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN 9786553673106. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230407596>. Acesso em: 13 set. 2023

SANCHES, Hugo Eduardo; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Controlador um Manipulador Robótico. Journal of Exact Sciences - JES, v. 9, n. 1, p. 5-13, 8 abr. 2016. Disponível em: [https://www.mastereditora.com.br/periodico/20160728\\_073843.pdf](https://www.mastereditora.com.br/periodico/20160728_073843.pdf). Acesso em: 13 set. 2023.

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. Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. [S. l.]: Atena Editora, 2023. p. 87-109. ISBN 9786525809465. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018>. Acesso em: 13 set. 2023.