

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

MODELAGEM CINEMÁTICA E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO MANIPULADOR ROBÓTICO DOBOT MAGICIAN

RAISSA M. EVANGELISTA¹, ADILSON S. CÂNDIDO²

¹ Graduanda em Engenharia de Controle e Automação, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Bragança Paulista, raissa.e@aluno.ifsp.edu.br.

² Docente e Orientador do Projeto PIBIFSP, IFSP, Campus Bragança Paulista, candido@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.03-3 Controle de Processos Eletrônicos, Retroalimentação

RESUMO: Este artigo apresenta a modelagem cinemática, simulação e validação experimental do manipulador robótico de 4 graus de liberdade (GDL) Dobot Magician. A cinemática direta e inversa são desenvolvidas utilizando a convenção de Denavit-Hartenberg (DH). Um modelo virtual do robô é implementado no software MATLAB com o *Robotics Toolbox* para simular o posicionamento do efetuador final. A validação experimental é conduzida em bancada, medindo-se manualmente a posição real do robô com auxílio de papel milimetrado. O erro de posicionamento, quantificado pela distância Euclidiana, é analisado em duas frentes: (1) comparando os dados da simulação em MATLAB com os dados experimentais e (2) comparando os dados de posicionamento reportados pelo *software* proprietário Dobot Studio com os dados experimentais. Os resultados quantificam a discrepância entre o modelo teórico, a representação do *software* e o desempenho físico do robô, fornecendo uma análise crítica das fontes de erro e das implicações para aplicações educacionais e de pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: Dobot Magician; Cinemática de Robôs; Parâmetros de Denavit-Hartenberg; MATLAB; Validação Experimental; Erro de Posicionamento.

KINEMATIC MODELING AND EXPERIMENTAL VALIDATION OF THE DOBOT MAGICIAN ROBOTIC MANIPULATOR

ABSTRACT: This paper presents the kinematic modeling, simulation, and experimental validation of the 4-degree-of-freedom (DOF) Dobot Magician robotic manipulator. The forward and inverse kinematics are developed using the Denavit-Hartenberg (DH) convention. A virtual model of the robot is implemented in MATLAB software with the *Robotics Toolbox* to simulate the end-effector's positioning. Experimental validation is conducted on a test bench, manually measuring the robot's actual position using millimeter graph paper. The positioning error, quantified by the Euclidean distance, is analyzed on two fronts: (1) by comparing the MATLAB simulation data with the experimental data and (2) by comparing the positioning data reported by the proprietary Dobot Studio software with the experimental data. The results quantify the discrepancy between the theoretical model, the software representation, and the robot's physical performance, providing a critical analysis of error sources and their implications for educational and research applications.

KEYWORDS: Dobot Magician; Robot Kinematics; Denavit-Hartenberg Parameters; MATLAB; Experimental Validation; Positioning Error.

INTRODUÇÃO

A robótica tem testemunhado uma expansão exponencial nas últimas décadas, com os braços robóticos se tornando um pilar da automação em uma vasta gama de setores. Desde a manipulação de objetos finos em linhas de montagem industriais até aplicações em ambientes perigosos, assistência

médica e manufatura de precisão, a demanda por sistemas robóticos inteligentes e de alto desempenho continua a crescer (ISLAM et al., 2019). Dentro deste campo, uma categoria de particular interesse emergente é a dos braços robóticos de mesa.

Um exemplo proeminente nesta categoria é o Dobot Magician, um braço robótico de mesa multifuncional de baixo custo que dispõe de uma variedade de efetadores finais, como garras, ventosas, kits de impressão 3D e módulos de gravação a laser, e que se estabeleceu como uma plataforma popular em ambientes acadêmicos e de pesquisa (NUGROHO; SETIAWAN e MUNADI, 2023).

No entanto, apesar da popularidade do Dobot Magician e do seu *software* amigável, o Dobot Studio, este último muitas vezes opera como uma “caixa preta”, simplificando a interação do usuário, mas obscurecendo os princípios fundamentais de cinemática e controle (ISLAM et al., 2019). Esta falta de transparência cria uma lacuna significativa para estudantes e pesquisadores que buscam não apenas usar o robô, mas também entender, modificar e estender seu comportamento. Além disso, embora o robô seja comercializado como uma plataforma educacional precisa e confiável, estudos independentes relataram desafios práticos, incluindo instabilidade de *software*, imprecisões de posicionamento e inconsistências no sistema de coordenadas após a calibração (HAGEN e RICKE, 2023). Esta discrepância entre a promessa educacional e a realidade do desempenho prático ressalta a necessidade de uma análise rigorosa e de um modelo cinemático aberto e validado.

O problema central abordado neste trabalho é a discrepância inevitável entre o modelo matemático idealizado do Dobot Magician, a posição reportada por seu *software* de controle e a posição física real alcançada pelo efetador. Os objetivos específicos desta pesquisa são: (1) desenvolver um modelo cinemático completo, direto e inverso, para o Dobot Magician utilizando a convenção de Denavit-Hartenberg (DH); (2) implementar este modelo no ambiente de simulação MATLAB para análise de posicionamento; (3) realizar uma validação experimental do modelo e do *software* nativo através de uma metodologia de medição de baixo custo; (4) quantificar e comparar o erro de posicionamento de ambos os métodos em relação a medições físicas; e (5) discutir as fontes de erro e as implicações práticas dos resultados. A contribuição deste trabalho é fornecer um estudo de caso metodologicamente rigoroso que não apenas serve como um recurso de aprendizado para a cinemática de robôs, mas também caracteriza o desempenho de uma plataforma robótica popular, destacando a importância crítica da validação experimental para compreender as limitações entre a teoria e a prática. Ao quantificar o erro do *software* nativo, este estudo também avalia a adequação pedagógica da ferramenta, evidenciando a necessidade de abordagens baseadas em modelos explícitos para um ensino mais eficaz e preciso da robótica.

MATERIAL E MÉTODOS

O Dobot Magician é um manipulador robótico de mesa com uma arquitetura serial de 4 graus de liberdade (GDL), representado na Figura 1. O sistema, descrito na Tabela 1, é composto por uma base rotativa (limitado de -90° a $+90^\circ$), um braço traseiro (limitado de 0° a $+85^\circ$), um antebraço (limitado de -10° a $+85^\circ$), e um módulo de efetador final que também possui um eixo de rotação (limitado de -90° a $+90^\circ$). A estrutura mecânica deste robô, construída a partir de uma liga de alumínio 6061 e plástico ABS, é projetada para ser leve e compacta, tornando-a adequada para aplicações educacionais e de pesquisa em laboratório (NUGROHO; SETIAWAN e MUNADI, 2023).

Estudos anteriores sobre o Dobot Magician de HAGEN e RICKE (2023) indicam um paradoxo: o robô exibe excelente repetibilidade (a capacidade de retornar consistentemente a um mesmo ponto), mas uma precisão absoluta consideravelmente baixa. Esta baixa precisão é atribuída a um sistema de coordenadas cartesiano interno instável, que pode variar a cada ciclo de inicialização, comprometendo a capacidade do robô de atingir um ponto alvo específico de forma confiável. Esta discrepância sublinha a importância de um modelo cinemático validado, foco do presente trabalho.

Para derivar as equações cinemáticas do manipulador, foi adotada a convenção de Denavit-Hartenberg (DH). Este método é um procedimento padrão e amplamente aceito na comunidade de robótica para modelar a cinemática de manipuladores seriais de cadeia aberta. A essência da convenção DH reside na atribuição de um sistema de coordenadas a cada elo do robô, seguindo um conjunto específico de regras. Essa abordagem sistemática permite que a relação geométrica entre dois elos adjacentes seja completamente descrita por um conjunto de quatro parâmetros (NGUYEN et al., 2021): comprimento do elo (r_n), torção do elo (α_n), deslocamento do elo (d_n), e ângulo da junta (θ_n).

FIGURA 1. Estrutura, dimensões e eixos de rotações do Dobot Magician.

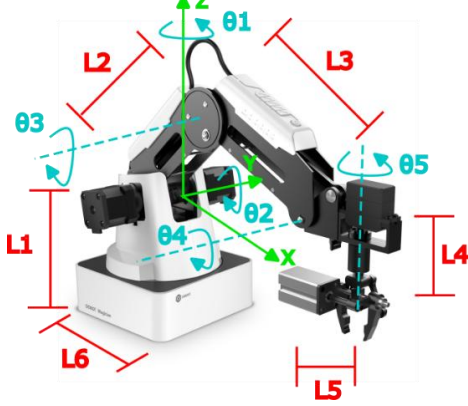


TABELA 1. Especificações técnicas do Dobot Magician.

Parâmetro	Especificação
Carga Útil	500 g
Alcance Máximo	320 mm
Repetibilidade de Posição	±0.2 mm
Altura da Base (L1)	138 mm
Comprimento do Braço Traseiro (L2)	135 mm
Comprimento do Antebraço (L3)	147 mm
Altura da Ferramenta (L4)	3 mm*
Deslocamento do Pulso (L5)	59 mm
Largura da Base (L6)	158 mm
Número de Eixos	5 **

*: não está sendo considerada a ferramenta de garra.

**: o eixo θ_4 não é controlável (GONZALEZ, 2025).

Uma análise da literatura revela a existência de múltiplas tabelas de parâmetros DH para o Dobot Magician, com variações decorrentes do uso de convenções DH clássicas ou modificadas e de diferentes escolhas na atribuição dos sistemas de coordenadas (NUGROHO; SETIAWAN e MUNADI, 2023). Essa variabilidade não representa um erro, mas sim uma consequência das diferentes abordagens de modelagem. Para garantir a consistência e reprodutibilidade deste estudo, foi adotado o conjunto de parâmetros da convenção DH clássica, que se alinha com a derivação algébrica da cinemática inversa documentada na literatura e com a estrutura física do robô. A Tabela 2 apresenta os parâmetros DH adotados neste trabalho tendo como base o sistema de coordenadas representados na Figura 2.

FIGURA 2. Sistema de referência de cada articulação do Dobot.

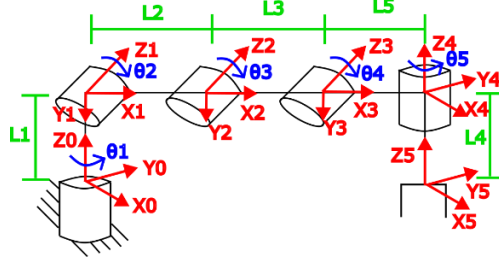


TABELA 2. Parâmetros dos elos do manipulador Dobot Magician.

Elo	r_n	α_n	d_n	θ_n
1	0	-90°	L1	θ_1
2	L2	0	0	θ_2
3	L3	0	0	θ_3
4	L5	90°	0	θ_4
5	0	0	-L4	θ_5

A transformação homogênea que relaciona o sistema de coordenadas da junta n com o sistema da junta $n-1$ é dada pela matriz:

$$T_n^{n-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \cos \alpha_n & \sin \theta_n \sin \alpha_n & r_n \cos \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \cos \alpha_n & -\cos \theta_n \sin \alpha_n & r_n \sin \theta_n \\ 0 & \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

em que R é uma submatriz que descreve a rotação e $T = [p_x \ p_y \ p_z]^T$ é uma submatriz de dimensão 3×1 que descreve a translação relacionada com a posição do efetuador.

A matriz de transformação total, T_0^5 , que descreve a posição e a orientação do efetuador final (junta $\{5\}$) em relação à base do robô (junta $\{0\}$), é obtida pelo produto das matrizes de transformação individuais:

$$T_0^5 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_4^3 \cdot T_5^4 \quad (2)$$

Desta forma, o modelo cinemático direto pode ser obtido a partir da matriz presente na eq. (2) que contém as coordenadas cartesianas $[p_x \ p_y \ p_z]$ do efetuador final na sua última coluna (ALI et al., 2019). De maneira semelhante, conforme detalhado por ISLAM et al. (2019), o modelo cinemático inverso pode ser obtido algebricamente também a partir da manipulação trigonométrica da matriz T_0^5 e esta abordagem resulta em múltiplas soluções, correspondendo a diferentes configurações do robô (por exemplo, “cotovelo para cima” e “cotovelo para baixo”). A seleção da solução apropriada é feita com base nos limites mecânicos de cada junta do robô.

O modelo cinemático foi implementado no ambiente de *software* MATLAB (versão R2025a) utilizando o *Robotics System Toolbox* (PERREIRA et al., 2024). Esta *toolbox* oferece um conjunto de

funções para a criação, simulação e análise de manipuladores robóticos (MATHWORKS, 2025). O modelo virtual do Dobot Magician foi construído utilizando a função SerialLink, que agrega uma série de objetos Link. Cada objeto Link foi definido com os parâmetros DH da Tabela 2. Para garantir que a simulação refletisse o comportamento físico do robô, os limites de movimento de cada junta foram impostos ao modelo virtual por meio da propriedade qlim. As funções fkine() e ikine() da *toolbox* foram utilizadas para calcular a cinemática direta e inversa, respectivamente, servindo como base para a simulação de posicionamento.

A validação experimental foi realizada em uma bancada de testes para comparar o desempenho do modelo simulado e do *software* nativo com o comportamento físico do robô. A configuração desta bancada de testes incluiu: 1) o manipulador robótico Dobot Magician; 2) uma superfície de trabalho plana e nivelada, sobre a qual foi fixada uma folha de papel milimetrado; 3) um suporte de caneta com uma ponta fina acoplado ao efetuador final do robô; 4) uma régua metálica milimetrada para medição manual das coordenadas; 5) um computador executando MATLAB e o *software* Dobot Studio.

Um conjunto de vinte ângulos de teste ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) foi definido dentro do espaço de trabalho do robô, distribuídos de forma a abranger diferentes configurações. O ângulo θ_5 não foi considerado tendo em vista que não impacta no posicionamento. O procedimento de aquisição de dados foi realizado em duas fases distintas para cada ponto de teste: 1) Teste do *Software* Nativo (Dobot Studio): os ângulos alvo ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) foram inseridos diretamente na interface de controle cartesiano do *software* Dobot Studio, o qual, mediante algoritmo de controle interno do *software*, apresenta uma estimativa da posição final do efetuador $P_{DOBOT} = (x_{stu}, y_{stu}, z_{stu})$. Estes ângulos foram então enviados ao robô físico que se moveu para a posição comandada. A posição real do efetuador foi marcada no papel milimetrado, e suas coordenadas $P_{REAL} = (p_x, p_y, p_z)$ foram medidas manualmente com a régua. 2) Teste do Modelo Simulado (MATLAB): os ângulos alvo ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) foram inseridos no *script* MATLAB, que utilizou o modelo de cinemática direta para calcular as coordenadas alvo $P_{MATLAB} = (x_{sim}, y_{sim}, z_{sim})$.

O erro de posicionamento no plano de trabalho 3D foi quantificado utilizando a distância Euclidiana, que mede a distância em linha reta entre o ponto alvo e o ponto medido experimentalmente. As equações (3) e (4) apresentam as respectivas formulas utilizadas para os cálculos dos erros do modelo de simulação (E_{MATLAB}) e do erro do *software* nativo (E_{DOBOT}).

$$E_{MATLAB} = \|P_{MATLAB} - P_{REAL}\|_2 = \sqrt{(x_{sim} - p_x)^2 + (y_{sim} - p_y)^2 + (z_{sim} - p_z)^2} \quad (3)$$

$$E_{DOBOT} = \|P_{DOBOT} - P_{REAL}\|_2 = \sqrt{(x_{stu} - p_x)^2 + (y_{stu} - p_y)^2 + (z_{stu} - p_z)^2} \quad (4)$$

Esses valores de erro foram então compilados e analisados estatisticamente para comparar o desempenho dos dois métodos de controle.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos a partir do protocolo experimental foram organizados para permitir uma comparação direta entre as posições alvo, as posições alcançadas via controle pelo modelo MATLAB e as posições alcançadas via controle pelo *software* Dobot Studio. A Tabela 3 resume os resultados para os vinte pontos de teste selecionados.

TABELA 3. Compilação de dados teóricos e experimentais de posicionamento do robô.

ID	JUNTAS (°)			DOBOT LAB (mm)			MATLAB (mm)			LEITURA REAL (mm)		
	θ_1	θ_2	θ_3	x_{stu}	y_{stu}	z_{stu}	x_{sim}	y_{sim}	z_{sim}	p_x	p_y	p_z
1	0	0	0	206,7	0,0	135,0	206	0	132	209	0	132
2	10	0	0	203,6	35,9	135,0	202,87	35,77	132	209	25	127
3	30	0	0	179,0	103,4	135,0	178,4	103	132	183	100	132
4	60	0	0	103,4	179,0	135,0	103	178,4	132	109	160	132
5	90	0	0	0,0	206,7	135,0	0	206	132	0	205	132
6	0	30	0	274,2	0,0	116,9	176,9	0	29,4	279	0	117
7	0	50	0	310,1	0,0	86,8	130,12	0	-24,73	314	0	85
8	0	0	30	187,0	0,0	61,5	176,9	0	29,4	184	0	55
9	0	0	60	133,2	0,0	7,7	100,4	0	-44,9	124	0	12

ID	JUNTAS (°)			DOBOT LAB (mm)			MATLAB (mm)			LEITURA REAL (mm)		
	θ_1	θ_2	θ_3	x_{stu}	y_{stu}	z_{stu}	x_{sim}	y_{sim}	z_{sim}	p_x	p_y	p_z
10	30	30	0	237,5	137,1	116,9	153,2	88,45	29,4	242	135	107
11	30	50	0	268,6	155,1	86,8	112,68	65,05	-24,73	274	153	77
12	-40	50	0	237,6	-199,3	86,8	99,67	-83,63	-24,73	244	-190	82
13	0	20	30	233,2	0,0	53,4	130,12	0	-24,73	239	0	47
14	0	50	70	213,4	0,0	-51,4	-105,6	0	-40,9	209	43	-53
15	-10	0	30	184,2	-32,5	61,5	174,21	-30,72	29,4	182	-27	55
16	-20	0	60	125,2	-45,6	7,7	94,35	-34,34	-44,9	122	-36	7
17	-30	10	40	169,5	-97,9	38,5	112,68	-65,06	-24,73	169	-90	35
18	-15	60	10	310,4	-83,2	42,0	65,33	-17,5	-59,6	319	-80	32
19	40	70	20	248,7	208,7	-4,1	-2,3	-1,93	-71	244	210	-14
20	40	20	45	160,7	134,9	22,9	64,6	54,21	-52,97	159	135	17

A partir dos dados da Tabela 3, os erros de posicionamento Euclidiano (E_{MATLAB} e E_{DOBOT}) foram calculados para cada ponto de teste. Uma análise estatística descritiva desses erros foi realizada para resumir e comparar o desempenho geral de cada método de controle. A Tabela 4 apresenta a média, o desvio padrão, o mínimo e o máximo destes erros observados.

TABELA 4. Análise estatística do erro de posicionamento Euclidiano (mm).

Método de Controle	Erro Médio	Desvio Padrão	Erro Mínimo	Erro Máximo
Software Nativo (Dobot Studio)	11,0	8,6	3,4	43,3
Modelo Simulado (MATLAB)	119,7	108,0	1,0	329,9

Os resultados presentes na Tabela 4 indicam claramente que o controle baseado no modelo cinemático desenvolvido com o *software* nativo Dobot Studio apresentou um erro de posicionamento significativamente menor e mais consistente em comparação com o MATLAB. O erro médio do modelo MATLAB foi de 119,7 mm, enquanto o do Dobot Studio foi de 11,0 mm, mais que dez vezes. Além disso, o desvio padrão do erro para o modelo do Dobot Studio (8,6 mm) foi consideravelmente menor que o do MATLAB (108,0 mm), sugerindo que o erro do Dobot Studio é mais previsível e menos variável em todo o espaço de trabalho testado. Desta forma, os resultados não corroboraram com as conclusões de HAGEN e RICKE (2023) que apontavam uma baixa precisão absoluta do robô.

No entanto, o modelo simulado do Matlab se mostrou pouco representativo e essa discrepância entre o modelo teórico e a realidade física pode ser atribuída a várias fontes. Primeiramente, o modelo DH é uma idealização que assume elos perfeitamente rígidos e juntas sem folgas ou flexibilidade elástica. Na prática, todos os componentes mecânicos possuem alguma deformação sob carga e as transmissões podem ter pequenas folgas, que se acumulam ao longo da cadeia cinemática e resultam em um erro de posicionamento no efetuator final. Em segundo lugar, o modelo depende da precisão dos parâmetros geométricos (comprimentos dos elos r_n e d_n). Pequenas imprecisões na medição desses parâmetros, decorrentes de tolerâncias de fabricação, podem se propagar através das equações cinemáticas e causar desvios significativos. A melhoria da precisão deste modelo exigiria um processo de calibração cinemática, no qual os parâmetros DH são refinados experimentalmente para minimizar o erro de posicionamento. Em terceiro lugar, conforme discutido por GONZALEZ (2025), o Dobot apresenta três conexões mecânicas internas, não descritas no modelo DH, que fazem com que o pulso do robô se mantenha nivelado na horizontal independentemente dos ângulos das juntas. Outra fonte de erro recai no processo de medição manual que utilizou régua e papel milimetrado. Esta medição está sujeita a erros de paralaxe, resolução limitada do instrumento e erro humano na marcação e leitura dos pontos.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou com sucesso a modelagem cinemática, a simulação em MATLAB e a validação experimental do manipulador robótico Dobot Magician. O modelo cinemático, baseado na convenção de Denavit-Hartenberg, foi derivado e implementado, permitindo a simulação do

posicionamento do robô. A validação experimental quantificou o erro de posicionamento para dois métodos de controle: um baseado no modelo cinemático desenvolvido e outro utilizando o *software* nativo Dobot Studio.

Os principais resultados demonstram que o controle baseado no modelo cinemático explícito em MATLAB alcançou um erro de posicionamento médio de 119,7 mm, muito superior ao erro médio de 11,0 mm obtido com o *software* Dobot Studio que se mostrou mais consistente e previsível. Conclui-se que o modelo cinemático DH não fornece uma representação funcional da cinemática do Dobot Magician, cujas discrepâncias com a realidade são atribuíveis, dentre outros motivos, a dinâmicas não modeladas e a imprecisões nos parâmetros geométricos.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação de uma rotina de calibração cinemática para refinar os parâmetros DH do modelo, o que poderia reduzir o erro de posicionamento. A utilização de sistemas de medição de maior precisão, como técnicas baseadas em visão computacional, permitiria uma validação mais rigorosa e a quantificação da incerteza de medição. Adicionalmente, o desenvolvimento e a validação de um modelo dinâmico, que incorpore os mecanismos internos, massas, inércias e torques, representariam o próximo passo para um controle mais avançado do manipulador.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

A autora R.M.E procedeu com a realização das atividades experimentais, redação do trabalho, curadoria e análise dos dados, enquanto que o autor A.S.C contribuiu com a aquisição de financiamento, administração do projeto, validação dos dados e revisão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSP), pela bolsa fornecida através de seu Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica (PIBIFSP), e a todos que participaram, direta ou indiretamente deste processo.

REFERÊNCIAS

ALI, U. et al. Kinematics Analysis and Verification of Six-DoF Humanoid Robotic Manipulator. **North American Academic Research**, v. 2, n. 11, p. 362-372, nov. 2019, doi: 10.5281/zenodo.3554579.

GONZALEZ, F. G. A Hybrid Physical-Virtual Educational Robotic Arm. **ASEE Computers in Education**, v. 14, n. 3, p. 1-14, 2025.

HAGEN, B.; RICKE, L. Effectiveness and Usability of the Dobot Magician Robotic Arm, **SACAD: Scholarly Activities**, n. 36. 2023. DOI: 10.58809/RXHD8373. Disponível em: <<https://scholars.fhsu.edu/sacad/vol2023/iss2023/36>>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ISLAM, M. R. et al. Cartesian trajectory based control of dobot robot. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT**, 2019; Toronto, Canada. Proceedings [...]. USA: IEOM Society International, 2019. p. 1507-1517.

MATHWORKS. **Manipulator Modeling**. 2025. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/robotics/manipulator-modeling.html>>. Acesso em: 15 ago. 2025.

NGUYEN, T. Q. et al. Kinematics, dynamics and control design for a 4-DOF robotic manipulator. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCE AND ENGINEERING (ICSSE)**, 2021; Ho Chi Minh City, Vietnam. Proceedings [...]. USA: IEEE, 2021. p. 138-144.

NUGROHO, E. A.; SETIAWAN, J. D.; MUNADI, M. Handling four DOF robot to move objects based on color and weight using fuzzy logic control. **Journal of Robotics and Control (JRC)**, v. 4, n. 6, p. 769-779, 2023.

PERREIRA, A. R. R. et al. Robot manipulator kinematics modeling with Matlab. In: **WORKSHOP DE MICRO-ONDAS**, 2024, Cubatão. Anais [...]. Zenodo. 2024. 1(8), p. 1–4. Disponível em: <<https://zenodo.org/records/15454128>>. Acesso em: 15 ago. 2025.