

# Sistema de Imitação via Visão Computacional aplicado a um Braço Robótico de baixo custo para fins educacionais

José B. K. B. Fontes<sup>2</sup>, João P. S. S. Santos<sup>2</sup>, William S. Mota<sup>2</sup>,  
Laís S. Santos<sup>1</sup>, Diêgo S. Gama<sup>1</sup>, Thiago D. Santos<sup>1</sup>,  
Samyr C. Carneiro<sup>1</sup>, Phillipe C. Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS)  
Estância, SE, Brazil

{samyrcunha, laissilva200024, leweubaracaju, thiagooss001,  
phillipe.santos}@gmail.com, @ifs.edu.br

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS)  
Lagarto, SE, Brazil

{brbrenokayki, pedrosant1905, motasantos123456789}@gmail.com

**Abstract.** *Hands-on and playful activities can enhance the learning of mathematics, physics, and programming, and robotic systems may increase student engagement through human-robot interaction. However, many educational robotics platforms rely on proprietary technologies, limiting their adoption in educational environments. This work presents a low-cost platform composed of a 3D-printed robotic arm controlled by Arduino, integrated with a Kinect sensor and a computer vision system for real-time joint tracking. The detected positions are used to calculate arm angles and generate commands for the robotic manipulator, enabling gestural imitation. Results show that the system successfully reproduced gestures from different users, indicating its potential for teaching robotics, geometry, and programming.*

**Resumo.** *Atividades lúdicas e práticas favorecem a aprendizagem de matemática, física e programação, e sistemas robóticos podem ampliar o engajamento estudantil por meio da interação humano-robô. Entretanto, muitas plataformas de robótica educacional dependem de tecnologias proprietárias, dificultando sua adoção em ambientes educacionais. Este trabalho apresenta uma plataforma de baixo custo composta por um braço robótico impresso em 3D e controlado por Arduino, integrado a um sensor Kinect e a um sistema de visão computacional para rastreamento de articulações em tempo real. As posições detectadas são usadas para calcular ângulos do braço e gerar comandos ao manipulador, permitindo a imitação gestual. Os resultados demonstram que o sistema reproduziu com sucesso gestos de diferentes usuários, indicando seu potencial para o ensino de robótica, geometria e programação.*

## 1. Introdução

A robótica educacional favorece a aprendizagem ativa e a integração interdisciplinar entre matemática, física e programação [Wang et al. 2024], com evidências de impacto positivo no desempenho e na motivação de estudantes em contextos K-16 [Luo et al. 2025]. No

entanto, a adoção de manipuladores robóticos em larga escala é limitada pelo alto custo dos kits comerciais. A impressão 3D e iniciativas *maker* têm viabilizado plataformas acessíveis [Santos et al. 2023], alinhadas a abordagens construtivistas que enfatizam a criação de artefatos físicos como meio de aprendizagem [Alam and Mohanty 2024], mas muitas carecem de interfaces intuitivas, exigindo programação prévia ou controles remotos.

Sensores RGB-D têm sido amplamente explorados para reconhecimento de poses humanas em tempo real e controle gestual de manipuladores robóticos [Qi et al. 2024, Liu et al. 2024]. Técnicas de visão computacional também têm sido aplicadas em projetos de robótica de para fins diversos, como o uso da visão computacional para o controle de um drone através da detecção de gestos [Santos et al. 2025]. Contudo, sua aplicação em plataformas acessíveis voltadas ao ensino de STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) ainda é limitada. Interfaces gestuais bem projetadas reduzem a distância entre intenção e ação do sistema [Norman 2022] e têm se mostrado eficazes para ampliar o engajamento em contextos educacionais [Marat et al. 2026]. Nesse contexto, este trabalho propõe um sistema de interação humano-computador (IHC) que controla um braço robótico de baixo custo por imitação de gestos, criando um contexto didático para o ensino de trigonometria e geometria ao conectar conceitos abstratos à experiência corporal dos estudantes.

## 2. Sistema de Visão Computacional e Controle Gestual

A abordagem proposta mapeia os movimentos do braço humano para um manipulador robótico em tempo real. Para isso, foi utilizado o braço robótico disponibilizado em [Fabri Creator 2023], completamente impresso em 3D e montado para os experimentos, com seis graus de liberdade, dos quais três juntas principais foram consideradas: base, ombro e cotovelo.

O sistema de captura de movimento emprega uma câmera Kinect, equipada com sensor de profundidade, capaz de estimar a posição tridimensional das articulações do corpo humano em tempo real. Abordagem similar foi adotada por [Liu et al. 2024], que utilizaram o Kinect combinado com filtro de Kalman para suavização do sinal no controle de um manipulador robótico, evidenciando a adequação dessa tecnologia para sistemas de imitação. A partir das coordenadas detectadas, vetores são definidos entre as articulações para calcular os ângulos correspondentes aos movimentos do usuário.

O ângulo da articulação do cotovelo é obtido a partir das posições tridimensionais de três pontos: ombro  $A$ , cotovelo  $B$  e punho  $C$ , definindo os vetores do braço e do antebraço:

$$\vec{u} = A - B, \quad \vec{v} = C - B$$

onde  $\vec{u}$  representa o segmento cotovelo–ombro e  $\vec{v}$  o segmento cotovelo–punho. O ângulo entre esses vetores é calculado pelo produto escalar:

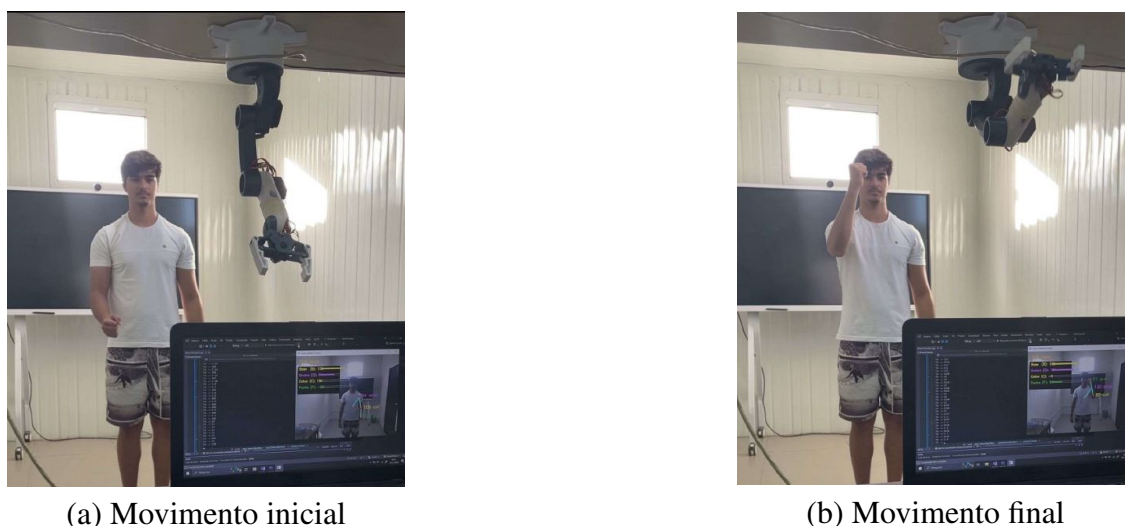
$$\theta = \arccos\left(\frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{\|\vec{u}\| \|\vec{v}\|}\right) \quad (1)$$

Para o ombro, o movimento tridimensional é decomposto em duas componentes: o deslocamento lateral — rotação no plano horizontal — controla a base do robô, enquanto

a elevação vertical é mapeada para a articulação do ombro do manipulador. Os ângulos calculados são transmitidos via comunicação serial ao Arduino Uno, cujo *firmware* em C++ gera sinais de modulação por largura de pulso (PWM) para acionar os servomotores de cada junta. Ao movimentar o próprio corpo, o estudante percebe como a Equação 1 determina diretamente a posição de uma junta do robô, tornando tangíveis conceitos abstratos como produto escalar, norma vetorial, arco-cosseno, Teorema de Pitágoras, seno e cosseno [Alam and Mohanty 2024, Marat et al. 2026, Rahman et al. 2024]. Essa interação corporal abre espaço para atividades práticas em que os alunos resolvem problemas de movimentação do robô, integrando a teoria de forma lúdica.

### 3. Resultados e Discussão

O sistema foi implementado e testado quanto à sua capacidade de reproduzir, no braço robótico, os movimentos executados pelo usuário. O robô imitou corretamente os movimentos do braço humano. Um exemplo dessa interação pode ser observado na Figura 1, na qual o manipulador reproduz o movimento do usuário com o esqueleto rastreado sobreposto à imagem.



**Figura 1. Imitação do movimento do operador pelo manipulador robótico.**

Fonte: Os autores.

Para avaliar a fidelidade do mapeamento articular, foram conduzidos testes de precisão na articulação do cotovelo. O operador posicionou o braço em ângulos de referência, os quais foram medidos sobre a imagem capturada utilizando o *Online Protractor*, ferramenta de medição angular sobre imagens. Os resultados são apresentados na Figura 2 e sintetizados na Tabela 1.

**Tabela 1. Resultados dos testes de precisão angular na articulação do cotovelo.**

Ângulo de referência	Ângulo medido pelo sistema	Erro absoluto
45°	44,6°	0,4°
90°	89,5°	0,5°

Os resultados indicam erro angular inferior a 1°, adequado para aplicações interativas e educacionais, e consistente com sistemas similares baseados em Kinect



(a) Medido na imagem:  $45,0^\circ$  — sistema:  $44,6^\circ$  (b) Medido na imagem:  $90,0^\circ$  — sistema:  $89,5^\circ$

**Figura 2. Validação do ângulo do cotovelo com *Online Protractor*.**

Fonte: Os autores.

[Liu et al. 2024]. Cabe destacar que pequenas variações são inerentes ao rastreamento: o Kinect estima a posição das articulações por meio de modelos probabilísticos de esqueleto, de modo que a coordenada capturada pode oscilar levemente entre quadros, influenciando diretamente o cálculo vetorial de  $\theta$ . Contudo, como o sistema opera com supervisão contínua do usuário, o operador realiza a correção visual do movimento em tempo real, tornando essa margem de erro irrelevante para a proposta de imitação e demonstração didática. O sistema foi ainda apresentado em uma feira de ciências, conforme ilustrado na Figura 3, com grande engajamento dos participantes ao explorar conceitos matemáticos de forma prática por meio do robô.



**Figura 3. Apresentação do sistema na feira de ciências.**

Fonte: Os autores.

#### 4. Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a validação preliminar de um sistema de interação gestual baseado em visão computacional para controle de um braço robótico de baixo custo com fins educacionais. As principais contribuições são: (i) integração de uma *pipeline* completa e reproduzível de captura de movimento, cálculo vetorial de ângulos e controle serial de servomotores com componentes acessíveis; (ii) mapeamento cinemático do ombro humano em dois graus de liberdade, decompondo o movimento tridimensional em rotação de base e elevação; e (iii) demonstração do potencial didático para o ensino de trigonometria e geometria por interação corporal [Alam and Mohanty 2024, Marat et al. 2026].

Os resultados evidenciaram erros angulares inferiores a 1° [Liu et al. 2024, Qi et al. 2024] e operação consistente com diferentes usuários sem calibração individual. Entre as limitações, destacam-se perdas de rastreamento do Kinect em oclusão parcial e sob iluminação adversa, além da disponibilidade comercial decrescente do sensor. O impacto educacional, embora plausível [Wang et al. 2024, Luo et al. 2025], ainda carece de evidências empíricas formais. Como trabalhos futuros, planeja-se: (i) estudo experimental com protocolo formal e maior número de participantes; (ii) avaliação de usabilidade via SUS e estudo pedagógico com testes pré/pós; e (iii) investigação de sensores alternativos, como câmeras RGB com MediaPipe/OpenPose e Intel RealSense.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da FAPITEC/SE, da SEDETEC/SE e do Instituto Federal de Sergipe.

## Referências

- Alam, A. and Mohanty, A. (2024). Integrated constructive robotics in education (ICRE) model: a paradigmatic framework for transformative learning in educational ecosystem. *Cogent Education*, 11(1):2324487.
- Fabri Creator (2023). Braço robótico arduino DIY com controle de smartphone 2023. Cults3D. Disponível em: <https://cults3d.com/pt/modelo-3d/gadget/braço-robótico-arduino-diy-com-controle-de-smartphone-2023>. Acesso em: 2024.
- Liu, X., Ren, S., Wang, G., Ma, L., and Sun, Y. (2024). Design and research of an automatic grasping system for a robot arm based on visual image capture technology. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 10:1364394.
- Luo, H. et al. (2025). Global effects of robot-based education on academic achievements, computation, motivation, and performance. *Humanities and Social Sciences Communications*.
- Marat, S. et al. (2026). A systematic literature review and mapping of human-robot interaction in educational contexts. *Humanities and Social Sciences Communications*.
- Norman, D. A. (2022). *The Design of Everyday Things*. Basic Books, revised and expanded edition.
- Qi, J., Ma, L., Cui, Z., and Yu, Y. (2024). Computer vision-based hand gesture recognition for human-robot interaction: a review. *Complex & Intelligent Systems*, 10:1581–1606.
- Santos, J., Cruz, B., Andrade, M., Prudente, F., Sousa, S., and Santos, P. (2025). Sistema de detecção de gestos para controle de drones. In *Anais do LII Seminário Integrado de Software e Hardware*, pages 215–226, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Santos, M. N., Souza, J. V., Kamarry, S., Santos, P., and Prudente, F. (2023). A low-cost and open-source robotic fish using 3D printing technology. In *OCEANS 2023 – LIMERICK*, pages 1–6. IEEE.
- Wang, X. et al. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: a multi-level meta-analysis. *International Journal of STEM Education*.