

CAPÍTULO 3

A ROBÓTICA IMPULSIONADA POR AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA EDUCAÇÃO E NA INDÚSTRIA, DESTAQUE PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Data de aceite: 01/04/2024

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP. Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE) – Cornélio
Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

João Maurício Hypólito

Departamento Computação-FATEC
Ourinhos-SP
<http://lattes.cnpq.br/5499911577564060>

Iago Maran Machado

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP. Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/4733940365047328>

Miguel Angel Chincaro Bernuy

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE). Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0848702819711420>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE). Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São Joao Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação
– UFSJ. São Joao Del Rei - PR
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton. Londrina - PR
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves

Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica (DAMEC). Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>

Marcio Jacometti

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento acadêmico das ciências humanas e sociais aplicadas (DACHS)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8509336134084374>

Fabio Nogueira de Queiroz

Centro Paula Souza
Departamento Computação-FATEC Ourinhos. Ourinhos – SP
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE). Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

Edinei Aparecido Furquim dos Santos

Governo do Paraná Secretaria de estado da Fazenda. Maringá – PR
<http://lattes.cnpq.br/8706436030621473>

Luan Ferreira Pereira

Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU)
Graduando Engenharia da Computação
Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/3522120783640199>

André Luís Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE). Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

Henrique Cavalieri Agonilha

Graduando na Universidade Filadélfia (Unifil) . Londrina - PR
<http://lattes.cnpq.br/9845468923141329>

Henrique Franciz Ximenes de Andrade Bilbao

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão-PR
<https://www.linkedin.com/in/henrique-ximenes-14512b113/>

RESUMO: Este estudo destaca os avanços tecnológicos, especialmente na robótica colaborativa, em setores como a educação, indústria automobilística e a construção civil. Em particular, explora a aplicação de *Cobots* (robôs colaborativos) como o Kuka na indústria e o SAM na construção civil. A integração desses robôs tem demonstrado maximizar a produtividade e eficiência, combinando a precisão e velocidade da robótica com a habilidade e capacidade humanas. O artigo realiza uma análise simplificada sobre como essa tecnologia impacta a produção, os trabalhadores, a economia, a segurança e a praticidade. Além disso, conclui identificando possibilidades para futuras pesquisas nesta área em constante evolução.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica autônoma na Indústria, Robótica na Educação, Construção Civil, Robótica Colaborativa.

TECHNOLOGICAL ADVANCES BOOST ROBOTICS APPLICABILITY IN EDUCATION INDUSTRY AND CIVIL ENGINEERING

ABSTRACT: This work highlights technological advancements, particularly in collaborative robotics, in sectors such as the automotive education industry and construction. Specifically, it addresses the application of *Cobots* (collaborative robots) such as Kuka in the industry and SAM in construction. The use of these robots maximizes productivity and efficiency by combining the precision and speed of robotics with human skill and capability. Collaborative robotics has applicability in a variety of sectors beyond those mentioned in. The article discusses and provides a simplified analysis of how this technology impacts production, workers, the economy, safety, and practicality. It concludes and addresses possibilities for future research in the field.

KEYWORDS: Autonomous Robotics in Industry, Robotics in Education, Civil Construction, Collaborative Robotics.

INTRODUÇÃO

O objetivo deste estudo é fornecer exemplos de aplicações de robôs colaborativos, também conhecidos como *Cobots*, em diversas esferas, incluindo a construção civil e a educação. Nota-se que os *Cobots* têm se destacado pela combinação da capacidade de improvisação e raciocínio humano com a precisão e repetibilidade dos robôs, resultando em avanços significativos.

Na área educacional, os robôs desempenham um papel fundamental como ferramentas para motivar e desenvolver o raciocínio lógico, especialmente em níveis mais básicos de ensino, como é o caso do software *Scratch*, por exemplo.

Destaca-se ainda que na indústria, a robótica, em especial a autônoma, figura como um dos pilares da Indústria 4.0, juntamente com técnicas de inteligência artificial e realidade aumentada, entre outras.

Assim, a motivação para esta pesquisa está intimamente ligada ao objetivo de explorar e compreender o crescente impacto dessas instâncias de robótica nos últimos anos.

DESENVOLVIMENTO

Esta seção discorre duas áreas de aplicação dos robôs colaborativos. Entretanto ressalta-se que outras áreas como a indústria farmacêutica utilizam esse importante e relativamente recente conceito da robótica.

Robôs utilizados na indústria

De um modo especial, a robótica colaborativa, uma das modalidades do emprego de robôs nas indústrias, conceito relativamente recente envolve a interação e cooperação entre humanos e robôs em ambientes compartilhados de trabalho. Para garantir a segurança e eficiência dessa colaboração, é importante seguir uma série de normas e diretrizes. Algumas das principais normas e diretrizes incluem:

1. Avaliação de risco: Antes de implantar um robô colaborativo, é fundamental realizar uma avaliação de risco completa, identificando possíveis perigos e definindo medidas de mitigação.
2. Conformidade com normas internacionais: Siga as normas internacionais de segurança em robótica colaborativa, a serem discutidas no texto.
3. Treinamento e qualificação: Certifique-se de que todos os trabalhadores envolvidos na operação de robôs colaborativos tenham recebido treinamento adequado e estejam qualificados para realizar suas tarefas.
4. Design ergonômico: O design do ambiente de trabalho deve ser ergonômico e seguro para os trabalhadores humanos e robôs, levando em consideração aspectos como espaço, iluminação e disposição de equipamentos.
5. Delimitação de áreas de trabalho: Estabeleça áreas de trabalho claramente delimitadas para humanos e robôs, usando barreiras físicas, sensores de segurança ou outras tecnologias, se necessário.
6. Monitoramento e supervisão: Implemente sistemas de monitoramento e supervisão para garantir a segurança e eficiência das operações, incluindo câmeras, sensores e sistemas de comunicação.
7. Parada de emergência: Todos os robôs colaborativos devem ser equipados com sistemas de parada de emergência que permitam aos trabalhadores humanos interromper as operações do robô em caso de perigo.
8. Manutenção e inspeção: Realize manutenção e inspeção periódicas dos robôs colaborativos e de seus sistemas associados para garantir que estejam funcionando corretamente e de forma segura.
9. Revisão e atualização: Revise regularmente as normas, diretrizes e procedimentos relacionados à robótica colaborativa e faça as atualizações necessárias para se adaptar às mudanças tecnológicas e às melhores práticas do setor.
10. Cultura de segurança: Incentive uma cultura de segurança entre os trabalhadores,

promovendo a conscientização sobre os riscos associados à robótica colaborativa e incentivando a comunicação aberta e o compartilhamento de preocupações.

Os robôs colaborativos, ou *Cobots*, cujos conceitos e fundamentos são empregados nos dois exemplos citados neste trabalho, são projetados para trabalhar em conjunto com humanos em ambientes compartilhados, buscando interações seguras e eficientes (MENDONÇA et al., 2022). Eles são desenvolvidos com foco na segurança, flexibilidade e facilidade de programação, utilizando técnicas inteligentes para aprimorar sua interação com os humanos. Os *Cobots* são equipados com sensores avançados, como sensores de proximidade, força e visão, que permitem detectar a presença de seres humanos no ambiente, evitando colisões e garantindo a segurança durante a colaboração usando sensores algoritmos entre outras técnicas para garantir a integridade humana. Neste contexto pode-se citar o trabalho de Hassan e Oddo (2022) afirmam que sensores táteis para o reconhecimento de materiais em robôs sociais e colaborativos são brevemente revisados.

Quanto às normas, destacam-se a ISO 10218, que estabelece requisitos de segurança para robôs industriais, abordando princípios gerais, requisitos de projeto, integração e diretrizes para avaliação de riscos, e a ISO/TS 15066, que fornece orientações para a interação física entre humanos e robôs, estabelecendo limites para as forças e pressões aplicadas pelos *Cobots* durante a interação com seres humanos, garantindo a segurança dos operadores (MENDONÇA, SILVA, ALMEIDA, 2022).

Outra norma relevante é a ANSI/RIA R15.06, específica para a segurança de robôs industriais, que também aborda requisitos e diretrizes relacionados à colaboração entre humanos e robôs. Essa norma engloba aspectos como design, integração, programação e operação segura dos robôs (ANSI/RIA, 2012).

Robôs utilizados na construção civil

O texto destaca a introdução de robôs na construção civil, apontando seu potencial para aumentar a eficiência, reduzir custos e melhorar a segurança dos trabalhadores, conforme mencionado por Oliveira e Nascimento (2020). Também ressalta a contribuição dos robôs na superação da escassez de mão de obra na indústria da construção, como destacado por Sousa et al. (2021). Um exemplo notável é o robô SAM, desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), que executa tarefas de alvenaria de forma eficiente e precisa. O SAM utiliza sistemas inteligentes, como visão computacional para detectar tijolos e entender o ambiente, planejamento de trajetória para determinar a melhor rota, controle de movimento para movimentos precisos e aprendizado de máquina para melhorar seu desempenho ao longo do tempo. A figura 2 mostra o robô.

O robô SAM, desenvolvido pelo MIT, é um exemplo notável de colaboração entre tecnologia e trabalhadores humanos na indústria da construção. Sua capacidade de entender e responder a comandos humanos o torna uma ferramenta valiosa para equipes de construção. Embora demonstre como a tecnologia pode melhorar a eficiência e a produtividade em ambientes de trabalho manuais, é importante considerar as limitações e desafios associados ao seu uso, como destacado por diversos estudos. Isso inclui a necessidade de habilidades técnicas avançadas para programação e manutenção, além da importância da gestão cuidadosa para garantir a segurança e a harmonia na interação entre robôs e trabalhadores humanos.

Já o Hadrian X é a primeira máquina robótica móvel de colocação de blocos do mundo, capaz de trabalhar com segurança ao ar livre em ambientes não controlados com velocidade e precisão



Figura 2. Robô SAM-MIT.

Fonte: Disponível em: <https://www.mit.edu/>.

Hadrian X é a primeira máquina robótica móvel de colocação de blocos do mundo, capaz de trabalhar com segurança ao ar livre em ambientes não controlados com velocidade e precisão. Este robô inovador da empresa australiana *Fastbrick Robotics* (FBR) está mudando a forma como as casas e outras estruturas são construídas.



Figura 3. Robô Hadrian X.

HADRIAN X: O ROBÔ AUTÔNOMO QUE REVOLUCIONA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Características e Capacidades

Construção autônoma: O Hadrian X utiliza um modelo CAD 3D para construir estruturas de blocos de concreto com alta precisão, sem a necessidade de mão de obra humana para a colocação dos blocos.

Eficiência e rapidez: O robô pode colocar até 1.000 blocos ou até tijolos por hora, o que equivale a construir as paredes de uma casa em apenas um dia.

Segurança: O Hadrian X é equipado com sensores e sistemas de segurança que garantem sua operação segura em ambientes de trabalho.

Flexibilidade: O robô pode ser adaptado para trabalhar com diferentes tipos de blocos e materiais de construção.

Sustentabilidade: O Hadrian X gera menos resíduos do que os métodos de construção tradicionais, contribuindo para um futuro mais sustentável.

Aplicações e Impactos

Construção de casas: O Hadrian X tem o potencial de revolucionar a indústria da construção civil, reduzindo custos e prazos de entrega de casas.

Edificações comerciais: O robô pode ser utilizado para construir edifícios comerciais, como escritórios, escolas e hospitais.

Infraestrutura: O Hadrian X pode ser aplicado na construção de pontes, muros de contenção e outras obras de infraestrutura.

Áreas remotas: O robô pode ser usado para construir em áreas remotas e de difícil acesso, onde a mão de obra humana é escassa.

Hadrian X: O Robô Autônomo que Revoluciona a Construção Civil

Hadrian X é a primeira máquina robótica móvel de colocação de blocos do mundo, capaz de trabalhar com segurança ao ar livre em ambientes não controlados com velocidade e precisão. Este robô inovador da empresa australiana *Fastbrick Robotics* (FBR) está mudando a forma como as casas e outras estruturas são construídas.

Eficiência e rapidez: O robô pode colocar até 1.000 blocos ou até tijolos por hora, o que equivale a construir as paredes de uma casa em apenas um dia.

Segurança: O Hadrian X é equipado com sensores e sistemas de segurança que garantem sua operação segura em ambientes de trabalho.

Flexibilidade: O robô pode ser adaptado para trabalhar com diferentes tipos de blocos e materiais de construção.

Sustentabilidade: O Hadrian X gera menos resíduos do que os métodos de construção tradicionais, contribuindo para um futuro mais sustentável.

Aplicações e Impactos

Construção de casas: O Hadrian X tem o potencial de revolucionar a indústria da construção civil, reduzindo custos e prazos de entrega de casas.

Edificações comerciais: O robô pode ser utilizado para construir edifícios comerciais, como escritórios, escolas e hospitais.

Infraestrutura: O Hadrian X pode ser aplicado na construção de pontes, muros de contenção e outras obras de infraestrutura.

Áreas remotas: O robô pode ser usado para construir em áreas remotas e de difícil acesso, onde a mão de obra humana é escassa.

O futuro da construção

O Hadrian X representa um grande salto tecnológico na indústria da construção civil. Com sua capacidade de construir de forma autônoma, eficiente e segura, este robô tem o potencial de revolucionar o setor e contribuir para a construção de um futuro mais sustentável.

Robótica na educação

A robótica na educação é uma ferramenta poderosa para engajar os alunos e desenvolver habilidades como resolução de problemas, pensamento crítico, colaboração e criatividade. Os kits de robótica educacional, como LEGO Mindstorms e VEX Robotics, permitem que os alunos projetem e programem robôs para realizar diversas tarefas, promovendo o aprendizado prático de matemática, ciências e tecnologia. Além disso, a robótica pode ser integrada em disciplinas tradicionais, como matemática e ciências, e usada para ensinar programação por meio de plataformas amigáveis como Scratch, como mostra figura 4, e Blockly. (RESNICK et al, 2009).

Em resumo, a robótica na educação proporciona uma abordagem prática e envolvente para o ensino, desde o básico até de conceitos STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática), preparando os alunos para os desafios do século XXI e inspirando futuros engenheiros, cientistas e inovadores.

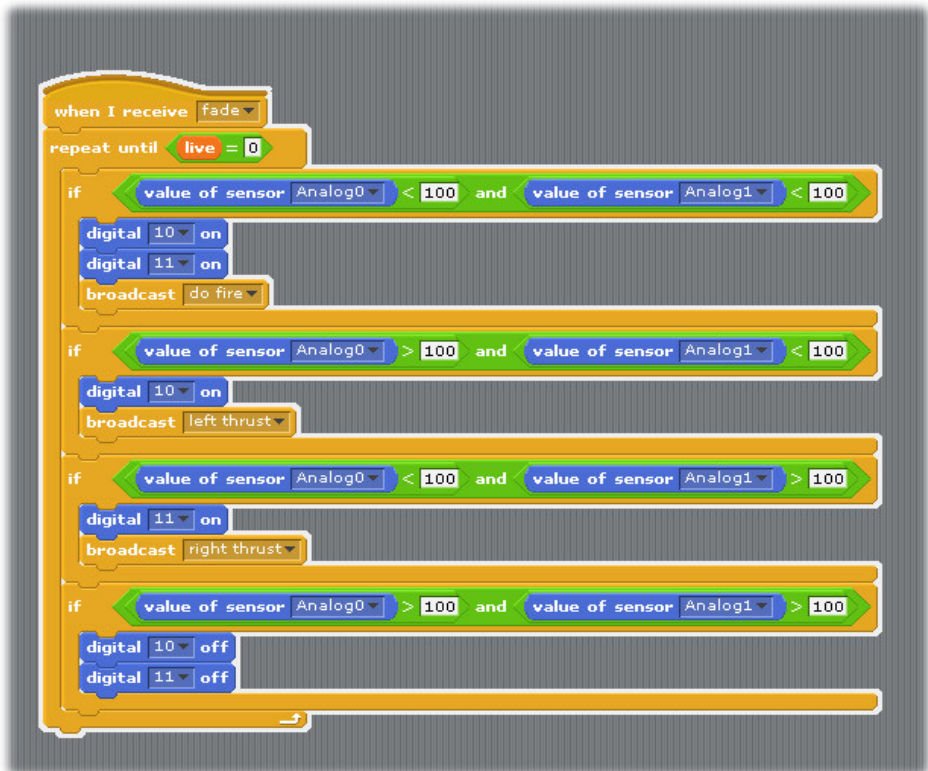


Figura 4. Exemplo de aplicação do Scratch.

RESULTADOS

A inclusão de robôs na educação, indústria e construção civil tem sido um avanço significativo na eficiência e produtividade desses setores. A automação e a inteligência artificial têm permitido melhorias consideráveis na precisão, velocidade e segurança das atividades realizadas (SILVA et al., 2020). Vamos analisar o impacto dessas tecnologias em cada setor.

Robôs colaborativos (*Cobots*) trabalham lado a lado com humanos em linhas de produção, aumentando a eficiência e reduzindo erros (SOUZA & RODRIGUES, 2020). A automação também permite uma maior flexibilidade na produção, possibilitando a fabricação de produtos personalizados em larga escala (MIRANDA & LIMA, 2018). Além disso, o uso de robôs na indústria tem contribuído para a redução de acidentes de trabalho e melhoria das condições laborais (BARBOSA & GONÇALVES, 2021).

A construção civil também tem se beneficiado da inclusão de robôs e tecnologias de automação (SANTANA & SILVEIRA, 2019). Robôs têm sido utilizados em tarefas como levantamento topográfico, escavação, transporte de materiais e até mesmo na impressão 3D de estruturas e edificações (AZEVEDO & CASTRO, 2020). Essas inovações resultam em projetos mais precisos, redução de custos e diminuição do tempo necessário para a conclusão das obras (CARVALHO & FONSECA, 2021). Além disso, o uso de robôs na construção civil pode reduzir os riscos associados ao trabalho em altura ou em condições perigosas, melhorando a segurança dos trabalhadores (VIEIRA & ALMEIDA, 2019).

No que concerne à quantificação do benefício do uso deste *Cobot*, a tarefa não é trivial, pois depende diretamente do desempenho humano. Segundo o MIT, um profissional habilidoso é capaz de assentar 400 tijolos, enquanto o SAM pode chegar a 2000. Isso sugere um aumento de produtividade de pelo menos cinco vezes, além de vantagens adicionais, como a precisão.

A inclusão de robôs na educação, indústria e construção civil tem proporcionado avanços significativos em eficiência e produtividade, graças à automação e inteligência artificial (SILVA et al., 2020). Os robôs colaborativos (*Cobots*) têm trabalhado lado a lado com humanos em linhas de produção, aumentando eficiência e reduzindo erros (SOUZA & RODRIGUES, 2020). Além disso, na indústria, a automação possibilita maior flexibilidade na produção, permitindo a fabricação de produtos personalizados em larga escala (MIRANDA & LIMA, 2018), e tem contribuído para a redução de acidentes de trabalho e melhoria das condições laborais (BARBOSA & GONÇALVES, 2021).

Na construção civil, robôs têm sido utilizados em diversas tarefas, como levantamento topográfico, escavação e transporte de materiais, resultando em projetos mais precisos, redução de custos e diminuição do tempo necessário para conclusão das obras (AZEVEDO & CASTRO, 2020; CARVALHO & FONSECA, 2021). Além disso, o uso de robôs pode melhorar a segurança dos trabalhadores ao reduzir os riscos associados ao trabalho em altura ou em condições perigosas (VIEIRA & ALMEIDA, 2019).

Em suma, a inclusão de robôs na indústria e construção civil tem trazido benefícios significativos em termos de precisão, velocidade, segurança e eficiência (SILVA et al., 2020).

A Tabela 1 mostra resultados das duas instanciações da robótica colaborativa abordadas nessa investigação científica.

Aplicação	Automobilística	Civil
Indústria	Até 97%	400%

Tabela 1. Valores obtidos durante os testes.

Com base na metodologia de Denavit-Hartenberg e seguindo as orientações de Niku (NIKU, 2013), foi possível desenvolver o modelo do robô Kuka, conforme ilustrado na Figura 5, ao variar dois graus de liberdade. Esta variação funciona como uma representação visual da trajetória do órgão terminal a qual está ressaltada na elipse.

Efetador final do robô KUKA KR6 R900 em 3D

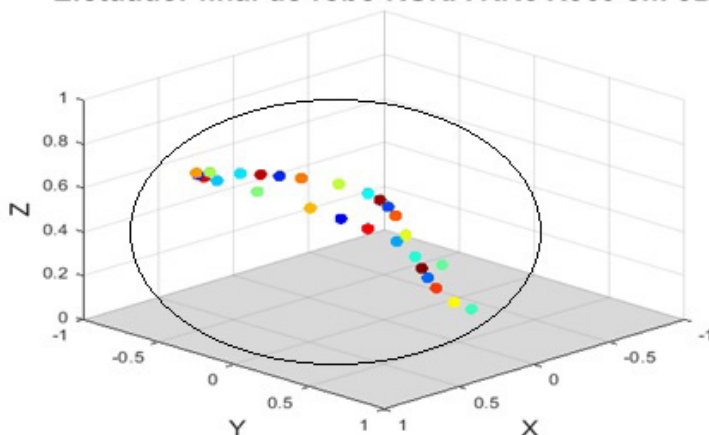


Figura 5 – Trajetória do Efetuador

Como exemplo deste processo de desenvolvimento, a nuvem de pontos do robô Kuka KR6 R900 foi plotada. Este robô é amplamente reconhecido e valorizado tanto na indústria quanto no meio acadêmico. A plotagem de sua nuvem de pontos demonstra a eficácia prática da simulação do raio de alcance do robô e a solução da cinemática inversa. Para fins de ilustração, neste caso, apenas dois ângulos foram modificados para exibir suas coordenadas em 3D.

Técnicas de aprendizado de máquina, tais como redes neurais artificiais, podem ser empregadas para lidar com um grande volume de dados para treinamento e pontos adicionais para teste e validação na solução da cinemática inversa. A exemplo disso, o estudo conduzido por Dalmedico et al. (2018) aplicou redes neurais artificiais para resolver a cinemática inversa de um manipulador 3D.

A integração da robótica na educação proporciona diversos e impactantes resultados:

Engajamento dos alunos: A abordagem prática e divertida da robótica mantém os alunos motivados e participativos.

Desenvolvimento de habilidades STEM: Os alunos aprimoram habilidades de resolução de problemas, pensamento crítico e criatividade ao projetar e programar robôs.

Colaboração e trabalho em equipe: Atividades em equipe promovem a comunicação e resolução de conflitos.

Preparação para o mercado de trabalho: Os alunos ganham experiência em tecnologia, programação e trabalho em equipe, preparando-os para carreiras modernas.

Inclusão e diversidade: A robótica oferece oportunidades para alunos com diferentes habilidades e estilos de aprendizado, promovendo a inclusão e diversidade.

Estímulo à criatividade e inovação: Os desafios da robótica incentivam os alunos a pensar de forma criativa e buscar soluções inovadoras.

Esses resultados destacam o impacto significativo da robótica na educação, preparando os alunos para um futuro tecnológico e globalizado.

CONCLUSÕES

Os estudos analisados neste artigo revelam resultados promissores sobre o emprego da robótica colaborativa em áreas específicas, como educação, indústria automobilística e construção civil. Tanto na educação quanto na indústria, houve melhorias significativas em produtividade e qualidade, impulsionadas pela precisão e eficiência dos robôs colaborativos. No entanto, essa discussão é apenas o início para futuras pesquisas que explorarão a interseção entre robótica e inteligência artificial em outros campos cruciais.

À medida que a pesquisa avança em direção a um futuro em que robótica e inteligência artificial se combinam para desenvolver aplicações, espera-se que tais avanços resultem em melhorias tangíveis na qualidade de vida das pessoas. Isso pode se manifestar em um aumento na produção e qualidade dos alimentos, na realização de cirurgias menos invasivas

REFERÊNCIAS

ANSI/RIA. (2012). R15.06-2012 - **Industrial Robots and Robot Systems** - Safety Requirements. Recuperado de <<https://www.robotics.org>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10218-1:2018: **Robôs e dispositivos robóticos** – Requisitos de segurança para robôs industriais. Parte 1: Robôs. 2018.

AZEVEDO, L. & CASTRO, J. Automação na construção civil: o impacto da impressão 3D em edificações. **Revista de Engenharia Civil**. v. 12, n. 2, p. 34-45, 2020.

BARBOSA, J. & GONÇALVES, R. Robôs na indústria: implicações na segurança e saúde do trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**. v. 7, n. 1, p. 23-34, 2021.

CARVALHO, J. & FONSECA, E. Automação na construção civil: impactos na produtividade e custos. **Revista de Tecnologia da Construção**. v. 10, n. 2, p. 56-70, 2021.

DENAVIT, J.; HARTENBERG, R. S. **A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices**. *Journal of Applied Mechanics*, v. 22, n. 2, p. 215-221, 1955.

DALMEDICO, J. F.; MENDONÇA, M.; SOUZA, L. B. de; BARROS, R. V. P. Duarte; CHRUN, I. R. **Redes neurais artificiais aplicadas na solução do problema de cinemática inversa de um manipulador 3D**. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN), 2018, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: IEEE, 2018. p. 1-6.

HASSAN, S. A.; ODDO, C. M. **Tactile sensors for Material recognition in Social and Collaborative Robots: A brief review**. In: 2022 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Messina, Italy, 2022. p. 1-5.

MENDONÇA, M.; PALÁCIOS, R. H. C.; BREGANON, R.; BOTONI DE SOUZA, L.; RODRIGUES CINTRA MOURA, L. **Análise da cinemática inversa e planejamento de trajetória aplicados em um manipulador robótico industrial colaborativo clássico**. *IEEE Latin América Transactions*, v. 20, n. 3, p. 363-371, mar. 2022. DOI: 10.1109/TLA.2022.9667133.

MENDONÇA, A.; SILVA, B.; ALMEIDA, C. **Os Cobots na indústria: Segurança e eficiência na colaboração homem-máquina**. *Revista de Automação Industrial, São Paulo*, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2022.

MIRANDA, T. & LIMA, F. A automação na indústria: explorando a flexibilidade e personalização em larga escala. **Revista de Engenharia e Tecnologia Industrial**. v. 14, n. 2, p. 88-102, 2018.

NIKU, S. B. **An Introduction to Robotics Analysis, Systems, Applications**. Upper Saddle River, N.J.: John Wiley & Sons, 2013.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL PARA PADRONIZAÇÃO. ISO/TS 15066:2016: **Robots and robotic devices - Collaborative robots**. 1. ed. 2016.

RESNICK, M., MALONEY, J., MONROY-HERNÁNDEZ, A., RUSK, N., EASTMOND, E., BRENNAN, K., MILLNER, A., ROSENBAUM, E., SILVER, J., SILVERMAN, B., & KAFAI, Y. B. (2009). **Programming by Choice**: Urban Youth Learning Programming with Scratch. *Communications of the ACM*, 52(11), 60-67.

SANTANA, J. & SILVEIRA, M. Inovações tecnológicas na construção civil: o papel dos robôs de alvenaria. **Revista Brasileira de Engenharia e Tecnologia**, vol. 8, n. 1, pp. 15-25, 2019.

SOUSA, J. M. et al. Robôs e equipamentos autônomos na construção civil: uma revisão de literatura. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 13, n. 1, p. 1-12, 2021.

SOUZA, M. & RODRIGUES, J. A aplicação de robôs colaborativos na indústria: eficiência e redução de erros. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica**. v. 11, n. 3, p. 45-59, 2020.

VIEIRA, P. & ALMEIDA, T. Drones na construção civil: aplicações e benefícios. **Revista Tecnologia e Construção**, v. 11, n. 3, p. 50-60, 2019.