

CAPÍTULO 6

PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA COM A POSSIBILIDADE DE PRESENÇA DE OBSTÁCULOS PARA UM MANIPULADOR ROBÓTICO COLABORATIVO CLÁSSICO

Data de aceite: 01/12/2023

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>

Janáina Fracaro de Souza Gonçalves

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>

Kazuyochi Ota Junior

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Mestrando - PPGEM-CP - Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Vicente de Lima Gongora

Faculdade da Indústria Senai
Londrina - Pr
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Miguel Angel Chincaro Bernuy

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

Angelo Feracin Neto

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – Pr
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Ricardo Breganon

Instituto Federal do Paraná, Campus
Jacarezinho
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

Henrique Cavalieri Agonilha

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

Marcos Antônio de Matos Laia

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

Fabio Nogueira de Queiroz

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

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Egresso - Universidade Norte do Paraná – Unopar
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Industria Senai
Londrina - Pr
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Marcio Jacometti

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico das Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Dachs)
Cornélio Procópio – Pr
<http://lattes.cnpq.br/8509336134084374>

Luiz Francisco Sanches Buzachero

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – Pr
<http://lattes.cnpq.br/1747856636744006>

Augusto Alberto Foggiate

Departamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Gustavo Henrique Bazan

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/7076940949764767>

RESUMO: Neste trabalho, o objetivo é apresentar redes neurais artificiais (RNAs) para resolver a cinemática inversa de um manipulador robótico de 2 graus de liberdade (DOF). Além disso, foi incluída uma árvore de decisão para aumentar a segurança do braço em movimento quando um objeto aparece em sua trajetória, com duas possíveis alternativas, acrescentar um ponto que consegue desviar do obstáculo, e caso não seja possível para e esperar a desobstruí-la como robôs colaborativos que trabalham lado a lado com seres humanos. O polinômio quinto grau fora empregado no planejamento de trajetórias e a análise levou ao polinômio de quinto grau por apresentar uma solução plausível. De acordo com os resultados obtidos promissores, o melhor método RNA combinado com uma estratégia,

pois apresentou mais robustos. Esse trabalho se encerra com uma conclusão e sugestão de futuros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Computacionais Inteligentes, Robótica Cognitiva, Robótica. Teoria de Agentes

TRAJECTORY PLANNING WITH THE POSSIBILITY OF OBSTACLE PRESENCE FOR A CLASSICAL COLLABORATIVE ROBOTIC MANIPULATOR

ABSTRACT: In this work, the objective is to present artificial neural networks (ANNs) to solve the inverse kinematics of a 2 degrees-of-freedom (DOF) robotic manipulator. In addition, a decision tree was included to increase the safety of the arm in motion when an object appears in its trajectory, with two possible alternatives: adding a point that can deviate from the obstacle or stopping and waiting for the trajectory to be cleared, as in collaborative robots that work side by side with humans. The fifth-degree polynomial was used in trajectory planning, and the analysis led to the fifth-degree polynomial because it presented a plausible solution. According to the promising results obtained, the best method is ANN combined with a strategy, as it presented more robust results. This work ends with a conclusion and suggestions for future work.

KEYWORDS: Intelligent Computational Systems, Cognitive Robotics, Robotics. Agent Theory

INTRODUÇÃO

A robótica, uma área de estudo profundamente fascinante, tem se manifestado como uma força transformadora em diversos setores, dentre os quais se destacam a produção industrial, exploração espacial e o campo da medicina. Dentro deste universo expansivo, a pesquisa focada em manipuladores robóticos traz à tona temas de relevância ímpar, com destaque para o planejamento de trajetória – um processo meticuloso que estabelece o caminho ideal para um robô transitar de um ponto inicial até seu destino, conforme elucidado por SOU et al. (2006).

Um dos conceitos mais importantes na pesquisa de manipuladores robóticos é o planejamento de trajetória e o conceito da robótica colaborativa, de acordo com o trabalho (UNHELKAR; SHAH, 2015). mais recentemente, devido aos avanços na robótica, os limites para robôs na manufatura são sendo empurrados para introduzi-los na montagem final. O trabalho de KRÜGER, LIEN, VERL (2009) que inspirou esta investigação científica, fornece uma pesquisa abrangente sobre o uso de robôs em linhas de montagem.

A robótica colaborativa, também conhecida como robótica assistida ou robótica de segurança, é uma área da robótica que se concentra no desenvolvimento de robôs que podem trabalhar em conjunto com humanos de forma segura e eficiente (CORDEIRO, 2022).

Definição

A robótica colaborativa é definida pela *International Organization for Standardization* (ISO), ISO 10218-3:2016. Segurança de robôs - Parte 3: Robôs colaborativos. Genebra: *International Organization for Standardization*, 2016., como “a aplicação de robótica em que um robô e um operador humano trabalham em conjunto em um espaço comum, com o objetivo de realizar uma tarefa”. Algumas características relevantes (OLIVEIRA, 2022)

Os robôs colaborativos são projetados com características específicas para garantir a segurança do operador humano. Essas características incluem:

- Velocidade e força reduzidas para evitar colisões;
- Sensores para detectar a presença de humanos;
- Modos de operação que permitem ao operador assumir o controle do robô em caso de emergência.

Aplicações

Os robôs colaborativos são utilizados em uma ampla gama de aplicações, incluindo:

- Montagem e manufatura;
- Logística e transporte;
- Serviços de saúde;
- Agricultura e horticultura;
- Pesquisa e desenvolvimento.
- Benefícios

Além disso, os robôs colaborativos oferecem uma série de benefícios para as empresas, incluindo:

- Aumento da produtividade;
- Melhoria da segurança;
- Redução de custos;
- Flexibilidade de produção.

Entretanto, alguns problemas clássicos da robótica devem ser discutidos, como por exemplo, a cinemática é um método comum para analisar o movimento de um manipulador robótico. Existem dois tipos de cinemática: a cinemática direta, que determina a posição do final do braço robótico a partir da posição das juntas, e a cinemática inversa, que determina a posição das juntas a partir da posição do final do braço robótico.

A cinemática inversa, Mendonca e colaboradores (2020) é um problema desafiador, pois pode ter múltiplas soluções e as equações envolvidas são não lineares. Para resolver esse problema, são comumente utilizados métodos algébricos, geométricos e iterativos. No entanto, esses métodos podem ser inadequados para manipuladores com muitos graus de liberdade.



Figura 1– Exemplo de Robô Colaborativo (COBOT)

Uma alternativa para resolver a cinemática inversa é o uso de redes neurais artificiais (RNA). As RNA são capazes de aprender a partir de dados e podem ser adaptadas a diferentes sistemas.

Em algumas aplicações, é necessário que o manipulador robótico tenha precisão superior à permitida por um manipulador com o número mínimo de graus de liberdade. Nesses casos, são utilizados manipuladores redundantes, que têm mais graus de liberdade do que o necessário para realizar a tarefa.

Um exemplo de robô denominado colaborador, denominados de *CoBot*, uma notável inovação oriunda da renomada *Carnegie Mellon University*, representa um avanço significativo no campo da robótica autônoma, como mostra a figura 1.

O robô *Pepper*, desenvolvido pela *SoftBank Robotics*, que é capaz de reconhecer rostos, vozes e emoções humanas, conversar em vários idiomas e oferecer serviços personalizados.

Pepper é um robô semi-humanóide fabricado pela *SoftBank Robotics* (anteriormente *Aldebaran Robotics*), projetado com a capacidade de ler emoções. Foi apresentado em uma conferência em 5 de junho de 2014, e foi exibido nas lojas de telefonia móvel da SoftBank no Japão a partir do dia seguinte. A habilidade do *Pepper* de reconhecer emoções baseia-se na detecção e análise de expressões faciais e tons de voz.

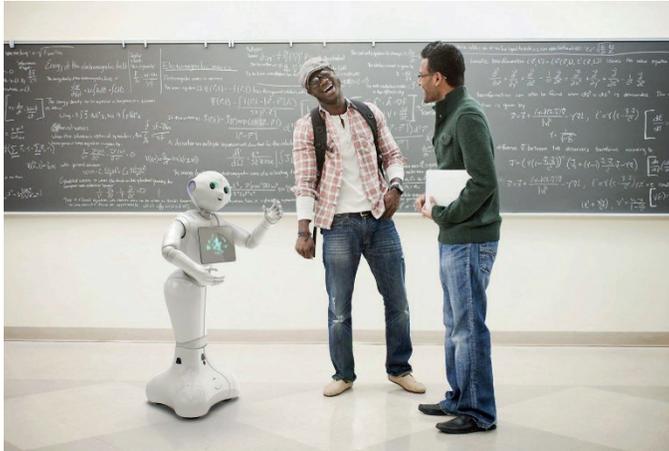


Figura 2– Robô Humanoide PEPPER

DESENVOLVIMENTO MUNDIAL: DA ROBÓTICA COLABORATIVA

A robótica colaborativa, frequentemente referida por “*cobots*”, refere-se a robôs projetados para trabalhar em conjunto com seres humanos em um ambiente compartilhado. Ao contrário dos robôs industriais tradicionais, que muitas vezes são isolados dos trabalhadores humanos por razões de segurança, os *cobots* são projetados para serem seguros e flexíveis, permitindo a colaboração direta entre máquinas e humanos. Desde o início da sua concepção, a área da robótica colaborativa tem presenciado avanços significativos, e aqui estão alguns pontos-chave sobre o seu desenvolvimento mundial:

Origens: Os primeiros *cobots* foram introduzidos na década de 1990 como uma forma de ajudar os humanos em tarefas de manufatura. Eles foram projetados para serem intrinsecamente seguros, usando sensores para detectar e responder à presença humana.

Tecnologia e Segurança: Com o avanço dos sensores e da inteligência artificial, os *cobots* tornaram-se mais sensíveis ao ambiente ao seu redor. Eles são equipados com características como limitação de força e parada de emergência para evitar ferimentos em humanos.

Aplicações Expandidas: Enquanto os *cobots* inicialmente encontraram aplicações na manufatura, eles agora são usados em uma variedade de indústrias, incluindo saúde, logística, agricultura e serviços.

Aceitação e Crescimento: Nos anos 2010, a adoção de *cobots* começou a crescer rapidamente à medida que as empresas reconheceram o valor de ter robôs trabalhando ao lado de humanos. O mercado global de *cobots* tem testemunhado um crescimento robusto, com previsões otimistas para o futuro.

Normas e Regulamentações: A segurança é uma grande preocupação na robótica colaborativa. Organizações internacionais, como a ISO, estabeleceram normas específicas (por exemplo, a ISO/TS 15066) para garantir a segurança dos *cobots*.

Avanços em Interfaces Humano-Robô: Para que os *cobots* sejam verdadeiramente colaborativos, as interfaces de usuário devem ser intuitivas. Há um foco contínuo no desenvolvimento de interfaces que facilitam a programação, treinamento e interação dos *cobots*.

Desafios Futuros: Ainda existem desafios para os *cobots*, incluindo melhorar a sua capacidade de aprender com os humanos, aprimorar a sua percepção do ambiente, e garantir que eles sejam economicamente viáveis para pequenas e médias empresas.

Impacto Socioeconômico: Como toda tecnologia disruptiva, os *cobots* têm o potencial de redefinir empregos e funções no ambiente de trabalho. Há discussões contínuas sobre como garantir que a introdução de *cobots* beneficie a sociedade como um todo.

Em suma, a robótica colaborativa representa uma interseção fascinante da tecnologia com a sociologia e a economia. À medida que os *cobots* continuam a evoluir e a se tornar mais integrados em diversos setores.

FUNDAMENTAÇÃO

Nesta seção são apresentados os conceitos de manipuladores robóticos, planejamento de trajetória e robótica colaborativa. Além disso, discutimos brevemente as técnicas de RNA usadas para a calibração do manipulador.

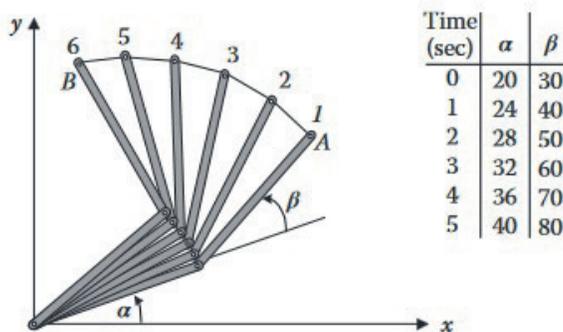


Figura. 2. Manipulador robótico com 2 GDL.

Na Figura 2 é mostrado um exemplo de manipulador robótico com 2 GDL; onde l_1 e l_2 são os comprimentos dos braços com as juntas, θ_1 e θ_2 os ângulos da primeira e da segunda articulações e P o ponto desejado. O manipulador apresentado na figura é semelhante ao modelado e utilizado nos experimentos dessa pesquisa.

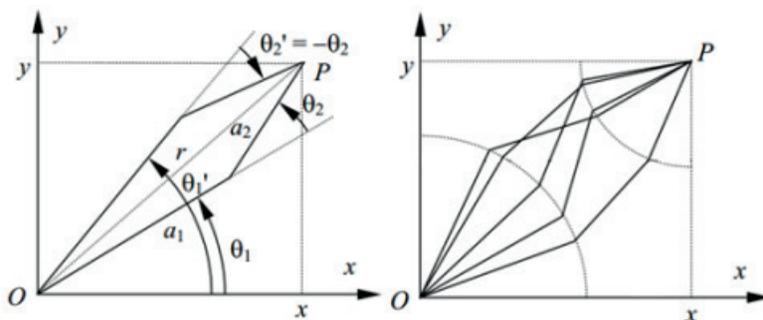


Figura 3. Ilustração do problema das múltiplas soluções.

Robôs precisam ter emergências previstas e programadas para responder adequadamente. A robótica é categorizada em programada e autônoma. Robôs como PUMA e Stanford possuem sistemas complexos, complicando a interação e controle com o ambiente (HU, 2018). Com o uso crescente de manipuladores em diversos setores, a adaptabilidade tornou-se crucial. A trajetória não deve ser apenas uma soma de ângulos, e a interação com ambientes variáveis requer controladores adaptáveis (ZHANG, WEI, 2017). Sistemas como ANFIS e RNAs são usados devido à dificuldade em projetar robôs para ambientes flexíveis e desconhecidos (SICILIANO, KHATIB, 2016). A cinemática inversa apresenta o desafio das múltiplas soluções, aumentando com o número de GDL. A calibração adequada é vital, como indicado em (KUO, ET AL, 2016). Múltiplas soluções podem surgir na definição da posição de um manipulador, levando a redundâncias, como visto na Figura 2 para manipuladores com 2 e 3 GDL (DALMEDICO, ET AL, 2018).

Na Figura 3, θ_1 e θ_2 representam os ângulos da primeira e segunda articulações, a_1 e a_2 são os comprimentos das juntas e P é a posição desejada para a extremidade livre.

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As RNAs foram inspiradas em células biológicas e são aproximadores universais de funções, que podem ser aplicadas em diferentes áreas por meio de dados históricos, como por exemplo em predições de consumo de água, em economia, entre outras (DA SILVA, ET AL, 2017). Na engenharia, se mostra uma ferramenta essencial para solucionar problemas complexos onde a solução analítica não é nada trivial (HAYKIN, 2009).

O poder computacional das RNAs se deve a uma estrutura massivamente distribuída e sua capacidade de aprender. Isso possibilita a solução de problemas complexos (HAYKIN, 2009). Não linearidade, mapeamento de entrada e saída, adaptabilidade, resposta evidencial, informações contextuais, tolerância a falhas, implementa ilidade VLSI (*Very-Large-Scale-Integration*) e uniformidade de análise e design são alguns dos recursos das RNAs (DA SILVA, ET AL, 2017). Nos parágrafos seguintes esses recursos são explorados.

O conceito de não linearidade se justifica para as RNAs por elas possuírem estruturas não lineares de neurônios artificiais distribuídos pela rede e por serem importantes devido à não linearidade dos sinais de entrada (HAYKIN, 2009). Outro importante recurso das RNAs é que elas apresentam mapeamento de entrada e saída. Os pesos sinápticos são alterados fazendo com que a rede seja treinada em um número determinado de tarefas de amostras colhidas aleatoriamente para diminuir a diferença entre a saída e a resposta desejada (DA SILVA, ET AL, 2017).

Uma RNA pode se tornar adaptável ao reagir a mudanças mínimas no ambiente de estudo, causando alterações nos pesos sinápticos. Uma maior adaptabilidade do sistema pode garantir um desempenho mais robusto em um ambiente não estacionário. No entanto, adaptabilidade e robustez podem não ser sempre proporcionais. As RNAs também apresentam resposta evidencial. Com isso são fornecidas das informações sobre a seleção de padrões e sua confiança com o objetivo de melhorar a classificação de desempenho e padrão (HAYKIN, 2009).

O conceito de informação contextual está relacionado a ativação e a estrutura de uma RNA. Isso porque o conhecimento que afeta todos os neurônios na rede é determinado por meio do processamento de informações. Quanto a tolerância a falhas, uma RNA se mostra capaz de computação robusta por condições adversas, mas de forma incontrolável fazendo com que o algoritmo tenha que ser cuidadosamente otimizado (HAYKIN, 2009).

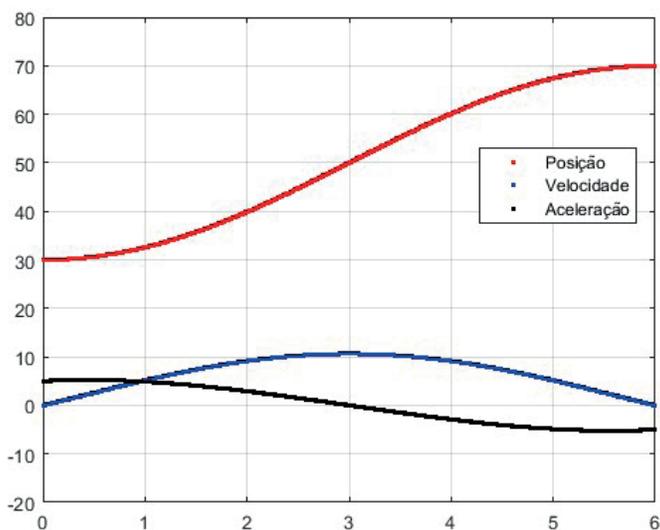


Figura 4. Variáveis no espaço angular de um planejamento sem obstáculo.

O recurso de da tecnologia VLSI expressa que é feito um cálculo paralelo pela rede possibilitando a solução de algumas tarefas complexas de comportamento. Para o conceito de uniformidade de análise e design é aplicada uma notação em todos os domínios de uma rede e ela se manifesta através de neurônios, compartilhamento de teorias e algoritmos por muitas aplicações e integração perfeita de módulos que constroem redes modulares (HAYKIN, 2009). Os resultados da solução da cinemática inversa podem ser conferidos no trabalho de Mendonça e colaboradores (MENDONÇA, et al, 2022). Uma possível solução usando método clássico para planejamento de trajetória é o do polinômio de quinta ordem (NIKU,2011)

Existem dois tipos distintos de obstáculos, dinâmicos e estáticos Mendonça e colaboradores (2019), na solução empregando RNA e o mesmo polinômio supracitada um obstáculo dinâmico usa uma estratégia de parada e depois a retomada do movimento.

Na Figura 4 um planejamento por meio de um polinômio de quinta ordem de uma junta rotacional robótica saindo de 30 graus até 70, além disso o polinômio alguns conceitos relevantes do planejamento são observados, como a mesma aceleração e dilaceração são simétricos e a velocidade aumenta suavemente e fica aproximadamente constante, velocidade de cruzeiro.

Já a Figura 5 mostra um obstáculo estático na posição 60 graus, desse modo a estratégia foi recalculada para passar pelo ponto 63 graus (no raio de alcance do braço).

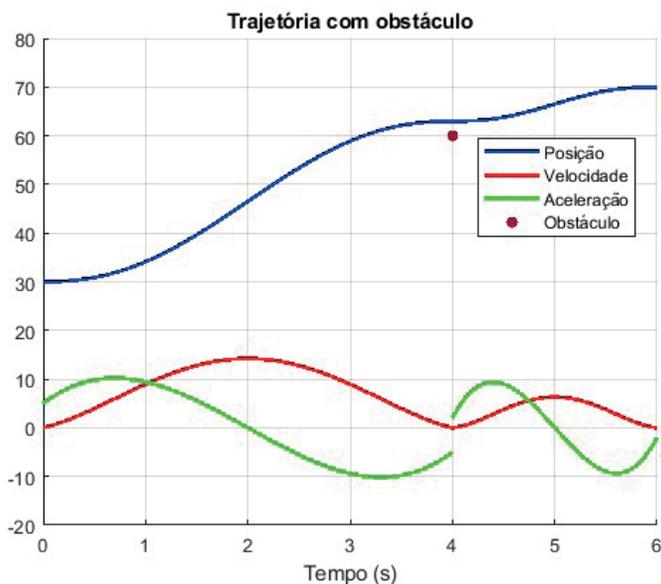


Figura 5. Variáveis no espaço angular de um planejamento com obstáculo

A aceleração teve uma descontinuidade no replanejamento da trajetória, entretanto um cuidado de não ser maior do o dobro da situação sem obstáculo para preservar a vida útil do atuador (SICILIANO, KHATIB, 2016).

CONCLUSÃO

Os resultados para desvio de obstáculo estático foram promissores.

De um modo geral: a robótica colaborativa emerge como uma das revoluções mais significativas no campo da automação industrial. Estes robôs, projetados para interagir e trabalhar lado a lado com humanos de forma segura, estão transformando o paradigma tradicional de produção. Eles não só otimizam a eficiência da produção, mas também oferecem flexibilidade na produção, respondendo à demanda por customização em massa. Além disso, a robótica colaborativa democratiza o acesso à automação para pequenas e médias empresas, uma vez que são mais acessíveis e fáceis de programar em comparação com os robôs industriais tradicionais.

Outro aspecto crucial da robótica colaborativa é sua capacidade de se adaptar e aprender. Por meio de avançados algoritmos e técnicas de inteligência artificial, esses robôs podem melhorar continuamente suas funções, tornando-se ferramentas indispensáveis para a manufatura do futuro.

Futuros Trabalhos: Estudo de Interface Humano-Robô: Uma investigação profunda sobre como os robôs colaborativos podem melhor interagir com os humanos, considerando aspectos ergonômicos, psicológicos e de segurança.

Integração com IoT (Internet das Coisas): Avaliar como a robótica colaborativa pode se beneficiar da crescente rede de dispositivos conectados, coletando dados em tempo real para otimizar a produção.

Técnicas Avançadas de Aprendizado: Explorar como os avanços recentes em aprendizado profundo e aprendizado por reforço podem ser aplicados para melhorar a adaptabilidade e eficiência dos robôs colaborativos.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, J. S. (2022). Robôs colaborativos podem até ser utilizados no âmbito do metaverso. *Jornal da USP*.

DA SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A.; LIBONI, L. H. B.; ALVEZ, S. F. R. *Redes neurais artificiais: um curso prático*. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

DALMEDICO, J. F.; MENDONÇA, M.; DE SOUZA, L. B.; DE BARROS, R. V. P.; CHRUN, I. R. *Redes neurais artificiais aplicadas na solução do problema de cinemática inversa de um braço manipulador 3D*. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2018. p. 1-6. DOI: 0.1109/IJCNN.2018.8489532.

HAYKIN, S. S. *Redes neurais e máquinas de aprendizagem*. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2009.

HU, J.; XIONG, R. Estimation of contact force for robot manipulator using semiparametric model and disturbance Kalman filter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 65, n. 4, p. 3365-3375, 2018. DOI: 10.1109/TIE.2017.2748056.

ISO 10218-3:2016 - *Segurança de robôs - Parte 3: Robôs colaborativos*. International Organization for Standardization, Genebra, Suíça, 2016.

KRÜGER, J.; LIEN, T. K.; VERL, A. Cooperation of human and machines in assembly lines. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, v. 58, n. 2, p. 628-646, 2009. doi: 10.1016/j.cirp.2009.09.009.

KUO, P. H.; LIU, G. H.; HO, Y. F.; LI, T. H. S. PSO and neural network based intelligent posture calibration method for robot arm. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, SMC, 2016, Anais IEEE, 2017*. p. 3095-3100. DOI: 10.1109/SMC.2016.7844711.

MENDONÇA, M.; KONDO, H. S.; DE SOUZA, L. BOTONI; PALÁCIOS, R. H. C.; DE ALMEIDA, J. Paulo Lima Silva. Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm Robotics using Fuzzy Cognitive Maps. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY SYSTEMS (FUZZ-IEEE), 2019, New Orleans, LA, USA. Anais [...]. New Orleans, LA, USA: IEEE, 2019*. p. 1-8. DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858847.

MENDONÇA, M.; PALÁCIOS, R. H. C.; BREGANON, R.; BOTONI DE SOUZA, L.; RODRIGUES CINTRA MOURA, L. Analysis of the Inverse Kinematics and Trajectory Planning Applied in a Classic Collaborative Industrial Robotic Manipulator. *IEEE Latin America Transactions*, v. 20, n. 3, p. 363-371, mar. 2022. DOI: 10.1109/TLA.2022.9667133.

NIKU, S. B. *Introdução à robótica: análise, controle, aplicações*. 2. ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2011. v. 53, n. 9.

OLIVEIRA, D. M., & Santos, S. A. (2022). *Robótica colaborativa: Uma revisão bibliográfica*. *Revista Eletrônica de Engenharia e Tecnologia (REET)*, 10(1), 1-13.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. (Eds.). *Springer Handbook of Robotics*. 2. ed. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

SOU, A., HOU, Z., FU, S., & TAN, M. Neural networks for mobile robot navigation: A survey. In *Advances in Neural Networks - ISNN 2006, vol. II, pp. 1218-1226*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. doi: 10.1007/11760023_177.

SOUZA, F. B., & Giardini, G. J. (2018). *Um estudo sobre o impacto da robótica colaborativa na produtividade em tarefas manuais*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo, São Paulo.

UNHELKAR, V. V.; SHAH, J. A. Challenges in developing a collaborative robotic assistant for automotive assembly lines. In: *ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact. vol. 02-05-Marc, pp. 239-240*. 2015. doi: 10.1145/2701973.2702705.

ZHANG, D.; WEI, B. (Eds.). *Controle adaptativo para manipuladores robóticos*. 1. ed. Oshawa, ON: CRC Press, 2017.