

PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DE UM BRAÇO ROBÓTICO POR MEIO DE POLINÔMIOS DE TERCEIRO E QUINTO GRAU E UMA VERSÃO INICIAL DE INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Data de aceite: 03/04/2023

Márcio Mendonça

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Emanuel Ignácio Garcia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Acadêmico - departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8501809850590859>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Indústria Senai Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Wagner Fontes Godoy

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/7337482631688459>

Edson Luis Bassetto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5806912707344633>

Luiz Francisco Sanches Buzachero

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

Michelle Eliza Casagrande Rocha

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

Emerson Ravazzi Pires da Silva

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

Rodrigo Rodrigues Sumar

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

Ricardo Breganon

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

Rogério Breganon

Instituto Federal do Paraná, Campus Campo Largo
Campo Largo-PR
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

Andre Luis Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/924365653421118>

Matheus Gil Bovolenta

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Acadêmico - departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1518815195539638>

Jhonatas Luthierry Barbosa dos Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Acadêmico - departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3040974349883206>

Francisco de Assis Scannavino Junior

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

Wesley Candido da Silva

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica- Londrina -PR

RESUMO: O projeto tem cunho educacional, permitindo uma interação dos alunos que cursam a disciplina de robótica uma ferramenta que objetiva uma visualização do controle de trajetória através do braço robótico por interface homem máquina. Em um primeiro momento houve um estudo de casos a partir de simulações através do Matlab R2021b para definir qual seria a opção ideal de controle da trajetória do braço robótico, entre os polinômios de terceira e quinta ordem encontrados na literatura, duas das mais conhecidas e aplicadas, chegando à conclusão que o de quinta ordem atendia melhor a proposta. Após isto, foi programado na linguagem Python através do Raspberry pi 3 um escopo para controle PWM, como uma simulação dos atuadores das juntas do braço, porém sem conclusão por falta de recursos necessários para os testes. Posto isso, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios levando em consideração as dificuldades citadas. Este trabalho se encerra com uma conclusão e sugestão de futuro trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica, planejamento e controle de trajetória, braço robótico.

PATH PLANNING OF A ROBOTIC ARM USING THIRD- AND FIFTH-DEGREE POLYNOMIALS AND AN INITIAL VERSION OF HUMAN-MACHINE INTERFACE

ABSTRACT: The project has an educational nature, allowing the interaction of students who study robotics with a tool that aims to visualize the trajectory control through the robotic arm through a man-machine interface. At first, there was a case study based on simulations using Matlab R2021b to define the ideal option for controlling the trajectory of the robotic arm among the third and fifth-order polynomials found in the literature, two of the most known and applied. , reaching the conclusion that the fifth-order model best suited the proposal. Afterward, a scope for PWM control was programmed in Python using the Raspberry pi 3, as a simulation of the actuators of the arm joints, but without conclusion due to lack of necessary resources for the tests. That said, the results obtained were considered satisfactory, considering the difficulties mentioned earlier. This work ends with a conclusion and suggestions for future work.

KEYWORDS: Robotics, trajectory planning and control, robotic arm.

1 | INTRODUÇÃO

Este projeto de pesquisa tem a proposta de simular o planejamento de trajetória de um braço robótico que pode, por exemplo, diminuir ou até mesmo causar desgaste prematuro dos atuadores do robô (NIKU, S. B., 2011), após a aplicação de métodos já consagrados na literatura específica a inteligência artificial, como por exemplo lógica *Fuzzy* pode ser um futuro trabalho, em especial no caso da robótica colaborativa com o cunho educacional, objetivando a proporcionar um protótipo para a disciplina de robótica a princípio. Para continuação desse projeto poderia usar uma solução da cinemática inversa por meio de redes neurais (HAYKIN, S., 2000), (DALMEDICO, J. F. et al, 2018) e/ou redes neurais convulsionais aplicadas em visão computacional para reconhecimento de objetos em um braço manipulador autônomo (WILLIAMS, H. A. M. et al, 2019). Desse modo, seria plausível um novo projeto sequente de um protótipo que além da contribuição inicial, poderia enriquecer como uma aplicação de técnicas computacionais, as quais poderiam enriquecer com a área de estudo de sistemas inteligentes.

Em sua primeira versão houve a tentativa de desenvolvimento de um braço robótico programado em linguagem Python e controlada por um microcomputador Raspberry pi 3 por controle PWM (*Pulse-Width Modulation*), que é uma técnica utilizada para permitir o controle de energia fornecida a equipamentos elétricos e assim controlar a velocidade dos servos motores em sua trajetória, aceleração e desaceleração. Todo esse processo é executado por uma interface ao usuário os ângulos desejados, posição inicial e posição final, com alguma estratégia de planejamento de trajetória, como por exemplo polinômio de 5 grau (NIKU, S. B., 2011).

2 | METODOLOGIA

Como base para as simulações foi usado livro (NIKU, S. B., 2011), usando assim

os exemplos 5.1 e 5.3 da página 184 para os polinômios de terceira e quinta ordem, respectivamente, para o planejamento de trajetória. O polinômio de terceira ordem mesmo sendo interessante há limitações que podem danificar os dispositivos atuadores do robô, com a ausência da desaceleração, assim podendo ser visto na Figura 2, onde foi feita uma simulação pelo MATLAB R2021b.

O método de acordo com a proposta montar uma interface IHM. Interface Homem Máquina por meio de um display *touch screen* acoplada a um Raspberry pi 3, e empregando programação em Python realizar um planejamento de trajetória. Para entrada de dados no ambiente de simulação do MATLAB, como apresentado na Figura 1 (entrada de dados do polinômio de ordem três), com os respectivos resultados cinemáticos mostrado na Figura 3 com polinômios de ordem cinco, ressaltando a vantagem do controle de aceleração da segunda estratégia, dentre outras presentes na literatura (NIKU, S. B., 2011). Ressalta-se que: os dados para cada junta do robô são inseridos em uma janela de dados para cada junta robótica, e para que se tenha um movimento harmônico idealmente o tempo de trajetória é o mesmo de (SICILIANO, B.; KHATIB, O., 2016), como por exemplo a da Figura 1.

```
Digite o valor do Angulo inicial: 30
Digite o valor do Angulo final: 75
Digite o valor da aceleração inicial: 5
Digite o valor da aceleração final: -5
Informe o tempo em segundos: 5
```

Figura 1: IHM simulação polinômio ordem 5.

Fonte: Autores, 2023.

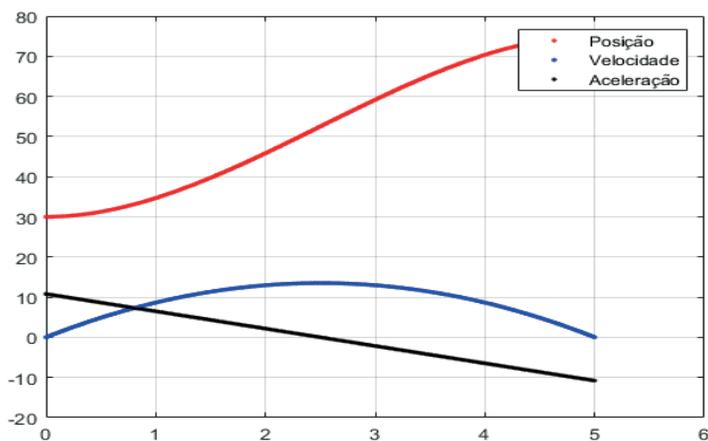


Figura 2: Resultado cinemático para polinômio de ordem três.

Fonte: Autores, 2023.

O polinômio de quinta ordem se torna a melhor opção pelo fato de conseguirmos adicionar a aceleração e desaceleração, dando segurança aos dispositivos atuadores e tornando um movimento harmônico na trajetória. Como mostra a figura do experimento

simulado da Figura 3.

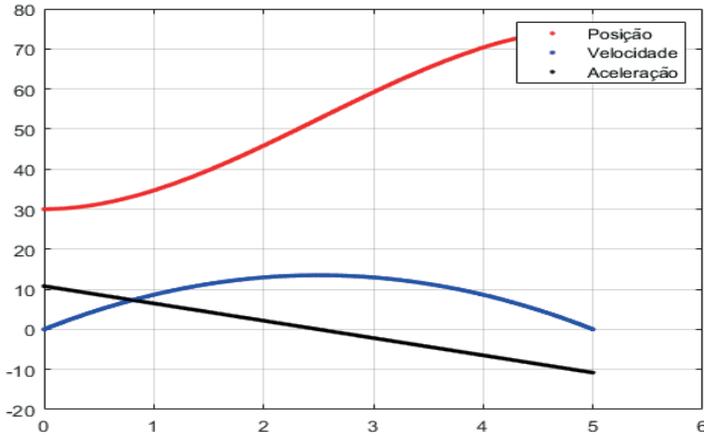


Figura 3: Resultado cinemático para polinômio de ordem cinco.

Fonte: Autores, 2023.

A diferença entre as duas soluções para o planejamento de trajetória está principalmente na possibilidade de se determinar a aceleração no polinômio de grau 5. Isso pode resultar em um torque mais alto ou no limite do atuador quando utiliza-se o de grau 3. Deste modo, o método recomendado é o de grau 5.

Entretanto comparando as figuras pode-se observar uma velocidade de cruzeiro mais constante com o polinômio de grau 3, entretanto a aceleração que resultara no torque é o dobro para os mesmos pontos iniciais e finais.

O diagrama de blocos representa as etapas do projeto onde primeiro foi executado as simulações das juntas no MATLAB R2021B e o escopo da programação Python através do Raspberry pi 3, como mostra a Figura 4.

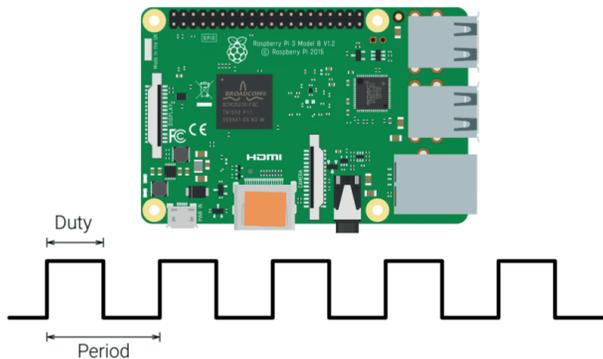


Figura 4: *Duty cycle*.

Fonte: Embarcados (2017).

Para controle das juntas do braço robótico através dos servos motores, foram utilizados para a simulação e testes através da IDE do Raspberry pi 3, Mu versão 1.0. Os primeiros testes foram executados a partir de uma protoboard e leds, aumentando e diminuindo o seu brilho, para verificar o funcionamento do controle PWM onde modula o ciclo ativo (*duty cycle*) de uma onda quadrada, como representado na Figura 4. Desta forma, o controlador entrega uma série de pulsos, gerados em intervalos de igual duração, que pode ser variado, quanto mais largo o pulso, maior a quantidade de corrente fornecida a carga, foram adicionadas as bibliotecas para que as etapas seguintes executassem com êxito:

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time as delay
```

Figura 5: Bibliotecas utilizadas.

Fonte: Autores, 2023.

A biblioteca *RPi.GPIO*, foi usada para habilitar um conjunto de pinos responsável por fazer a comunicação de entrada e saída de sinais digitais, o Raspberry pi 3 é composto por 40 pinos, como mostrado na Figura 5, pelos quais é possível o desenvolvimento do protótipo.

Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I²C)		DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I²C)		Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I²C ID EEPROM)		(I²C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05		Ground	30
31	GPIO06		GPIO12	32
33	GPIO13		Ground	34
35	GPIO19		GPIO16	36
37	GPIO26		GPIO20	38
39	Ground		GPIO21	40

Figura 6: Pinout Raspberry pi 3.

Fonte: Autores, 2023.

A biblioteca *time* foi utilizada no pino 12 onde está o PWM, para definir o tempo de atraso da frequência do led que representa o servo motor do braço robótico onde o *duty*

cycle inicial é igual a zero, indo até 100hz.

```
GPIO.setup(12, GPIO.OUT)
p = GPIO.PWM(12, 100)
p.start(0)
```

Figura 7: Código utilizado.

Fonte: Autores, 2023.

Em seguida foi adicionado o *while*, como apresentado na Figura 8, para que o código entre em um *loop* infinito e possamos fazer os ajustes necessários antes de começar os testes no braço robótico, o alcance (*range*) para aceleração do braço foi programado para iniciar em 0% e ir até 100% ao passo de 5 no delay de 100ms

```
while(1):
    for duty in range (0,101,5):
        p.ChangeDutyCycle(duty)
        delay.sleep(0.1)
```

Para desaceleração do movimento o range (faixa) de 100% a 0% ao passo de -5.

```
for duty in range (100,-1,-5):
    p.ChangeDutyCycle(duty)
    delay.sleep (0.1)
except KeyboardInterrupt:
    pass
p.stop()
GPIO.cleanup ()
```

Figura 8: Código utilizado.

Fonte: Autores, 2023.

Dessa forma foi programado a aceleração, desaceleração e o distância da trajetória de um dos servos motores, para o restante a programação é semelhante.

Já a Figura 9 mostra uma visão generalista do projeto iniciado nessa versão inicial.

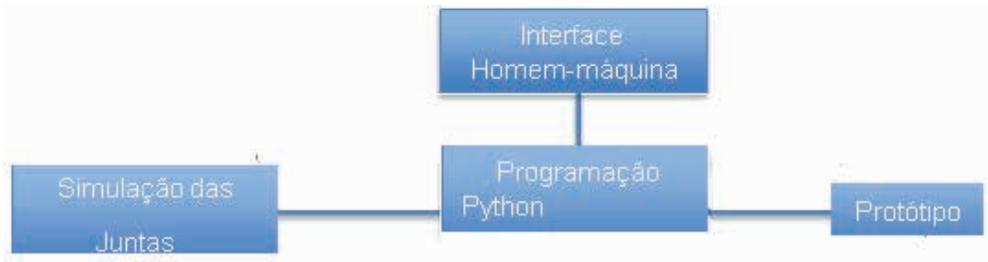


Figura 9: Diagrama de blocos.

Fonte: Autores, 2023.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para executar os testes, uma fonte de alimentação chaveada ATX foi utilizada, pois a alimentação própria do Raspberry pi 3 não é capaz de fornecer a corrente mínima necessária para alimentação do controlador, e dos atuadores, servo motores. Assim, os testes iniciais de controle do PWM foram satisfatórios como desejado, conseguindo fazer o controle do brilho do led modulando o ciclo ativo da onda quadrada, e variando, com um pulso maior, como podemos ver na Figura 10.

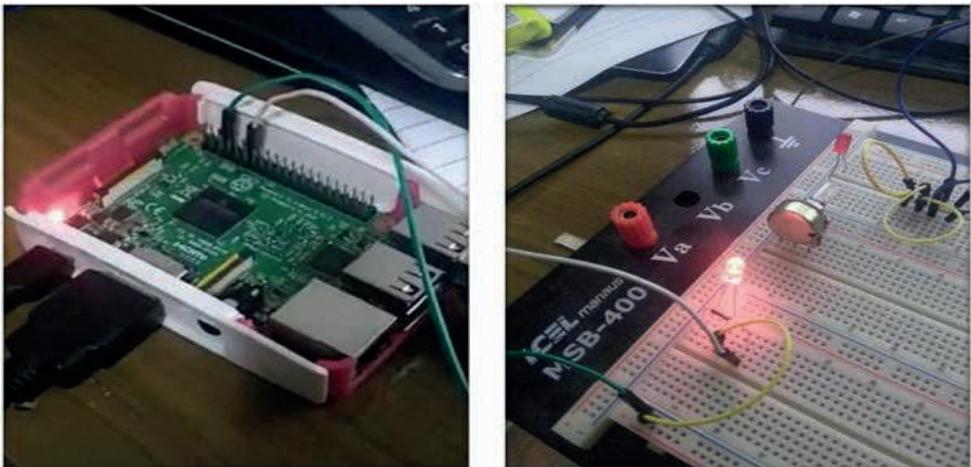


Figura 10: Controle de luminosidade por PWM.

Fonte: Autores, 2023.

A Tabela 1 mostra a representação do tempo que leva até que se atinja a frequência máxima desejada.

Tempo (segundos)	Passos (Step) = 5	Frequência (Hz)
0.10	5	5
0.20	10	10
0.30	15	15
0.40	20	20
2.0	100	100

Tabela 1: Representação dos passos do *duty cycle* até a frequência máxima programada.

Já a Figura 11, mostra uma possível versão final objetivada, a qual será descrita de modo resumido na sequência.

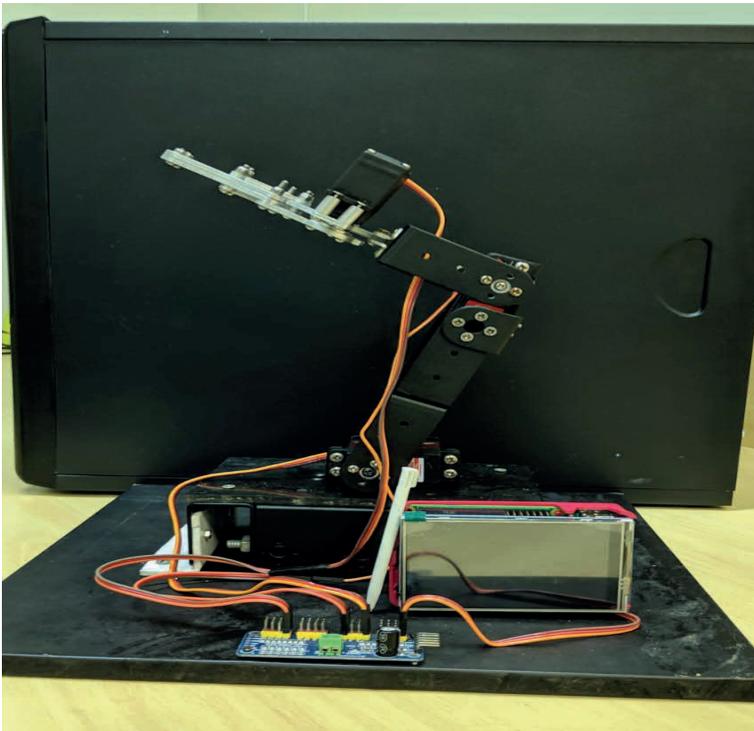


Figura 11: Instanciação de um exemplo da versão completa do projeto.

Fonte: Autores, 2023.

Essa é a versão objetivada do trabalho, idealmente um Arduino (SOUZA, T.; SATO, L., 2019) para a comunicação com os servo motores e receberá comandos do Raspberry. A priori o PWM foi gerado no mesmo para fins didáticos, porém pode até ser que o Raspberry faça a comunicação com os atuadores. Entretanto, são dispositivos diferentes com funções distintas, nas quais um pode complementar o outro, o Raspberry recebe as informações do usuário, verifica as singularidades, como por exemplo o ângulo fora do raio de alcance, e

envia ao Arduino comandos, ou em uma segunda hipótese, na qual seja realizado o envio diretamente para os servos os pulsos PWM emulando o planejamento simulado (SANTOS, M. C., 2019).

4 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos iniciais, porém, foram satisfatórios, considerando os problemas relatados. Entretanto, foi uma base para continuidade do projeto, não foi possível apresentar uma maior quantidade de resultados, pois como já explicado anteriormente, o afastamento dos laboratórios afetou nos materiais disponíveis como por exemplo o osciloscópio, fonte externa, drive, entre outros. Essenciais para o desenvolvimento do projeto como planejado. Porém um passo inicial foi executado, funcionando uma primeira versão do protótipo objetivado.

Futuros trabalhos endereçam a realização da proposta de forma completa, como supracitado.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pelo apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico dos alunos do AARLAB (Laboratório de Robótica e Controle Avançado), em especial ao aluno **Jhonatas Luthierry Barbosa dos Santos** da UTFPR em conformidade com suas finalidades de pesquisa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

DALMEDICO, J. F. et al. **Artificial Neural Networks Applied in the Solution of the Inverse Kinematics Problem of a 3D Manipulator Arm**. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. Anais Rio de Janeiro, RJ, Brazil: IEEE, 2018.

HAYKIN, S. **Redes Neurais, Princípios e Prática**. 2. ed. Bookman, 2000.

MENDONCA, M. et al. **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.

NIKU, S. B. **Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications**. 2. ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2011. v. 53.

SANTOS, M. C. **Manipulador Robótico Autônomo Empregando Sistemas Computacionais Inteligentes**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2019.

SOUZA, T.; SATO, L. **Educational robotics teaching with arduino and 3D print based on stem projects**. Proceedings - 2019 Latin American Robotics Symposium, 2019 Brazilian Symposium on Robotics and 2019 Workshop on Robotics in Education, LARS/SBR/WRE 2019, p. 407–410, 2019.

WILLIAMS, H. A. M. et al. **Robotic kiwifruit harvesting using machine vision, convolutional neural networks, and robotic arms**. Biosystems Engineering, v. 181, p. 140–156, maio 2019.