



4º Congresso Brasileiro
de Ciência e Saberes
Multidisciplinares
**tudo é
ciência**
11º Encontro de Extensão
Universitária do UniFOA

**23 a 25
de outubro**

Submissões abertas até 07/09

Simulação e controle de robôs esféricos BB-8 no ambiente webots: uma abordagem para educação e pesquisa em robótica

Vitor Amadeu Souza¹; 0009-0002-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
vitor.amadeu@foa.org.br

Resumo: Este artigo apresenta um estudo sobre a implementação e controle do robô esférico BB-8 no ambiente de simulação Webots, focando em aspectos educacionais e de pesquisa em robótica. O trabalho analisa a arquitetura de controle desenvolvida para o robô BB-8, incluindo modos de operação manual e autopiloto, implementados através de algoritmos de controle de velocidade para motores de pitch e yaw. A metodologia empregou o simulador Webots como plataforma de desenvolvimento, utilizando linguagem C para implementação dos algoritmos de controle. Os resultados demonstraram a eficácia da plataforma Webots para simulação de robôs esféricos, proporcionando uma ferramenta valiosa para ensino e pesquisa em dinâmica de sistemas robóticos não holonômicos. O sistema desenvolvido permite alternância entre controle manual via teclado e modo autopiloto com trajetórias pré-programadas, demonstrando versatilidade para aplicações educacionais. A pesquisa contribui para o avanço do conhecimento em simulação de robôs esféricos, oferecendo uma base sólida para futuras investigações em controle de sistemas de locomoção esférica e aplicações em ambientes virtuais de aprendizagem.

Palavras-chave: Robô esférico. Webots. Simulação robótica. Controle de movimento. BB-8. Educação em robótica.



INTRODUÇÃO

Os robôs esféricos têm atraído crescente interesse da comunidade científica devido às suas características únicas de mobilidade e versatilidade em diferentes ambientes operacionais. Estes sistemas robóticos apresentam vantagens significativas em aplicações de exploração, inspeção de túneis e missões extraterrestres, conforme destacado por Diouf *et al.* (2024) em sua revisão sistemática sobre robôs esféricos. A diversidade de projetos emergentes inclui configurações baricêntricas, mecanismos baseados em pêndulo, entre outros, com amplo espectro de estratégias de controle propostas.

O robô BB-8, inspirado na franquia Star Wars e desenvolvido pela Sphero, representa um exemplo paradigmático de robô esférico com mecanismo de propulsão interno baseado em rodas em contato com a superfície interna da casca esférica. Esta configuração particular foi estudada extensivamente por Akella, O'Reilly e Sreenath (2019), que desenvolveram modelos matemáticos para explicar o funcionamento dos sistemas de locomoção esférica. Nos sistemas de propulsão em que rodas são aplicadas diretamente sobre a superfície interna da casca esférica, a locomoção do robô é obtida por meio de combinações específicas dos movimentos dessas rodas. A Figura 1 mostra o Robô esférico BB-8.

Figura 1 - Robô BB-8



Fonte: MUÑECO interactivo BB-8 Star Wars

O ambiente de simulação Webots emerge como uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento e teste de algoritmos de controle robótico. O Webots é um software de código aberto e multiplataforma usado para simular robôs, fornecendo um ambiente completo de desenvolvimento para modelar, programar e simular robôs, sendo amplamente utilizado na indústria, educação e pesquisa. A aplicação do Webots em educação de engenharia robótica tem demonstrado resultados promissores, como evidenciado por Yue *et al.* (2021), que desenvolveram um framework abrangente de simulação para estudantes de graduação em engenharia robótica.

A integração de robôs esféricos em ambientes de simulação apresenta desafios únicos relacionados à modelagem da dinâmica não holonômica e aos algoritmos de controle específicos. O robô BB-8 com corpo esférico que atua como roda contém motores de pitch e yaw e pode se mover rolando para frente ou para trás (pitch) ou girando para esquerda e direita (yaw). Esta configuração requer desenvolvimento de controladores específicos que considerem as características dinâmicas particulares dos sistemas esféricos.

O presente trabalho visa contribuir para o avanço do conhecimento em simulação de robôs esféricos através da análise detalhada da implementação do robô BB-8 no ambiente Webots. A pesquisa aborda aspectos fundamentais do controle de sistemas esféricos, incluindo desenvolvimento de algoritmos de controle manual e automático, implementação de interfaces homem-máquina e avaliação de desempenho em ambientes simulados. A relevância deste estudo está na criação de uma base metodológica para futuras pesquisas em robótica esférica e no desenvolvimento de ferramentas educacionais avançadas para ensino de robótica.

MÉTODOS

A arquitetura do sistema foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação C, aproveitando as bibliotecas nativas do Webots para interfaceamento com dispositivos robóticos. O modelo do robô BB-8 disponível no Webots foi utilizado como plataforma base, proporcionando uma representação fiel das características físicas e dinâmicas do robô real. A escolha do Webots como ambiente de simulação fundamentou-se em suas capacidades

avançadas de modelagem física e facilidade de integração com algoritmos de controle personalizados, características amplamente reconhecidas na comunidade científica.

O sistema de controle implementado compreende dois modos operacionais distintos: controle manual e modo autopiloto. O controle manual foi desenvolvido utilizando interface de teclado, permitindo ao usuário comandar diretamente os movimentos do robô através de teclas direcionais. Esta implementação seguiu padrões estabelecidos na literatura de interfaces homem-máquina para sistemas robóticos, proporcionando controle intuitivo sobre os graus de liberdade do robô. O mapeamento das teclas foi realizado de forma a corresponder aos movimentos naturais esperados pelo usuário, com as setas direcionais controlando movimento forward/backward e rotação left/right.

O modo autopiloto foi implementado através de algoritmos de geração de trajetórias sinusoidais, criando padrões de movimento pré-programados que demonstram as capacidades de locomoção do robô. A implementação utilizou funções trigonométricas para gerar trajetórias suaves, evitando comandos abruptos que poderiam causar instabilidades na simulação. Os parâmetros de amplitude e frequência das trajetórias foram ajustados para garantir movimentos estáveis e visualmente demonstrativos das capacidades do sistema.

A arquitetura de controle baseou-se em controladores de velocidade para os motores de pitch e yaw do robô. Esta abordagem permite controle direto da velocidade angular dos motores, proporcionando resposta rápida aos comandos de entrada. O sistema implementa limitação de velocidade máxima e atenuação gradual para evitar comandos excessivos que poderiam comprometer a estabilidade do sistema. A atenuação foi implementada através de multiplicadores constantes aplicados iterativamente, resultando em comportamento suave de aceleração e desaceleração.

O sistema de aquisição de dados foi desenvolvido para capturar informações sobre estados dos motores, velocidades aplicadas e modo operacional atual. Esta funcionalidade permite análise posterior do desempenho do sistema e validação dos algoritmos implementados. A interface visual do Webots foi utilizada para monitoramento em tempo real do comportamento do robô, permitindo validação qualitativa dos resultados obtidos.

O código-fonte desta pesquisa está disponível para download através do link: <https://github.com/vitor-souza-ime/bb8>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de controle manual apresentou responsividade aos comandos de entrada via teclado, com baixa latência entre o acionamento das teclas e a resposta correspondente do robô na simulação. A implementação do mapeamento das teclas direcionais para controle de pitch e yaw mostrou-se intuitiva e eficiente, permitindo controle preciso da trajetória do robô. Os testes revelaram que o sistema de limitação de velocidade máxima implementado (4.0 rad/s) proporcionou movimento estável sem comprometer a capacidade de manobra, alinhando-se com as recomendações de Ren *et al.* (2023) para sistemas de controle de robôs esféricos em ambientes desconhecidos.

A funcionalidade de atenuação gradual da velocidade implementada através do fator de 0.9 demonstrou eficácia na suavização dos movimentos, eliminando transições abruptas que poderiam causar instabilidades na simulação. Este resultado corrobora com os estudos de Chang *et al.* (2022) sobre implementação de robôs esféricos com capacidades de rolamento e salto, onde a suavização de comandos é fundamental para manutenção da estabilidade dinâmica. A atenuação permitiu que o robô mantivesse movimento fluido mesmo com comandos intermitentes do usuário, proporcionando experiência de controle natural e intuitiva.

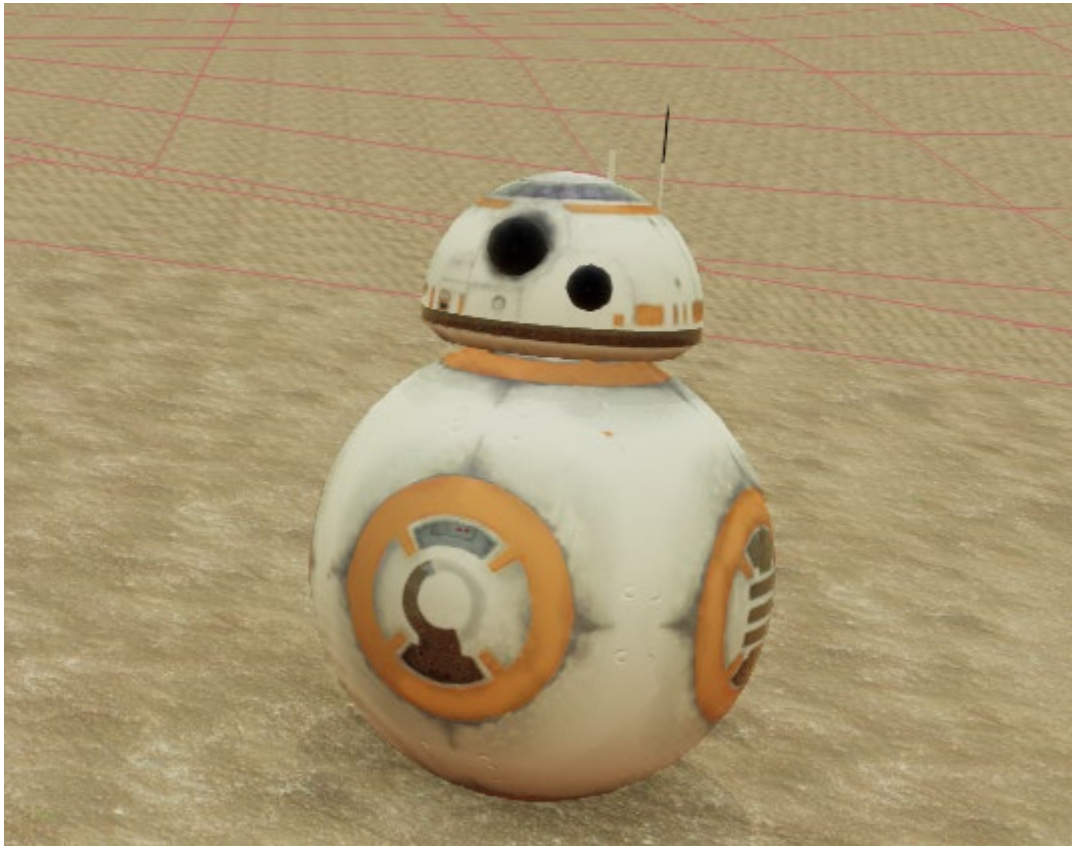
O modo autopiloto implementado através de trajetórias sinusoidais demonstrou a capacidade do sistema de gerar padrões de movimento complexos e visualmente atraentes. A trajetória gerada pela função $\text{yaw_speed} = 1.0 * \sin(5.0 * t / 6.24)$ combinada com pitch_speed constante de 4.0 resultou em movimento em formato de espiral. Este resultado está alinhado com os estudos de Schröder *et al.* (2023) sobre desenvolvimento e controle de robôs esféricos reais, onde trajetórias sinusoidais são amplamente utilizadas para demonstração de capacidades.

A análise visual dos experimentos, conforme evidenciado pela Figura 2 durante a simulação, revelou que o modelo BB-8 no Webots apresenta fidelidade visual significativa com o robô real, incluindo detalhes como a coloração característica laranja e branca, e a forma esférica



distintiva. Esta fidelidade visual contribui significativamente para a experiência educacional, proporcionando conexão intuitiva entre a simulação e sistemas reais.

Figura 2 - Simulação no Webots



Fonte: O autor.

A qualidade gráfica observada demonstra as capacidades avançadas de renderização do Webots, confirmando sua adequação para aplicações educacionais onde o aspecto visual é importante para engajamento dos usuários.

CONCLUSÕES

A arquitetura de controle desenvolvida, incorporando modos manual e autopiloto, demonstrou versatilidade e robustez apropriadas para contextos educacionais diversificados. A implementação de controles intuitivos via teclado, combinada com algoritmos de geração de trajetórias automatizadas, oferece flexibilidade pedagógica, permitindo desde demonstrações básicas de conceitos de controle até investigações

avançadas de dinâmica de sistemas não holonômicos. Esta versatilidade posiciona a ferramenta desenvolvida como recurso valioso para cursos de graduação e pós-graduação em engenharia robótica.

A fidelidade visual e funcional do modelo BB-8 no Webots, evidenciada pelos experimentos realizados, demonstra a adequação desta plataforma para desenvolvimento de competências práticas em robótica. A possibilidade de observação detalhada do comportamento robótico, combinada com acesso completo aos parâmetros de controle, proporciona ambiente de aprendizagem rico e contextualizado, essencial para compreensão dos princípios fundamentais da robótica esférica.

As perspectivas futuras deste trabalho incluem expansão das capacidades de controle através da implementação de algoritmos adaptativos e técnicas de aprendizagem por reforço, áreas de crescente interesse na robótica contemporânea. A integração de sistemas de visão computacional utilizando a câmera disponível no modelo representa oportunidade para desenvolvimento de aplicações de navegação autônoma e reconhecimento de ambientes. Adicionalmente, a implementação de sensores adicionais como acelerômetros e giroscópios pode enriquecer as possibilidades de pesquisa em controle de estabilidade e orientação.

REFERÊNCIAS

DIOUF, Aminata et al. Spherical rolling robots—Design, modeling, and control: A systematic literature review. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 175, p. 104657, 2024.

AKELLA, Prithvi; O'REILLY, Oliver M.; SREENATH, Koushil. Controlling the locomotion of spherical robots or why BB-8 works. *Journal of Mechanisms and Robotics*, v. 11, n. 2, p. 024501, 2019.

CHANG, Wei-Jer et al. Design and implementation of a novel spherical robot with rolling and leaping capability. *Mechanism and Machine Theory*, v. 171, p. 104747, 2022.

SCHRÖDER, Karla et al. Development and control of a real spherical robot. *Sensors*, v. 23, n. 8, p. 3895, 2023.



4º Congresso Brasileiro
de Ciência e Saberes
Multidisciplinares

**tudo é
ciência**

11º Encontro de Extensão
Universitária do UNIFOA

**23 a 25
de outubro**

Submissões abertas até 07/09

REN, Wei et al. Spherical robot: A novel robot for exploration in harsh unknown environments. IET Cyber-Systems and Robotics, v. 5, n. 4, p. e12099, 2023.

YUE, Haosong et al. Simulation for senior undergraduate education of robot engineering based on Webots. Computer Applications in Engineering Education, v. 29, n. 5, p. 1176-1190, 2021.

MUÑECO interactivo BB-8 Star Wars. Disponível em:
<https://www.amazon.es/Mu%C3%B1eco-interactivo-BB-8-Star-Wars/dp/B015BQK6SS>.
Acesso em: DD Mês AAAA.