CONSOLIDAÇÃO E VALIDAÇÃO AVANÇADA DO SISTEMA EMBARCADO DE CONTROLE DO ROBÔ SAGAN

Eduardo Silva Barbosa, Lucas Meneghetti, Eduardo Suzuki Woellner, Aureo Guilherme Dobrikopf, Douglas Wildgrube Bertol

INTRODUÇÃO

A utilização de robôs móveis em ambientes de difícil acesso ou que apresentem riscos à presença humana exige sistemas capazes de integrar atuação, comunicação, percepção e controle de maneira confiável. No desenvolvimento do robô SAGAN, uma etapa anterior concentrou-se na criação de um ambiente de simulação em ROS e Gazebo e na construção de um protótipo físico de um atuador destinado à locomoção e direção. Os resultados obtidos evidenciaram limitações relacionadas ao dimensionamento do atuador físico e à representação das características de atrito no ambiente simulado, indicando a necessidade de evolução da arquitetura de controle e de sua infraestrutura embarcada.

Dando continuidade ao desenvolvimento do projeto, este trabalho teve como objetivo consolidar a arquitetura do sistema embarcado de controle do robô SAGAN, buscando estabelecer uma plataforma modular e escalável para integração dos atuadores, sensores e sistemas computacionais. Para isso, foram desenvolvidos o projeto de uma placa eletrônica de controle, uma arquitetura de comunicação baseada em CAN, sistemas de teleoperação e um pacote de visão computacional destinado à identificação de cones por meio da câmera do robô. Dessa forma, buscou-se ampliar a infraestrutura necessária para futuras etapas de validação física e desenvolvimento de estratégias de navegação autônoma.

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do sistema robótico foi estruturado em três frentes principais: consolidação da arquitetura eletrônica embarcada, implementação dos sistemas de operação e criação de recursos de percepção visual. A abordagem adotada baseia-se em uma arquitetura computacional distribuída e modular, garantindo escalabilidade, organização e robustez no processamento de tarefas em diferentes níveis de abstração.

Na frente de hardware, projetou-se uma nova placa eletrônica dedicada ao controle embarcado. A infraestrutura integra um computador de placa única Raspberry Pi 4, voltado ao processamento de alto nível, e dois microcontroladores ESP32-DEVKITC-32D, responsáveis pela interface direta com atuadores e sensores. A placa suporta a expansão para até quatro motores CC com acionamentos dedicados e leitura de *encoders*. Para a comunicação intermódulos robusta, adotou-se o barramento diferencial CAN, utilizando controladores internos dos ESP32 via GPIOs 4 e 5 acoplados a transceptores SN65HVD230D. Um barramento I²C independente foi reservado para periféricos compatíveis. Adicionalmente, empregou-se o circuito integrado 74HC595A como expansor de saídas digitais, poupando portas dos microcontroladores para o acionamento de periféricos e integrando malhas de realimentação de movimento.

No âmbito de software e controle, utilizou-se o ecossistema ROS 2 para implementar um sistema de teleoperação compatível com o console Steam Deck. Essa ferramenta estabelece um canal direto e intuitivo para o envio remoto de comandos de locomoção ao robô SAGAN, estruturando o fluxo de dados entre o operador e os nós de atuação.

Por fim, a percepção visual foi estabelecida mediante um pacote de visão computacional em ambiente simulado. O algoritmo processa as imagens da câmera do robô para detectar e rastrear cones no cenário, viabilizando uma camada sensorial primária aplicável a manobras assistidas ou futuras

rotinas de navegação autônoma. Assim, a separação funcional entre os nós computacionais assegura um ecossistema expansível e eficiente.

RESULTADOS

Como resultado do trabalho, foi desenvolvida uma nova arquitetura para o sistema eletrônico embarcado do robô SAGAN, acompanhada do projeto de uma placa de circuito impresso destinada à integração dos principais componentes de controle. O projeto contempla dois ESP32-DEVKITC-32D, interfaces CAN com transceptores SN65HVD230D, comunicação I²C independente, circuitos para acionamento de quatro motores de corrente contínua, entradas para *encoders* e expansão de saídas digitais utilizando o 74HC595A. A utilização de uma arquitetura modular possibilita a ampliação futura do número de periféricos e facilita a organização das conexões entre processamento, sensores e atuadores.

Também foram desenvolvidos recursos de software para ampliar as possibilidades de operação do robô. O sistema de teleoperação possibilitou estabelecer uma interface para controle do SAGAN utilizando um Steam Deck, criando uma alternativa de operação remota para testes e utilização do robô. Paralelamente, o pacote de visão computacional desenvolvido permite utilizar a câmera para identificar cones presentes no campo de visão, fornecendo informações relevantes para futuras aplicações de navegação orientada pela percepção do ambiente.

Os resultados representam uma evolução em relação à etapa anterior do projeto, na qual o desenvolvimento esteve concentrado principalmente na simulação da movimentação e na construção de um protótipo de atuador. Enquanto os trabalhos anteriores demonstraram a utilização do ROS e Gazebo para o controle de alto nível e evidenciaram limitações no protótipo físico, a presente etapa ampliou a infraestrutura necessária para integração de diferentes componentes do robô.

A principal limitação do desenvolvimento eletrônico foi que a placa projetada não chegou à etapa de fabricação, montagem e ensaio experimental durante o período analisado. Assim, os resultados referentes à placa correspondem ao desenvolvimento e consolidação do projeto eletrônico, não sendo possível afirmar sua validação física. Da mesma forma, os sistemas de visão e teleoperação constituem componentes de software desenvolvidos para a arquitetura do robô, devendo sua integração completa com a nova eletrônica embarcada ser aprofundada em etapas posteriores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

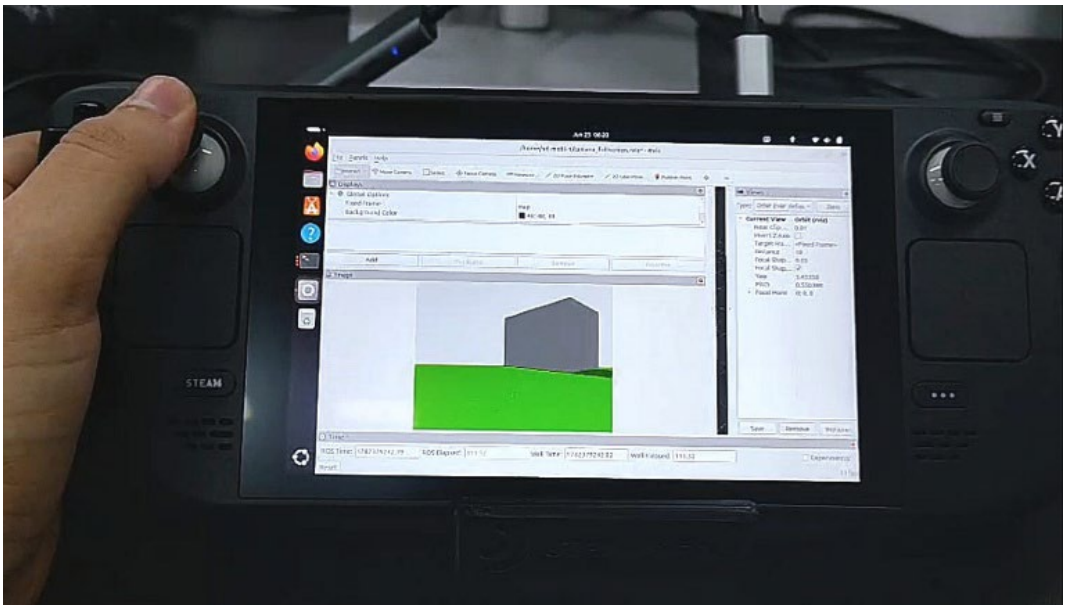
O trabalho permitiu avançar na consolidação do sistema embarcado do robô SAGAN, ampliando sua arquitetura para contemplar não apenas o controle dos atuadores, mas também comunicação entre módulos, operação remota e percepção visual do ambiente. O projeto da nova placa eletrônica estabeleceu uma base modular e escalável para a integração dos componentes do robô, enquanto os sistemas de teleoperação e visão computacional ampliaram as possibilidades de interação e utilização do sistema.

A continuidade do desenvolvimento deverá envolver a fabricação e montagem da placa projetada, seguida de testes individuais dos circuitos e da integração entre os componentes eletrônicos. A validação experimental deverá permitir verificar o funcionamento das interfaces de comunicação, dos acionamentos dos motores, dos *encoders* e da comunicação entre os diferentes módulos. A partir dessa infraestrutura, os recursos de visão computacional poderão ser integrados progressivamente aos sistemas de controle, permitindo avançar de uma operação predominantemente teleoperada para estratégias de navegação e controle assistidos pela percepção visual.

Palavras-chave: sistema embarcado; ROS 2; visão computacional; teleoperação.

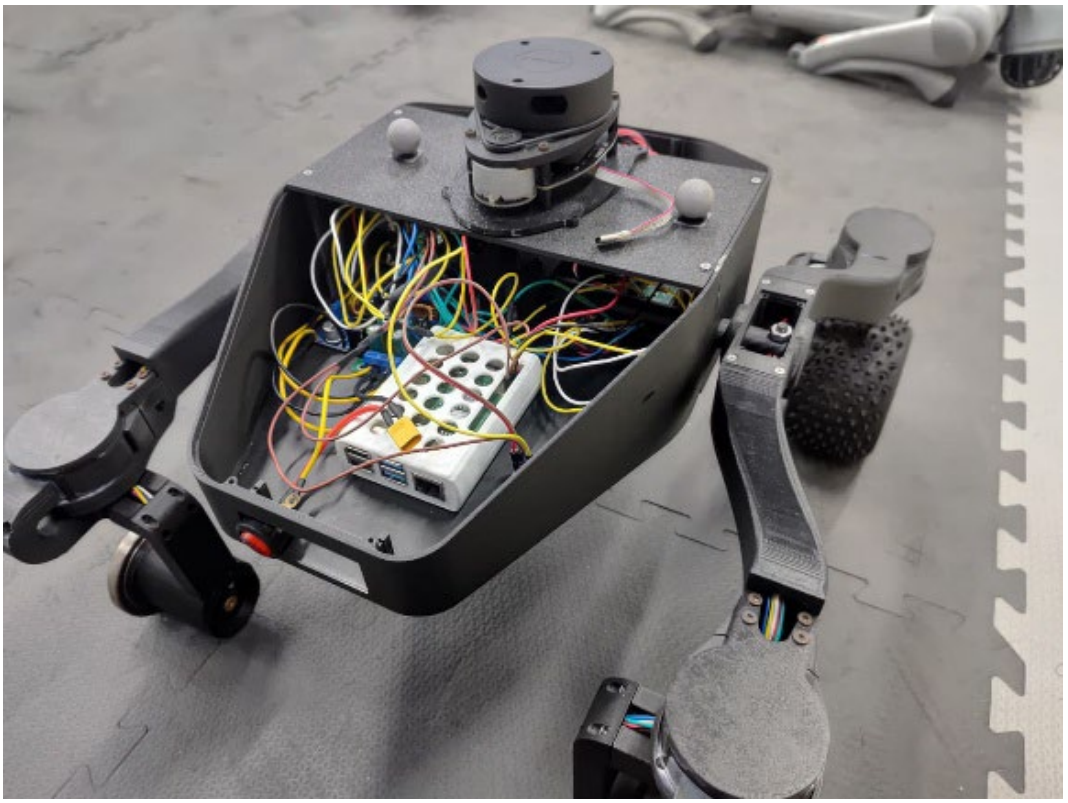
ANEXOS

Figura 1: *Pacote de teleoperação simulado no ROS2*



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 2*: Eletrônica com problemas de mal contato.*



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MENEGHETTI, Lucas. **Desenvolvimento de sistema embarcado de controle para o robô explorador**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2025.