

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

CONTROLE DE ROBÔ MÓVEL POR MEIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM EM SMARTPHONE ANDROID

MATEUS NOGUEIRA A. DE CASTRO¹, FELIPE NOGUEIRA A. DE CASTRO², VINÍCIUS NOGUEIRA A. DE CASTRO³, RAFAEL OLIVEIRA DOS SANTOS⁴, VERA LÚCIA DA SILVA⁵
(ORIENTADORA)

¹Técnico em Automação Industrial, Bolsista CNPq, IFSP, Campus Suzano, mateusnog.castro@gmail.com

²Técnico em Automação Industrial, Bolsista CNPq, IFSP, Campus Suzano, felipe.nog.castro23@gmail.com

³Técnico em Automação Industrial, Bolsista CNPq, IFSP, Campus Suzano, vinicius.nogueira.castro@gmail.com

⁴Técnico em Automação Industrial, Campus Suzano, rafaelsantos90222@gmail.com

⁵Informática, verals@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 9.16.00.00-6 - Engenharia Mecatrônica

RESUMO: Este artigo aborda o desenvolvimento de um robô móvel autônomo projetado para participar da Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR), na modalidade de busca e resgate. O foco tecnológico do projeto é a análise de imagens, implementada em um dispositivo móvel *Android*, escolhido devido à sua alta capacidade de processamento e facilidade de uso. O objetivo principal foi criar um aplicativo *Android*, utilizando a linguagem de programação *Java*, que permite controlar o robô para superar os desafios da competição. O aplicativo executa em um smartphone comum, que devido a suas múltiplas funcionalidades, amplia as capacidades do robô para as exigências da OBR. O aplicativo captura a imagem, processa e envia instruções para a um microcontrolador ESP32 que controla os sensores e atuadores do robô móvel. O protótipo atingiu as expectativas da equipe, porém devido a alta complexidade do método utilizado, não apresentou um bom resultado na OBR.

PALAVRAS-CHAVE: robô móvel; processamento de imagens; aplicativo *android*; OBR; *Linguagem de programação Java*.

MOBILE ROBOT CONTROL THROUGH IMAGE PROCESSING ON ANDROID SMARTPHONE

ABSTRACT: This article discusses the development of an autonomous mobile robot designed to participate in the Brazilian Robotics Olympiad (OBR) in the search and rescue category. The project's technological focus is image analysis, implemented on an Android mobile device, chosen for its high processing capacity and ease of use. The main objective was to create an Android application using the Java programming language that allows control of the robot to overcome the competition's challenges. The app runs on a standard smartphone, which, due to its multiple functionalities, enhances the robot's capabilities to meet the demands of the OBR. The application captures images, processes them, and sends instructions to an ESP32 microcontroller that controls the sensors and actuators of the mobile robot. The prototype met the team's expectations; however, due to the high complexity of the method used, it did not achieve good results at the OBR.

KEYWORDS: mobile robot; image processing; android application; OBR; *Java programming language*.

INTRODUÇÃO

O ser humano tem tido cada vez mais a necessidade de melhorar o desempenho e aumentar a produtividade, principalmente no setor industrial. Com isto em mente, surgiu a automação e a robótica, que têm o objetivo de efetuar várias funções e aplicações de forma automática sem interferência humana (Goulão, 2022, p. 5).

A Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR) é uma competição anual, destinada a incentivar crianças e adolescentes a se aprofundarem no estudo na área da robótica. O desafio enfrentado pelos estudantes é a criação de um robô autônomo capaz de identificar e seguir uma linha preta, subir rampas, superar redutores de velocidade e resgatar bolas que simulam vítimas de acidentes, entre outras tarefas.

Os organizadores da OBR acreditam que “proporcionar aos estudantes de hoje um contato com essa tecnologia pode retirá-los da condição de meros usuários de tecnologia e abrir a perspectiva de torná-los desenvolvedores tecnológicos nas próximas décadas, além de elevar o país e sua juventude a patamares de grandeza comparáveis aos demais países desenvolvidos do mundo” (Manual de Regras e Instruções – Resgate OBR, 2024, p. 5).

Buscando inovar, aprimorar seus conhecimentos e o trabalho em equipe, os autores participaram da OBR prática presencial 2024. A equipe utiliza a Análise de Imagens como uma alternativa aos sensores e técnicas tradicionalmente empregadas na competição. O robô é operado por um aplicativo *Android* desenvolvido e instalado no smartphone de um membro da equipe, e um ESP32 que se comunica com o celular via *wifi*, e controla os sensores e atuadores do robô móvel.

MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento do projeto foram necessários diversos materiais como componentes eletroeletrônicos, materiais para construção de projeto mecânico, como MDF e filamentos ABS e PLA e software especializado.

Para o adequado funcionamento do robô dividiu-se o projeto em etapas, tais como:

- **Controle do robô:** O software criado foi instalado no *smartphone* de um dos membros da equipe, facilitando o acesso e o uso do aplicativo. A comunicação entre o robô e o aplicativo é realizada via *wifi*, utilizando um microcontrolador ESP32. O aplicativo realiza a análise das imagens e envia instruções em formato HTTP para o ESP32 através da rede *wifi* do celular, com um endereço IP específico criado para essa finalidade. Com base nestas instruções, o código embarcado no microcontrolador ESP32 controla os motores e todos os sensores e atuadores do robô móvel.

- **Aplicativo móvel para Análise e processamento de imagem:** Desenvolvido usando a plataforma *Android Studio* e a linguagem de programação *Java*, o aplicativo criado para o robô atua como seu "cérebro", gerenciando todo o processamento de imagens essencial para seu controle. A análise das imagens é realizada pela biblioteca OpenCV, uma ferramenta de código aberto. É uma biblioteca que inclui centenas de algoritmos de visão computacional. Além de ter várias bibliotecas compartilhadas ou estáticas (KINJO, P. & SOARES, T, 2013).

- **Movimentação do robô:** Foram utilizados dois motores DC de 12V e 130 rpm, controlados pela ponte H L298N. As portas PWM da ponte H foram empregadas para controlar a velocidade dos motores. Além disso, foram usadas duas rodas de borracha de 65 mm e uma roda boba localizada na traseira do chassi do robô.

- **PID:** Método utilizado para o robô seguir a linha preta. Este método se baseia em encontrar o erro entre a posição do robô e o centro da linha, dessa forma calculando a correção que deve ser feita na velocidade dos motores para que o erro seja diminuído, centralizando o robô na linha. O erro é encontrado através do processamento de imagem, sendo a diferença entre o centro da linha preta e o centro da imagem.

- **Garra:** Possui a finalidade de realizar o resgate de vítimas na sala 3, representadas por bolinhas prateadas ou pretas com 5 centímetros de diâmetro.

Em “ Introdução ao processamento digital de imagens”, os autores fazem uma explicação sobre o processamento de imagens digitais:

O Processamento Digital de Imagens (PDI) é uma tarefa complexa que envolve várias etapas interconectadas (conforme ilustrado na Fig. 1). O processo começa com a captura da imagem, que geralmente reflete a luz que incide sobre a superfície dos objetos, utilizando um sistema de aquisição. Após a captura, a imagem passa por um processo de digitalização e deve ser representada de maneira adequada para o tratamento computacional. As imagens podem ser representadas em duas ou mais dimensões. A primeira etapa efetiva do processamento é conhecida como pré-processamento, que inclui ações como filtragem de ruídos gerados pelos sensores e correção de distorções geométricas. Para a análise e identificação de objetos, é necessário um conjunto mais amplo de processos. Inicialmente, características ou atributos das imagens, como bordas, texturas e vizinhanças, devem ser extraídos. (DE QUEIROZ, José Eustáquio Rangel; GOMES, Herman Martins, 2006).

A Figura 1 apresenta um esquema visual detalhado sobre o algoritmo do processamento de imagem.

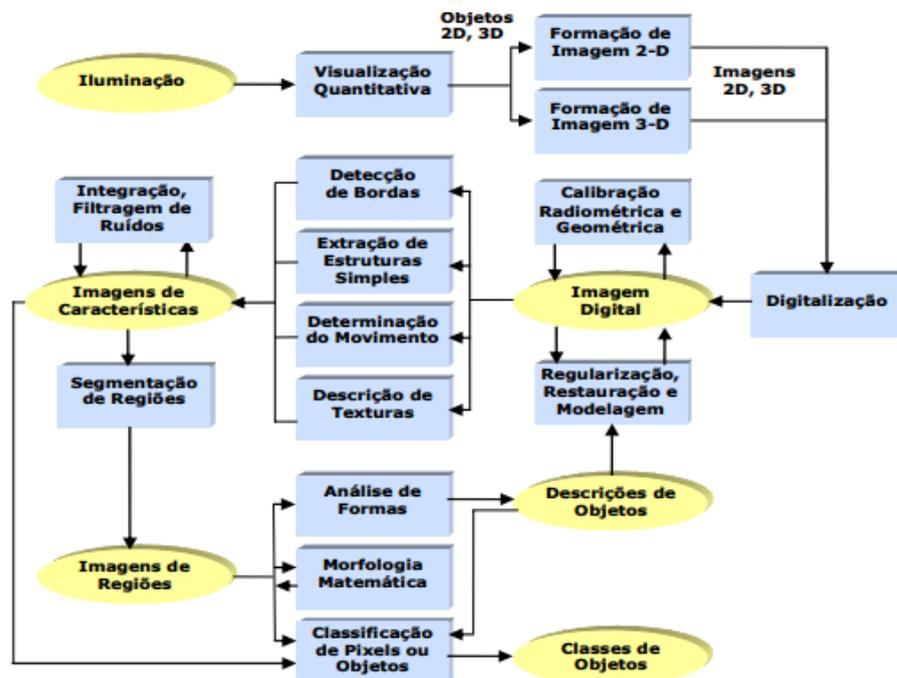


FIGURA 1. Uma hierarquia de tarefas de processamento de imagens.
 Fonte: (DE QUEIROZ, José Eustáquio Rangel; GOMES, Herman Martins, 2006).

A Figura 2 exibe um exemplo de controle do robô móvel seguindo a linha e identificando o marcador verde para resolver o desafio de “Beco sem saída” da OBR.

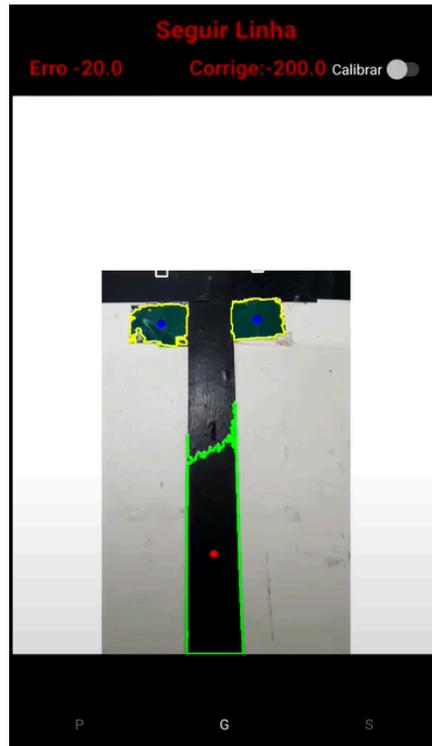


FIGURA 2. Aplicativo identificando a linha
Fonte: Elaborado pelos autores

Modelagem e construção da Arquitetura geral do robô

A arquitetura do robô foi projetada para não ultrapassar as dimensões de 25x25 centímetros, adequando-se ao portal da competição. Ele deve ser capaz de superar redutores de velocidade, subir rampas, desviar de obstáculos e resgatar vítimas na sala de resgate. Portanto, o peso deve ser bem distribuído, a garra deve estar posicionada adequadamente para o resgate, e a estrutura deve ser compacta para evitar complicações.

A base do robô foi projetada com dois andares: O primeiro andar, na parte frontal, abriga os servomotores, fixados por suportes projetados pela equipe, e o sensor ultrassônico, enquanto a parte traseira contém a Ponte H, o ESP32 e o regulador de nível lógico. O segundo andar abriga as baterias, a chave liga/desliga e o regulador de tensão.

Fixação dos motores: Os motores estão fixos na região da frente, utilizando um suporte já existente. O suporte do celular, localizado no centro do robô com uma angulação de 52°, garante que a câmera do celular capture apenas o necessário, sem possíveis obstruções da garra.

Garra: A garra possui um sistema de aprisionamento das vítimas no qual quando é abaixada pelos servos motores para atingir o chão, as bolinhas não caem da garra pois ela possui esponjas coladas nas bordas de sua parte interna. Possui uma haste feita em MDF para acoplar a garra nos servo motores, permitindo sua movimentação.

Todas as partes do robô foram desenvolvidas no software de modelagem 3D Inventor e impressas em PLA. Embora o grupo tenha considerado utilizar MDF e a impressora de corte a laser, essa opção seria mais complexa e arriscada devido à necessidade de encaixes precisos.

As Figuras 3 e 4 exibem as partes do robô móvel desenvolvido. A Figura 5 exhibe o Modelo 3D do suporte do celular, enquanto a Figura 6 contém a garra acoplada ao robô.



FIGURA 3. Parte frontal do robô com celular
Fonte: Elaborado pelos autores



FIGURA 4. Parte traseira do robô
Fonte: Elaborado pelos autores



FIGURA 5. Modelo 3D do suporte do celular no Inventor
Fonte: Elaborado pelos autores

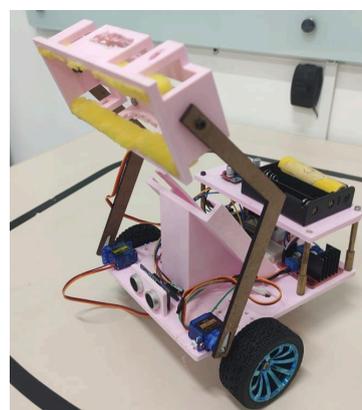


FIGURA 6. Garra acoplada ao robô
Fonte: Elaborado pelos autores

A calibração das cores das imagens capturadas pelo celular, a performance do robô ao seguir a linha, a posição correta do celular no chassi, entre outros testes, foram realizados no laboratório de Robótica do Campus, bem como em suas pistas para robôs seguidores de linha.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O chassi desenvolvido no projeto mostrou resultados satisfatórios, incluindo o espaço reduzido ocupado pelos componentes e a boa posição do celular e da garra. No entanto, a inclusão do dispositivo celular fez com que o robô ficasse maior do que o desejado, apesar do planejamento cuidadoso para minimizar a ocupação de espaço na base.

Devido à angulação do celular de 52° , a garra precisou ser posicionada mais alta, tornando o robô excessivamente largo. Mesmo que o suporte para o celular tenha sido eficiente para sua fixação, uma angulação menor do celular teria reduzido a altura da garra e, conseqüentemente, a largura do robô. Apesar dessa alteração, o robô ainda apresentaria uma largura considerável.

Além do suporte, a garra foi bem projetada, mas os servomotores utilizados não foram suficientes para levantar a garra devido ao seu peso. A substituição dos servomotores atuais por modelos mais potentes, como o MG90S, seria ideal para superar essa limitação.

O robô não conseguiu realizar a totalidade das tarefas propostas pela OBR, ele foi capaz de seguir a linha preta, mas devido a uma série de imprevistos, como iluminação, não recarga das baterias nos intervalos entre as rodadas e falta de otimização do programa, não obteve uma pontuação satisfatória. Os testes no laboratório foram bem sucedidos: o robô seguiu a linha preta, desviou-se de obstáculos, reconheceu o verde e subiu a rampa, mas a equipe encontrou dificuldades na calibração do PID e no reconhecimento da linha de chegada vermelha. Importante destacar que a garra não foi

utilizada na competição, pois a equipe não conseguiu finalizar a lógica da sala 3 e a garra estava muito pesada, de maneira que os servos não a levantavam.

CONCLUSÕES

O robô não conseguiu completar todas as tarefas propostas pela OBR. Embora tenha sido capaz de seguir a linha preta, enfrentou uma série de imprevistos, como problemas de iluminação, entre outros. A equipe deve se mostrar preparada para lidar com tais imprevistos, prevenindo cenários em que haja interferências externas.

Em relação à estrutura do robô, é necessário reduzir seu tamanho, pois o celular ocupa muito espaço e é pesado. A utilização de uma Raspberry Pi em conjunto com um microcontrolador como o ESP-Cam pode permitir a continuidade do uso do método de análise de imagens na busca e resgate da OBR.

Para futuras melhorias, recomenda-se o uso da linguagem de programação *Python*, que oferece uma curva de aprendizado menos acentuada em comparação com a linguagem *Java* e proporciona uma sintaxe mais simples, além de suportar diversas bibliotecas de forma facilitada.

Apesar de tudo, o projeto demonstrou a capacidade de enfrentar os desafios apresentados pela OBR. Com a otimização contínua da tecnologia e aprimoramento das técnicas de processamento e análise de imagens, os resultados futuros tendem a ser mais vantajosos e eficazes.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

V.L.S realizou a disponibilização de ferramentas e supervisão. F.N.A.C, M.N.A.C, R.O.S e V.N.A.C realizaram a conceitualização, curadoria de dados e a redação. M.N.A.C e R.O.S fizeram desenvolvimento, implementação e teste de software. F.N.A.C e V.N.A.C fizeram a metodologia.

AGRADECIMENTOS

A equipe agradece imensamente à orientadora do projeto por constantemente prestar apoio à equipe e pela oportunidade concedida aos alunos de participarem do Laboratório de Robótica. É necessário também agradecer à OBR e ao CNPq pelo suporte ao projeto, por meio da concessão de bolsas de iniciação científica aos membros do grupo. Adicionalmente, a equipe expressa gratidão ao IFSP Suzano pelos materiais e pelo espaço de trabalho fornecidos, essenciais para o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

DE QUEIROZ, José Eustáquio Rangel; GOMES, Herman Martins. Introdução ao processamento digital de imagens, 2006. Disponível em : file:///C:/Users/Desktop/Downloads/Introducao_ao_Processamento_Digital_de_Imagens.pdf. Acesso em: 09 jul. 2024.

GOULÃO, Alexandre Duarte. Navegação de um robô móvel por processamento de imagem. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2022. Dissertação de Mestrado. Disponível em: https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/16779/1/AlexandreGoulao_47990_MEE.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

MANUAL DE REGRAS E INSTRUÇÕES – RESGATE. Olimpíada Brasileira de Robótica (OBR). 2024. Disponível em: https://obr.robocup.org.br/wp-content/uploads/2024/05/2024-Manual-de-Regras-e-Instrucoes-Regional_Estadual-Presencial.v1.1-.pdf. Acesso em: 05 jul. 2024.

KINJO, P. & SOARES, T. OpenCV rastreando objetos, 2013. Disponível em: http://www.academia.edu/4654828/OpenCV_Rastreado_Objeto. Acesso em: 21 out. 2024.