

TDP Roboforge KIT-2: CBR 2024 - Categoria Challenge Kit

Kamilla G. Afonso, Maria L. G. Ferreira, Maria V. G. A. M. Cardoso, Matheus E. Lima, Otávio A. Leite

Abstract—Neste documento, serão apresentadas propostas, roteiros e reflexões estratégicas utilizadas pela equipe Roboforge KIT-2 para a CBR 2024 na categoria *Challenge Kit*.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com a descrição no seu site oficial, a Competição Brasileira de Robótica (CBR) é a maior competição de robótica e inteligência artificial do Brasil, e compreende estudantes universitários, de ensino técnico, médio e fundamental de todo o país. Ela compreende as categorias da *RoboCup Federation*, uma iniciativa científica internacional com o objetivo de promover o desenvolvimento de robôs inteligentes, IA e automação. Cada uma dessas categorias reproduzem diversos problemas do cotidiano, abrangendo diversas áreas da robótica, trazendo desafios para serem resolvidos por robôs autônomos.

A Roboforge é uma equipe de robótica que tem participações na competição desde 2018, trazendo consigo inclusive o histórico de ter sido colocada em primeiro lugar na categoria de robôs desenvolvidos com kit educacional padrão em 2022 (SEK, *Standard Educational Kit*). A equipe é formada por alunos de graduação de diversos cursos e institutos da Universidade Federal de Uberlândia, que participam de diversas competições de robótica, desenvolvem pesquisas em áreas como robótica autônoma e inteligência artificial, além de realizar projetos de ensino e extensão com robótica para a comunidade. Em 2024 a equipe se propõe a participar na categoria *Challenge KIT*, também trazendo consigo as experiências e aprendizados de participações em competições anteriores.

A categoria *Challenge* deste ano traz desafios inspirados no problema da locomoção autônoma em cidades com a utilização de carros inteligentes. Os robôs das equipes competem em um cenário onde precisam levar, sem qualquer intervenção humana, peças que representam passageiros até as áreas que representam seus destinos finais na cidade, incluindo desafios relacionados à dinamicidade do ambiente, com a possibilidade de ocorrência de acidentes e obstrução de vias.

Este documento traz ideias, planos e estratégias que a Roboforge se propõe a desenvolver até a competição de 2024, e está disposto como descrito a seguir. A próxima seção do texto oferece uma visão geral sobre o desafio da categoria em 2024. Em seguida são descritas as principais ferramentas utilizadas pela equipe durante seu fluxo de trabalho. Posteriormente serão detalhados, nessa ordem, a estratégia adotada pela equipe, a metodologia implementada para tal, e os aspectos específicos de hardware e software envolvidos na estratégia adotada.

II. DESAFIO

Em 2024, a antiga categoria SEK (*Standard Educational Kit*) da Competição Brasileira de Robótica se reconfigura na nova categoria *Challenge*, onde as equipes inscritas precisam trabalhar em robôs autônomos que superem os desafios propostos, que são atualizados a cada dois anos. A novidade principal é a divisão entre duas subcategorias: *Kit*, na qual os robôs precisam ser construídos com peças de um único fabricante de kits de robótica; e *OPEN*, onde os robôs podem ser construídos utilizando qualquer tipo de material e hardware, desde que não seja utilizado nenhuma forma de processamento de imagem. O desafio proposto é o mesmo em ambos os casos.

Seguindo a inspiração de uma cidade com diversas ruas e estabelecimentos, a arena da liga *Challenge* é um mapa retangular simétrico, construído na intenção de que duas equipes se enfrentam em uma partida de até 12 minutos onde aquela cujo robô autônomo realizar as tarefas com maior eficiência é definida como vencedora. A eficiência da resolução do desafio é medida de acordo com pontos previamente tabelados, que os robôs recebem ao concluir determinada parte do problema proposto. Em geral, os robôs pontuam ao levar em segurança a representação de um passageiro desde a área de embarque ao seu destino correto na cidade.

Os passageiros são representados por tubos de PVC de 5cm de diâmetro, que ficam dispostos em pé, no início da partida, dentro da área de embarque no mapa. A altura e cor dos tubos de PVC identificam os passageiros de acordo com sua faixa etária, se são adultos (15 cm) ou crianças (10 cm), e de acordo com sua intenção de destino, marcadas pelas cores azul, verde, marrom e vermelho. O destino final é determinado pela cor e tamanho do tubo que representa o passageiro. Por exemplo: tubos verdes que representem crianças devem ser levados até o parque, enquanto tubos verdes que representem adultos devem ser levados até a prefeitura. Existem ainda tubos brancos que representam passageiros que não devem ser retirados da área de embarque.

A área de embarque se localiza no centro do mapa, dentro da marcação azul, e é comum às duas equipes durante uma partida, assim como todos os passageiros disponíveis nela. Portanto, os robôs competem pelos mesmos passageiros durante uma partida, estes cuja quantidade, disposição e posicionamento são decididos pelo árbitro a cada partida. Todos os tubos iniciam, necessariamente, na área elevada da área de embarque, região de 8cm de largura que cobre todo o comprimento do mapa e fica a aproximadamente 1,5 cm de altura do chão.

Os robôs iniciam em posições simétricas do mapa, na área branca, uma equipe de cada lado da zona de embarque, e devem: se localizar, identificar corretamente os passageiros, e levá-los aos destinos corretos, tudo isso de forma autônoma e sem adentrar as áreas dos estabelecimentos. A única permissão para entrada nos estabelecimentos é durante a entrega de um passageiro, e mesmo assim a entrega só é considerada válida caso o passageiro entre na área do estabelecimento passando completamente pela marcação em amarelo do estabelecimento em questão. Os passageiros também devem ser entregues em pé.

Existem também aspectos dinâmicos do desafio, como a possibilidade de posicionamento de obstáculos nas posições marcadas por letras. Esses obstáculos podem ser colocados a qualquer momento da partida pelo juiz, e os robôs são então impedidos de passar por aquela determinada via, tendo que ter as capacidades necessárias para recalcular as rotas e conseguir levar os passageiros com sucesso ainda assim. Outro aspecto dinâmico é o posicionamento de lombadas no circuito, que acontece de forma análoga aos obstáculos.

Cada tipo de passageiro entregue determina uma pontuação diferente, e algumas situações determinam também penalidades de diferentes níveis. As principais penalidades são aplicadas em caso de tudo perdido (robô soltou o tubo em qualquer lugar e forma que não seja no destino correto e em pé), tubo branco retirado da área de embarque, obstáculo não identificado, robô inativo e reinício do robô.

III. FERRAMENTAS

Adiante, serão exploradas as ferramentas cruciais empregadas pela equipe ao longo do desenvolvimento do protótipo do robô para o RoboCup Brasil Challenge 2024. O foco está nas ferramentas que promovem o desenvolvimento colaborativo, com ênfase em soluções baseadas na nuvem e sistemas de versionamento. Essas ferramentas foram essenciais para garantir a integração contínua e a coordenação entre os membros da equipe. A escolha das ferramentas abrange desde o design e a programação do robô até a comunicação e a gestão de documentos.

O Git, um sistema de controle de versão distribuído, é fundamental para o gerenciamento do código-fonte do projeto. Com o suporte do GitHub, uma plataforma web para repositórios Git, a equipe consegue coordenar o desenvolvimento de maneira eficaz, verificar alterações e incluir novos recursos sem comprometer a estabilidade do código. Essa integração é crucial para manter a qualidade e a consistência durante todo o processo de desenvolvimento.

O desenvolvimento do código para o controle do robô será realizado utilizando o Visual Studio Code, um editor de código fonte altamente configurável. Em conjunto com o EV3 Micropython, uma versão da linguagem Python adaptada para o LEGO Mindstorms EV3, o Visual Studio Code facilita a programação e a depuração do software necessário para a navegação autônoma do robô e o controle dos sensores e atuadores.

Para o design do protótipo, utiliza-se o Bricklink Studio 2.0. Esta ferramenta de modelagem e simulação para projetos

LEGO permite a criação de representações tridimensionais detalhadas do robô, o que é fundamental para validar o design e garantir que todas as peças se encaixem corretamente antes da construção física, prevendo desafios na montagem. O uso desta ferramenta auxilia a otimizar o design antes da construção física.

Para a documentação e organização do projeto, emprega-se o Google Workspace, que oferece uma gama de ferramentas de produtividade na nuvem. O Google Docs é utilizado para a documentação técnica e relatórios do projeto, enquanto o Google Sheets ajuda no planejamento de recursos, cronogramas e controle de orçamento. Por fim, o Google Slides é fundamental na criação de apresentações para reuniões, facilitando a comunicação e o compartilhamento de progresso com as partes interessadas.

No quesito criação de diagramas e esquemas, utiliza-se o Excalidraw, uma ferramenta online que permite a criação de ilustrações colaborativas de forma intuitiva. O Excalidraw é utilizado para desenhar diagramas de fluxo e esboços do layout da arena, facilitando a comunicação de ideias e o planejamento visual do protótipo e da estratégia de competição.

Na criação de materiais visuais, como gráficos informativos e materiais de divulgação, a plataforma Canva é uma ferramenta essencial. O Canva possibilita a produção de recursos visuais que melhoram a apresentação dos resultados e a comunicação visual das estratégias e descobertas da equipe.

Finalmente, a comunicação contínua e o compartilhamento instantâneo de atualizações são facilitados pelo Discord, uma plataforma de comunicação que oferece chat de texto, voz e vídeo. O Discord é utilizado para coordenar a equipe em tempo real, realizar reuniões virtuais e discutir questões técnicas e operacionais, desempenhando um papel vital na colaboração do projeto.

Essas ferramentas são indispensáveis para a execução eficiente do desenvolvimento do protótipo, permitindo à equipe colaborar, projetar, programar e comunicar-se de maneira integrada durante todo o processo. A utilização dessas tecnologias contribuirá significativamente para o sucesso do projeto e para o alcance dos objetivos estabelecidos.

IV. ESTRATÉGIA

A abordagem estratégica para o desenvolvimento do robô visa maximizar sua eficiência operacional e simplificar seu design, se aproximando com os desafios do campeonato. O objetivo principal é reduzir o peso e a complexidade, garantindo que o robô seja ágil e principalmente compacto.

A estratégia de compactação e agilidade do robô oferece vantagens significativas para a competição, ampliando suas capacidades operacionais e estratégicas. A compactidade permite ao robô navegar por espaços reduzidos e contornar obstáculos com maior eficiência, o que é crucial em ambientes como os encontrados no campeonato. Isso não apenas aumenta sua capacidade de manobra, mas também reduz o risco de colisões e melhora a precisão durante as operações.

Apesar dos benefícios da estratégia delineada, alguns pontos de atenção merecem consideração. A limitação do número de sensores, essencial para a auto localização e a diferenciação de passageiros, pode exigir recursos da programação mais robustos para garantir uma operação sem falhas durante a competição. Outrossim, a busca por otimização operacional e da simplificação do design deve ser balanceada com a necessidade de manter a robustez do robô baseando-se nas diferentes condições da competição. Esses aspectos exigem uma supervisão cuidadosa contínua ao longo do processo de desenvolvimento, assegurando que o protótipo esteja preparado para a competição.

V. METODOLOGIA

Para garantir que os prazos estipulados para a conclusão das tarefas necessárias para a participação satisfatória da equipe na competição sejam cumpridos, os setores de gestão se encarregaram de elaborar um planejamento estratégico para o período da data de entrega deste documento até a competição. Esse planejamento é baseado em técnicas de metodologias ágeis, amplamente reconhecidas por seu sucesso no gerenciamento de empresas e projetos.

Metodologias ágeis são abordagens de gerenciamento que priorizam a flexibilidade e a colaboração contínua. Em vez de seguir um plano rígido e pré-definido, as metodologias ágeis, como Scrum e Kanban, dividem projetos em etapas menores e mais gerenciáveis, permitindo ajustes rápidos e frequentes com base no feedback e nas mudanças nas necessidades do projeto.

O uso dessas metodologias e técnicas visa otimizar a gestão do projeto, melhorar a comunicação e a colaboração entre os membros da equipe, e garantir que o projeto esteja alinhado com seus objetivos e prazos. Nesse sentido, uma das ferramentas empregadas pela equipe para a elaboração de um cronograma detalhado foi a construção de um diagrama de Gantt.

Um diagrama de Gantt é uma ferramenta visual de gerenciamento de projetos que representa o cronograma de um projeto através de um gráfico de barras. Cada barra indica uma tarefa, com sua posição e comprimento mostrando o início, término e duração da tarefa ao longo do tempo. O diagrama facilita o planejamento, a coordenação e o monitoramento do progresso, permitindo visualizar claramente as interdependências entre tarefas, identificar atrasos e ajustar o cronograma conforme necessário.

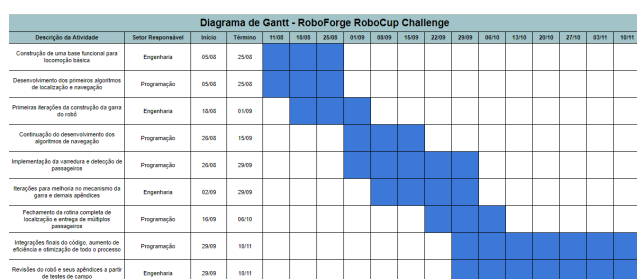


Fig. 1. Diagrama de Gantt com possível planejamento da equipe até a competição.

Enquanto essa ferramenta é indispensável para visualizar e organizar as tarefas que devem ser executadas, esta deve funcionar em conjunto com um sistema de gerenciamento de projetos online, disponível a todos os membros. Dessa forma, é possível delegar e monitorar funções específicas para cada tarefa descrita no diagrama, dividindo-as em etapas menores e possibilitando o microgerenciamento. Algumas das ferramentas utilizadas para este propósito são o Trello, ClickUp e Jira.

VI. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE HARDWARE

Para a engenharia do robô, foi pensado e decidido buscar otimizar e deixá-lo mais simples e eficaz possível, buscando diminuir o peso de várias formas, e utilizando o mínimo de sensores possíveis, seria então mais leve, ágil e compacto, perfeito para a realização dos desafios propostos pelo campeonato. De forma que, fosse possível usar apenas um controlador para todas as atividades necessárias, conseguindo assim uma forma de deixá-lo relativamente muito mais leve no lugar de dois controladores, logo, mais veloz, sendo fundamental para um desafio que exige tempo.

Os robôs se locomoverão com rodas comuns, movidas por motores grandes, disposto um em cada lateral. Durante as primeiras semanas de desenvolvimento da base estrutural, serão realizados testes para identificar quais tamanhos de rodas proporcionam mais velocidade, estabilidade e precisão. Além disso, por se tratar de tração dianteira, será necessário algum apoio na parte traseira, como por exemplo as rodas unidirecionais, sendo dispostas em cada extremidade da parte de trás do robô. Para transportar os passageiros até o local desejado, será instalada uma garra na parte frontal do robô. Esta abrirá e fechará horizontalmente, funcionando como uma pinça.

Quanto aos sensores, serão utilizados apenas quatro, por limitação do controlador, três desses seriam de cores, sendo apenas dois voltados para baixo, para que seja possível a localização do robô no mapa. Esses seriam dispostos nas extremidades do robô, em frente às duas rodas, de forma a identificar a cor do solo antes que o robô entre em alguma área proibida. O sensor de cor restante será utilizado para identificar a cor do passageiro. Serão realizados testes para determinar se o sensor deve ser instalado na parte lateral, para identificar a cor do passageiro enquanto ele escaneia a área de embarque, ou atrás da garra, onde será possível identificar a cor do passageiro quando o robô coletar o tubo.

Outro sensor que será utilizado é o sensor ultrassônico, em algumas possibilidades diferentes. Em primeiro lugar será considerado utilizá-lo na lateral para escanear os passageiros. Nessa alternativa, poderia ser usado um motor capaz de subir e descer esse sensor para que ele consiga também dimensionar a altura do passageiro, a fim de distinguir a faixa etária, também sendo este mesmo sensor responsável por identificar obstáculos (pela lateral, através de manobras na área do circuito). Outra possibilidade que será testada será o mesmo mecanismo na parte da frente, na qual o sensor se deslocaria entre duas alturas diferentes, 15 cm e 20 cm, conseguindo assim identificar se o passageiro é adulto ou

criança, e com os 20 cm estaria sempre acima do passageiro, mesmo embarcado, possibilitando escanear a presença de obstáculos no caminho.

VII. ASPECTOS ESPECÍFICOS DE SOFTWARE

No contexto do desenvolvimento de software destinado a conferir autonomia ao robô criado pelo setor de engenharia da equipe, os responsáveis pela programação, inicialmente - com base nas regras da RoboCup Challenge 2024 - elaboraram um fluxograma simplificado capaz de solucionar de forma satisfatória e robusta o desafio proposto pela categoria. Esse fluxograma destaca as principais rotinas de código a serem implementadas, com o objetivo de facilitar a divisão de tarefas e evitar retrabalho.

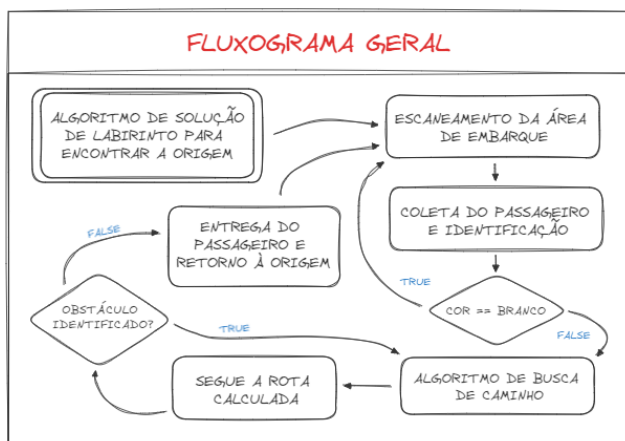


Fig. 2. Fluxograma do desafio proposto.

A. Movimentação e controle de apêndices:

Uma grande dificuldade associada ao uso de um robô mais compacto com uma única controladora EV3 é a limitação imposta ao número de sensores, que fica restrito a quatro. Para contornar a falta de espaço para sensores, a última porta destinada ao controle de motores será adaptada para criar um apêndice que permita alterar a localização de um dos sensores, adicionando uma funcionalidade extra ao sistema.

Considerando o controle deste apêndice, bem como a manipulação da garra responsável pela coleta e entrega dos tubos que representam os passageiros e a movimentação do robô, a equipe de programadores concluiu que era essencial desenvolver os códigos necessários para a operação adequada desses sistemas antes de avançar para as próximas etapas do desenvolvimento.

B. Localização inicial:

A localização é um fator crucial na programação do robô, e, portanto, é necessário adotar uma lógica consistente. Um caminho a ser explorado pela equipe é o de seguir as linhas coloridas na borda do tapete, com o objetivo final de encontrar a área azul. Para aprimorar a localização do robô, a equipe pode considerar as seguintes observações a partir das leituras:

- 1) Três leituras consecutivas de amarelo intercaladas com preto, sem alteração na direção das rodas, indicam que o robô está na área do parque.
- 2) Leituras alternadas de amarelo, com mudanças na direção das rodas ao realizar curvas para o mesmo lado e em posições diametralmente opostas, sugerem que o robô está em um dos estabelecimentos centrais.
- 3) Leituras alternadas de amarelo, com mudanças na direção das rodas ao realizar curvas para o mesmo lado e em arestas adjacentes, indicam que o robô está nos estabelecimentos localizados nas bordas do tapete.

De maneira geral, a lógica consiste em buscar a leitura de uma linha enquanto o robô se move e mantê-lo seguindo essa linha até deixar de ver as cores e começar a ler apenas o tapete branco. Isso forçará o robô a retornar ao estado anterior, onde ainda estava lendo a cor, e a ajustar sua direção conforme necessário.

No entanto, existem desafios a serem solucionados, uma vez que o robô pode circular nos estabelecimentos do meio indefinidamente caso não tenha nenhuma restrição para as tratativas do loop. Uma forma de corrigir isso é analisar se o padrão que o robô está lendo se enquadra no que foi explicitado acima acerca dos estabelecimentos do centro do tapete.

Outro desafio é de como o robô irá contornar os obstáculos de forma eficiente. Haverá mais pesquisa e testes acerca desse fator, porém, uma saída imediata seria apenas mudar a posição de movimentação - com uma ré suficiente para possibilitar o robô virar para outra rua, e tentar um novo caminho, executando sua rotina padrão.

C. Identificação dos passageiros:

Para o desafio da identificação das características determinantes dos passageiros, algumas estratégias serão consideradas de forma preliminar, como já descrito. Numa primeira estratégia um sensor de cor ficará disposto apontado para a lateral direita do robô, de preferência na altura ideal para conseguir identificar mesmo crianças presentes na área de embarque. Este sensor seria responsável pela varredura e identificação de cores dos passageiros identificados. Tratativas seriam feitas em software para utilizar todos os modos do sensor de cor LEGO EV3 disponíveis (reflexão, cor e luz ambiente), assim como tratativas de leituras, a fim de realizar essa identificação da melhor forma possível. Nessa estratégia, a altura dos passageiros seria identificada por um sensor de distância móvel à frente do robô. Enquanto o robô leva um passageiro, esse sensor móvel ficaria numa posição fixa, acima do passageiro embarcado, para identificar obstáculos.

Outra alternativa a ser considerada é dispor o sensor de distância móvel na lateral direita, e o sensor de cor para identificação dos passageiros fixo à frente. O controle em software seria realizado para que a varredura acontecesse com o sensor lateral na altura de uma criança, e após a identificação de um passageiro, através do movimento vertical, esse sensor também possibilitaria a classificação de adulto/criança. A cor do passageiro seria identificada por um sensor fixo na parte frontal, posicionado de forma a ler

o passageiro enquanto ele estiver sendo transportado. Essa alternativa traria uma dificuldade maior para identificação de obstáculos no percurso, que precisariam ser identificados com o sensor da lateral. Para isso seriam realizadas rotinas de varredura lateral durante o percurso no mapa a fim de que os obstáculos consigam ser identificados e evitados quando necessário.

D. Navegação e busca de caminho:

Após a identificação e coleta dos passageiros, para cumprir o desafio proposto se faz necessário a navegação pelo mapa, e a busca do caminho mais eficiente ao local desejado, considerando os obstáculos que impedem o caminho pelas vias.

O algoritmo de Dijkstra é um clássico algoritmo usado em sistemas de *pathfinding*, que pode ser usado tanto em uma matriz quanto em um grafo, na busca pelo caminho mais curto entre dois pontos. De forma a desenvolver um algoritmo robusto para o cálculo de rota, a equipe considerará a utilização do sistema de grafos para representação do mapa, uma vez que esse modo de retratação leva em conta o custo acumulado dos vértices e nós para definir o caminho mais eficiente, desse modo usando uma fila de prioridade que explora primeiro o caminho com menor custo acumulado. Apesar das vantagens apresentadas, a representação por grafos possui uma dificuldade maior em sua implementação.

Considerando que as localizações do mapa são fixas, e apenas os obstáculos têm suas posições modificadas, se faz útil mapear todas as posições possíveis, e considerando isso tanto a representação em matriz quanto a representação em grafos são satisfatórias para resolução do desafio, porém a representação utilizando grafos pode ser mais flexível na forma de indicar alguns caminhos. Um exemplo dessa flexibilidade é na forma de representar as paredes que são obstáculos intransponíveis, em uma matriz há certa dificuldade no cálculo de peso de uma rota considerando as paredes, enquanto em grafos pode ser representado de forma mais abstrata como a ausência de uma aresta.

Também será considerado o uso de outros algoritmos como o Floyd-Warshall Algorithm, que também funciona de forma eficaz em grafos completos, e no cálculo do caminho mais curto entre todos os pares de nós.

VIII. CONCLUSÃO

Portanto, este documento se propõe a expor em detalhes as expectativas de trabalho da Equipe Roboforge de Robótica para a categoria *Challenge KIT* da Competição Brasileira de Robótica em 2024, com preparação entre os meses de agosto e novembro, incluindo detalhes de hardware, software e gestão do projeto. O desenvolvimento do robô não se limitará às estratégias listadas aqui, mas será fortemente guiado pelas mesmas, que assumirão papel de proposta central. Também é importante explicitar que situações imprevistas podem e devem acontecer até a efetiva participação da equipe na competição, e que as ideias aqui apresentadas estão, inclusive por causa deste motivo, sujeitas a alterações. Portanto, a estrutura de gestão da equipe deve estar preparada para

lidar com tais aspectos dinâmicos do desenvolvimento. Dessa forma, a equipe se compromete a avançar nos pontos propostos neste documento e a buscar um desempenho satisfatório na competição.

REFERENCES

- [1] “Regras Challenge 2024”, versão 1.1 - Agosto, 2024.
- [2] “Getting started with LEGO® MINDSTORMS Education EV3 MicroPython”. Disponível em <https://pybricks.com/ev3-micropython/>. Acesso em agosto de 2024.
- [3] “ev3dev is your EV3 re-imagined”. Disponível em <https://www.ev3dev.org/>. Acesso em agosto de 2024.
- [4] “MicroPython - Python for microcontrollers”. Disponível em <https://micropython.org/>. Acesso em agosto de 2024.
- [5] “Competição Brasileira de Robótica”. Disponível em <https://cbr.robocup.org.br/index.php/o-evento/>. Acesso em agosto de 2024.
- [6] “Kanban: conceito, como funciona, vantagens e implementação”. Disponível em <https://www.totvs.com/blog/negocios/kanban/>. Acesso em agosto de 2024.
- [7] “Algoritmo de Dijkstra”. Disponível em https://www.ime.usp.br/~pf/algoritmos_para_grafos/aulas/dijkstra.html. Acesso em agosto de 2024.