

Promovendo a Aprendizagem da Robótica nas Escolas com Metodologias Ativas e o Desenvolvimento de um Robô Móvel Acessível para Redução das Desigualdades Sociais

Carlos Eduardo Magrin
Engineering Lab UniCuritiba
carlos.magrin@unicuritiba.com.br

Thiago Alencar Ribas
Engineering Lab UniCuritiba
thiago@smartlybrasil.com.br

Marlene Seraphim Vitola
Engineering Lab UniCuritiba
marleneseraphim@gmail.com

Iana Carolina Luppi Ribas
SmartLy Dispositivos Inteligentes
iana@smartlybrasil.com.br

Pedro Treaquin
Engineering Lab UniCuritiba
pedro.treaquin@unicuritiba.com.br

Jhoni Jhosep Surdi
Engineering Lab UniCuritiba
jhonijhosep@gmail.com

César Setenareski Magrin
Centro Universitário UniCuritiba
cesar.magrin@unicuritiba.com.br

Eduardo Todt
Universidade Federal do Paraná
todt@inf.ufpr.br

ABSTRACT

This extension project stimulates students' interest in maker culture and various areas of robotics such as mechanics, electronics, and computing. The mobile robot educational kit presents differentials as scalability in production, low cost, flexibility in assembly without screws, and print circuit board project. We researched the literature on active learning methodologies with a PBL and STEAM approach. With the mobile robotics teaching material created by engineering and technology students, they teach robotics courses in high schools and the community. The ROME is an open-source hardware project and is available in <http://github.com/rosie-projects/rome>

KEYWORDS

Robótica nas Escolas, Robótica Móvel, Sistemas Embarcados, Metodologias Ativas

1 INTRODUÇÃO

O projeto de extensão, alvo deste trabalho, tem como objetivo o ensino dos conceitos de robótica móvel nas escolas e para a comunidade, através de minicursos ministrados por alunos da graduação e utilizando materiais didáticos desenvolvidos pelos próprios alunos do projeto.

No contexto deste estudo, o desenvolvimento do projeto deve atender aos objetivos específicos, tais como: pesquisa sobre os conceitos de robótica móvel e metodologias ativas; projeto mecânico, eletrônico e programação de kits de robótica móvel; e o desenvolvimento de material didático, colocando o aluno como protagonista no processo de aprendizagem, para o ensino nas escolas de ensino médio e/ou para a comunidade.

O desenvolvimento de uma plataforma de ensino de robótica móvel já foi abordado pelo autor [1], atendendo como principais finalidades o desenvolvimento de *hard skills* como locomoção e percepção do robô, com o objetivo de aplicação nos cursos de tecnologia e engenharia. Sensores aplicados em robótica móvel, de acordo com a pesquisa de Magrin et al. (2019) [2], apresentam diferentes características para a percepção e mapeamento de um ambiente, assim a utilização de múltiplos sensores auxilia no conhecimento do robô

sobre o ambiente durante a locomoção conforme o planejamento da sua trajetória.

Segundo Bacich (2020) [3], a busca por uma educação que coloque o estudante em um papel investigativo não é algo recente, nem mesmo pode ser atribuída às metodologias ativas. O processo de ensino que busca centrar o aluno na experiência de aprendizagem acontece há mais de um século, e inúmeros educadores e pesquisadores se dedicam a repensar o processo que leva a uma aprendizagem não somente de conceitos, mas que desenvolva também valores e competências. A educação STEM desenvolve competências importantes, como a criatividade, o pensamento crítico, a comunicação e a colaboração. O termo STEM é um acrônimo em inglês para *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*, ou seja, a junção das iniciais das áreas de ciências, tecnologias, engenharia e matemática. O movimento educacional, com foco em competências e habilidades (*skills*), deve ser adequado aos contextos sociais, culturais e educacionais de cada local. Uma das formas de referência do STEM é a utilização de kits educacionais, porém não obrigatórios, com abordagens em dispositivos robóticos e impressoras 3D na criação de protótipos, onde o estudante deve trilhar no sentido de resolver problemas com as habilidades adquiridas no processo de aprendizagem. A metodologia STEM, através da cultura *maker*, busca estimular o pensamento crítico assim como a pesquisa científica e a pesquisa tecnológica, além das habilidades associadas ao saber fazer.

Este trabalho apresenta metodologias ativas no contexto da robótica educacional, utilizando conceitos das metodologias PBL (*Project Based Learning* - Metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos) e STEM, assim como contextualizando os impactos sociais na aplicação de novas práticas educacionais e de engajamento do aluno através das novas tecnologias, onde o aluno deixa de ser apenas um receptor passivo e passa a participar ativamente de atividades em grupo. Acessibilidade dos alunos às tecnologias visam reduzir a desigualdade social. Desta forma, o projeto de extensão **Robótica Móvel nas Escolas (ROME)** procurou escalar os processos de produção no laboratório *maker* da instituição com o objetivo de desenvolver os kits didáticos de robótica móvel pelo custo inferior a R\$100,00.

Os projetos do kit didático **ROME**, incluindo esquemático eletrônico e o *layout* da placa de circuito impresso, projeto CAD mecânico e programa CNC para corte laser, bem como rotinas de programação para testes com a plataforma, estão disponíveis abertamente para a comunidade em <http://github.com/rosie-projects/rome>. A proposta de aprendizagem coloca os estudantes dos cursos de graduação como protagonistas no desenvolvimento dos kits didáticos e ensino de robótica, com ênfase nas áreas tecnológicas de eletrônica, mecânica e programação, aprimorando além das *hard skills* na montagem das plataformas robóticas, *soft skills* com o trabalho multidisciplinar ensinando robótica nas escolas de ensino médio e para a comunidade.

A organização do artigo é a seguinte. Após a introdução, na Seção 2 é feita uma descrição sobre as metodologias de ensino. Na Seção 3 é apresentada uma revisão da literatura. A Seção 4 apresenta as etapas de desenvolvimento do kit didático de robótica móvel. Além disso, são apresentados os resultados alcançados com a pesquisa e desenvolvimento da plataforma de robótica móvel educacional. Finalmente, na Seção 6 é concluído o artigo.

2 METODOLOGIAS DE ENSINO

A desigualdade vem se transformando de forma acelerada no maior problema social da humanidade. É, também, um tema bastante complexo e que impacta diretamente a economia mundial. Segundo Coutinho [4], isso tem acontecido mesmo com o crescimento acelerado de países notáveis como China e Índia, e que mesmo no mundo rico, a desigualdade produz efeitos nocivos em vários aspectos da vida social.

Nos últimos anos houve diversos avanços no combate à desigualdade, processo que ultrapassa a esfera ideológica e política, e requer, não apenas do Estado, demandas por novas formas de ação que percebam e dialoguem com as disposições produtivas, em termos de crescimento e proventos econômicos. Dentro deste contexto Silva [5] argumenta que, quaisquer que sejam os entes, privados ou estatais, devem colaborar com ações concretas para termos a base na construção da igualdade dentro da esfera social.

Não é de hoje que os modelos pedagógicos tradicionais de aprendizagem vêm sendo questionados. Segundo Campos and Blikstein [6], o movimento da Escola Nova sobre novas didáticas, iniciado no final do século XIX, na Europa e na América, fomentaram debates colocando em questão o formato no qual o professor é o centro do discurso e o aluno o coadjuvante receptor da mensagem, através de metodologias, como as aulas expositivas, projetos e seminários. Porém, com a tecnologia cada dia mais presente, a importância da inovação no aprendizado ganha mais atenção nesses debates.

O pensamento de Paulo Freire (1987) [7] já vinha ao encontro dessas ideias quando o mesmo explanou sobre o processo educacional, sempre destacando questões essenciais nas práticas educativas. Dentre elas, a questão da consideração ao professor, como sujeito que aprende e ensina através de uma comunicação ativa com os estudantes, assumindo uma relação horizontal educador-educando. Essa é um questão fundamental e primordial para que o mesmo torne-se crítico e ao mesmo tempo protagonista fazendo parte da mudança como um todo.

A cultura digital transformou a educação. A informação e o conhecimento através da internet e redes sociais, conectadas por

diferentes dispositivos, não se limitam a um espaço físico como uma sala de aula. Diante deste amplo acesso, sem limites de espaço e tempo, surgem novos comportamentos, sejam na participação, colaboração, discussões, interações, críticas, criando assim novos interesses, novas formas de relacionamento e aprendizagem, diferente da educação tradicional.

Neste artigo tratamos da aprendizagem através de metodologias ativas, onde o aluno deixa de ser um receptor passivo e passa a tomar o lugar do centro do processo, sendo assim, inserido no desenvolvimento do aprendizado, participando ativamente das atividades em grupo, questionamentos, resolução de problemas, processos de criação, análise crítica e o professor passa a ser um condutor do aprendizado. Auxiliando nas suas escolhas, na administração do tempo, direcionando dentro do tema proposto e participando com mais autonomia na aplicação de metodologias propostas.

Para as autoras Pischetola and Miranda [8] a centralidade do aluno simplifica o processo educacional sem modificar a estrutura de sala de aula e a aplicação de metodologias ativas são soluções inovadoras que se aplicam com diferentes tipos de aprendizagem, porém aplicável a qualquer aluno e contexto integrando diferentes disciplinas e tecnologias.

2.1 Robótica móvel e metodologias ativas

Em entrevista à publicação Ensino Superior, a psicopedagoga americana McGlynn [9], autora do livro *“Teaching today’s college students”* (“Ensinando os universitários de hoje”), ressalta que:

“É necessário provocar os alunos, tirá-los da apatia com assuntos e temas de seus interesses. Fomentar discussões, avaliar soluções para um desafio, apontar problemas em uma solução, enfim, manter um diálogo constante e não um monólogo do professor.”

Educar separando a teoria da prática é impossível, uma vez que educar é verbo, é ação. É pela prática que orientamos nossa reflexão do fazer coletivo [6]. Apesar de muitas escolas ainda praticarem o método tradicional de ensino, a aplicação de metodologias ativas têm sido um grande aliado na evolução da aprendizagem e a tecnologia não pode mais ficar fora deste contexto, visto que ela faz parte do nosso cotidiano desde a primeira infância, podendo ser aplicada em diferentes metodologias e integrando alunos e disciplinas distintas, como é o caso das metodologias PBL e STEAM. Ambas utilizam-se da cultura *maker* que surgiu no final da década de 60 com a filosofia *“Do It Yourself”* que entende que qualquer um pode fazer ou consertar seus próprios objetos [10].

Em seu estudo, Andriola [11] diz que o ensino de robótica auxilia o aprendizado de diferentes matérias, não apenas em ciências exatas, mas também nas ciências humanas. Defende, também, que os fundamentos do pensamento lógico são formados no ensino fundamental e neste ambiente são vivenciadas as primeiras experiências da vida acadêmica, o que torna propícia a implementação de atividades lúdicas que possam estimular a criatividade. Estas metodologias, baseadas no uso da robótica, são aplicações que demandam planejamento para o desenvolvimento proposto, instrução aos professores para aplicação das linguagens básicas de programação, espaço adequado para as atividades de montagem do projeto a ser realizado e, portanto, é necessário o envolvimento de todos que estão engajados diretamente no processo disciplinar da instituição. Apesar desta prática se revelar bastante eficaz, se faz necessária

a busca por alternativas de baixo custo para que se popularize e seja acessível a todas as escolas da rede de ensino, pois o alto custo da maioria dos kits de robótica disponíveis no mercado é um fator limitante que deve ser superado.

A pandemia trouxe uma série de desafios e ensinou a superar questões práticas. O uso de recursos e técnicas para garantir a continuidade das ementas disciplinares foi de fundamental importância e se tornou parte do nosso cotidiano. Com o ensino remoto foi possível agregar conhecimentos e fazer com que os alunos desenvolvessem outras formas de habilidades. Segundo De Abreu Alves e Silva et al. [12], com a utilização de simuladores o aluno poderá ter seu primeiro contato com a robótica de forma fiel e de baixo custo, complementando a didática praticada presencialmente na hora de ter contato com os robôs.

2.1.1 Metodologia PBL. Metodologia de aprendizagem baseada em projetos. O professor propõe algo e um desafio é lançado, estimulando alunos a se envolverem em soluções do mundo real. Assim inicia o processo de construção de conhecimento de maneira ativa, colaborativa e interdisciplinar, estimulando aos alunos o incentivo a respostas, trabalho em equipe, solução de problemas do mundo real, colaboração, comunicação criativa e pensamento crítico, habilidades que se alinham diretamente com a educação 4.0 [13].

Apesar de todos participarem do processo, é no professor que vemos a maior transformação que, ao contrário do modo tradicional, ele não entregará o conteúdo de uma só vez, mas sim através de orientação no desenvolvimento do projeto. Sem oferecer fórmulas prontas ele contribui para construção coletiva e desenvolvimento de habilidades como a comunicação interpessoal, a autonomia e a busca de soluções por parte dos alunos [14]. Assim, os alunos sentirão esta transformação assumindo um novo papel em sala de aula, participando do processo educativo, com voz ativa, ele passa a ser protagonista da própria aprendizagem, desenvolvendo habilidades de trabalho em equipe e responsabilidade, buscando novas práticas pedagógicas, com aprendizado que vai além da sala de aula, Eive dos S. Silva et al. [15] reforça que o professor deve ter uma boa didática para atrair o aluno para que o conhecimento seja aplicado em sua vida. Em seu estudo os autores acreditam que a tecnologia e a educação contribuirá no aprendizado preparando jovens para os desafios da Indústria 4.0, lidando com suas aptidões e competências de forma organizada e colaborativa.

2.1.2 Metodologia STEAM. As mudanças na educação vêm crescendo rapidamente, mas Lilian Bacich [3] alerta em seu livro, STEAM em Sala de Aula, sobre esta evolução:

“Na última década, muitas tecnologias, metodologias e estratégias de aprendizagem surgiram na área da educação, muitas vezes com a intenção de parecer uma solução para a falta de engajamento e protagonismo dos estudantes, outras vezes como forma de lidar com um sistema educacional pouco aberto às mudanças”.

Os autores [3] trazem conceitos sobre a implementação da metodologia STEM, que surgiu nos Estados Unidos em projetos de educação científica no período da Guerra Fria, a partir da junção das iniciais das áreas de ciências, tecnologias, engenharia e matemática. Hoje é um movimento acadêmico global, sempre adaptado às realidades sociais, culturais e educacionais onde é implementado. Desenvolver competências e habilidades é a grande oportunidade da inserção das abordagens STEM/STEAM nas propostas pedagógicas.

Lembrando que o termo STEAM acrescenta o campo das artes, atribuído a inicial (A) deste acrônimo, e traz consigo uma questão pragmática quanto à necessidade do desenvolvimento conjunto, entre as ciências exatas e humanas. Para Menezes [3], o A de artes e design, deu maior abrangência à proposta original STEM em qualificar estudantes para um ambiente social e produtivo em desafiado ritmo de transformação, constituindo um movimento para uma educação básica em que conhecimentos e valores se combinem na realização de atividades propositivas, críticas e construtivas. Lima [3] cita que devemos nos questionar sobre o projeto pedagógico que queremos para a formação de novos alunos, e neste pensamento entender o quão importante é a arte para quebrar paradigmas e romper com os limites da ciência. O design estabelece parâmetros, proporcionando diretrizes técnicas, materializando ideias, aproximando os universos envolvidos.

A metodologia STEAM além de ser baseada em projetos, assim como a PBL, e com a integração das disciplinas, torna-se uma metodologia multidisciplinar, que agrega conhecimentos para um objetivo comum. A integração e o trabalho colaborativo na metodologia STEAM vai levar à sala de aula discussões sobre como lidar com a solução de problemas diários e comuns a todos de forma científica, humanizada e autônoma, através da cultura *maker*, grande aliada no aprendizado colaborativo e interação relativo às metodologias ativas [16].

Complementando a já existente STEAM, intensifica o aprendizado com manifestações e expressões de ideias com diferentes linguagens. Este processo é composto de etapas, como: investigar, descobrir, conectar, criar e refletir. Estas etapas podem ser trabalhadas de algumas maneiras, como dividir os alunos em grupos para que possam discutir e encontrar diferentes formas de solução de um determinado problema, podendo ser problemas reais. Provocar debates para que surjam diferentes hipóteses e a troca em grupo desenvolva habilidades como o compartilhar, interpretar, refletir, colaborar, criticar e juntos entenderem a importância do trabalho colaborativo. Nesta metodologia ativa o professor é o mediador do aprendizado, lembrando que a integração é o centro desta didática, transformando a sala de aula comum, por isso, precisa ser capacitado, estar atento ao currículo oferecido para que possam estimular e auxiliar os alunos a encontrarem respostas para a solução dos problemas propostos, integrando as áreas que fazem parte do STEAM [17].

Uma forma bastante comum e efetiva da aplicação da metodologia STEAM para o ensino da robótica nas escolas é o treinamento contínuo de alunos e professores, organizando equipes, com o intuito de participarem em diferentes formas de torneio. De acordo com Oliveira et al. [18] a robótica pode também ser apontada pelos educandos mais como uma forma de entretenimento contribuindo com o aprendizado das demais disciplinas e funcionando como uma ferramenta de apoio para os professores.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Através de uma breve revisão da literatura, podemos encontrar nas pesquisas acadêmicas sobre robótica educacional resultados relevantes, são eles: indicar parâmetros para direcionar o desenvolvimento deste projeto de extensão, metodologias ativas aplicadas ao ensino da robótica, e as plataformas robóticas utilizadas.

É notável a propagação do ensino de robótica na América Latina nos últimos anos em instituições de ensino, institutos e em empresas [12]. A robótica educacional, quando incluída nas salas de aula, oferece uma aprendizagem crescente que transita por diversas áreas e habilidades técnicas, trabalhando competências do aluno para potencializar seu desenvolvimento e construir um futuro [19–21]. Desta forma, observa-se a importância de aplicar esse conteúdo nas salas de aulas brasileiras. Entretanto, o ensino de robótica ainda precisa ser adaptado e trabalhado como uma ferramenta pedagógica, enfrentando resistência pelas instituições de ensino, onde grande parte das escolas carecem de estrutura e de recursos adequados e de professores, que encontram dificuldades pela falta de capacitação e de adesão na utilização das novas tecnologias [22–25]. Assim, mostra-se necessária a difusão contínua das vantagens do uso da robótica como ferramenta de ensino, cabendo também esforços para inserção dos professores nesses novos conhecimentos [18].

Outra dificuldade que acompanha o ensino da robótica é o elevado custo dos robôs educacionais, se tornando muitas vezes um fator limitante que privilegia somente alguns alunos [12]. Por consequência, encontram-se alternativas, sendo elas o uso de sistemas interativos à distância [26] e a pesquisa no desenvolvimento em kits de baixo custo [27]. Os kits educacionais de robótica, na maior parte, são plataformas próprias para os projetos, tendo a vantagem de se tornar uma forma eficiente para superar dificuldades no ensino de robótica [12, 28]. Há, também, kits constituídos de lixo tecnológico e de materiais recicláveis, que exploram propostas ainda mais sustentáveis [23, 24, 29].

Em relação às metodologias, observa-se uma periodicidade no uso de metodologias ativas PBL e STEM. A metodologia PBL é adotada principalmente por preparar os alunos para as competências exigidas do mercado no século XXI, fazendo isso em atividades baseadas em uma aprendizagem construcionista e dinâmica, trabalhando a criatividade, comunicação, organização e interação [15, 30]. A metodologia STEM é diferenciada por aplicar a transdisciplinaridade, incorporando para o aluno uma vasta gama de perspectivas e experiências que trabalham competências técnicas [31]. A abordagem do STEM também gera um ambiente inclusivo, que encoraja estudantes não motivados a participar e contribuir [18, 32]. As metodologias PBL e a STEM são aplicadas paralelamente com a montagem do robô educacional, permitindo assim aumentar a percepção do projeto e de estabelecer conexões entre as diferentes abordagens de aprendizado [28].

Os próximos tópicos apresentam os resultados encontrados das pesquisas dos robôs educacionais disponíveis no mercado e dos cursos de robótica nacionais e suas respectivas metodologias de ensino.

3.1 Plataformas robóticas educacionais comerciais

Foram analisados alguns dos principais robôs móveis disponíveis no mercado. A Tabela 1 mostra uma comparação entre os recursos, linguagens de programação e uma estimativa de custo das plataformas robóticas encontradas no mercado brasileiro e americano.

Os robôs educacionais disponibilizam detalhada documentação e plataforma desenvolvida para suporte ao usuário. Dentre os diversos

Tabela 1: Robôs Móveis Educacionais Comerciais

Robôs	Recursos	Linguagem	Custo (R\$)
Pali [33]	Ultrassom Peças Paliggo	C/C++ Arduino	R\$360,00*
Sparki [34]	Ultrassom Controle IR Sensor IR Bluetooth Acelerômetro Magnetômetro Pega objetos	C/C++ Arduino	R\$850,00**
Sphero BOLT [35]	Sensor IR Bluetooth Acelerômetro Magnetômetro Giroscópio Encoder Prova d'água	Scratch JavaScript	R\$1.000,00**
TurtleBot3 Burger [36]	Laser 360 Acelerômetro Magnetômetro Giroscópio	Padrão ROS Raspberry Pi	R\$3.390,00**
LEGO Mindstorms EV3 [37]	Ultrassom Controle IR Sensor IR Giroscópio Visão WiFi Blocos EV3	Scratch EV3	R\$3.800,00**

*valor estimado, mercado nacional, sem custos de envio.

**valor estimado, mercado americano, em dólar com cotação R\$5,65 de 10/01/2022, sem custos de envio, taxas e impostos.

modelos, Tabela 1, podemos citar diferenciais como documentação da construção 3D, aplicativos próprios, fóruns e comunidades *on-line*, e aulas gravadas por professores e especialistas. A complexidade de cada modelo pode variar de acordo com faixa etária, entretanto, é possível ativar funções avançadas de programação do robô, como é o caso do LEGO Mindstorms EV3 [37]. As plataformas robóticas educacionais também possuem capacidade de expansão com novos componentes, disponibilizados pelo fabricante, a fim de garantir novas funções aos seus robôs. Dentre os recursos, destacam-se o uso de controle remoto do robô por infravermelho, apresentação de informações do robô por um módulo LCD, presença de microfones, alto falantes para interatividade com o usuário e sensor para mapeamento com laser. Os robôs educacionais estão disponíveis em um ecossistema de código aberto para facilitar a programação, seja ele disponibilizado pelo desenvolvedor do sistema microcontrolado, no caso das plataformas Arduino com linguagem

C/C++ adaptada, utilizando linguagem baseada em blocos (*Scratch*), ou até mesmo os robôs com proposta em educação e pesquisa como o TurtleBot3 [36] que utiliza ROS (*Robot Operating System*) [38] como ferramenta de desenvolvimento das funcionalidades do robô.

3.2 Metodologias adotadas nos cursos de robótica

Observando as metodologias adotadas nos principais cursos de robótica no âmbito nacional, encontramos aplicações de diferentes metodologias ativas. Segundo a pesquisa apresentada na Tabela 2, os cursos para desenvolvimento de robótica são na maior parte das vezes em formato presencial, observando-se que mesmo que haja a possibilidade do uso de simuladores no ambiente *on-line*, é no ambiente presencial que ocorre um maior desenvolvimento dos conhecimentos técnicos e práticos envolvendo a montagem dos robôs, o contato com componentes eletrônicos, e uma efetividade maior na aplicação das metodologias ativas. Desta forma, entre os cursos, mostram-se métodos de ensino criativos baseados e/ou derivados das metodologias ativas, como LET (*Lean Education Technology*) - a construção do conhecimento por conceitos de *soft skills*, empreendedorismo, *design thinking* e criação de protótipos; PBL - a resolução de desafios, apoiada em diversos projetos colaborativos e interdisciplinares; STEM - com foco na capacitação de competências e habilidades técnicas, construída em cima de uma multidisciplinaridade nas áreas do conhecimento; Gamificação - o uso de elementos dinâmicos presentes nos jogos para resolver problemas e desenvolver habilidades técnicas. Cada metodologia tem suas características, assim os cursos utilizam dos conceitos como ferramenta de aprendizagem.

Destacando-se também alguns diferenciais que agregam ao ensino, como um curso de robótica bilíngue da SuperGeek, pensado em uma melhor compreensão da sintaxe utilizada nas linguagens de programação; o foco na redução das desigualdades da Robolivre, promovendo o desenvolvimento de projetos sustentáveis e cursos gratuitos; e a possibilidade de um treinamento personalizado por aluno na Happy Code, dando suporte para empreender e criar um portfólio para a carreira.

Tabela 2: Metodologias de Ensino de Robótica

Escola	Plataforma	Metodologia	Ambiente
Happy Code	Lego Mindstorms	LET	Presencial
Código Kid	Própria c/ Arduino	PBL	Presencial
Robot Educ.	Lego Mindstorms	Gamificação	<i>On-line</i>
RoboLivre	Própria c/ Arduino	STEM	Presencial
SuperGeek	Própria c/ Arduino	Gamificação	<i>On-line</i>
Robotics Lab	Própria c/ Arduino	STEM	Presencial

4 DESENVOLVIMENTO

A plataforma robótica ROME foi desenvolvida com o objetivo de disponibilizar uma ferramenta de aprendizagem *open-source hardware*, ou seja, os projetos disponíveis abertamente para a comunidade em <http://github.com/rosie-projects/rome>.

Avaliando a escalabilidade do projeto de extensão, os processos de produção devem ser atendidos através de equipamentos usuais de laboratórios *makers*, como: impressora 3D, máquina CNC de corte a laser e estação de solda de componentes eletrônicos. Os projetos da plataforma robótica móvel foram desenvolvidos de forma colaborativa entre os alunos dos cursos de Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Mecânica, Tecnologia em Mecatrônica Industrial e Análise e Desenvolvimento de Sistemas orientados no projeto de extensão **Robótica Móvel nas Escolas**.

Para atender as demandas de desenvolvimento do kit didático de robótica móvel, o projeto foi segmentado nas áreas de eletrônica, mecânica e programação.

4.1 Eletrônica

Para o desenvolvimento da placa de circuito impresso (PCB - *Print Circuit Board*) foi utilizado o *Autodesk Eagle Student*, Fig. 1, tomando como base o custo, mas priorizando o desenvolvimento e aprendizado do aluno através da placa, sendo utilizados alguns componentes chave na placa, que foram escolhidos especificamente para ampliar a base de conhecimento do aluno em eletrônica e direcionar o aprendizado. A placa é dividida em dois circuitos principais: eletrônica de potência com a ponte H e motores, e controle com o microcontrolador e sensores.

O componente principal da placa é o microcontrolador AVR ATmega328P [39], o mesmo microcontrolador da placa Arduino Uno. Alguns recursos do microcontrolador são: arquitetura de 8-bits, memória flash de 32kB, SRAM de 2kB, EEPROM de 1kB e 23 pinos I/O's.

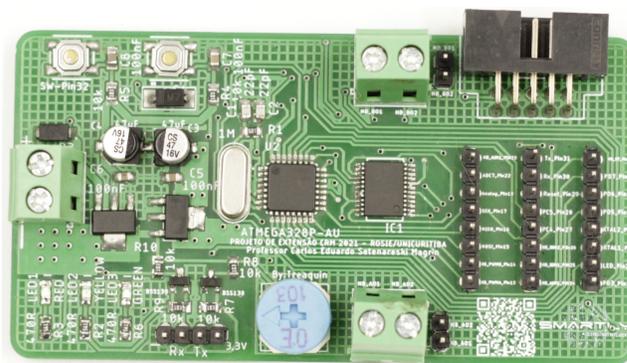


Figura 1: Placa de circuito impresso desenvolvida no *Autodesk Eagle Student*. Imagem mostra a disposição dos conectores e componentes SMD utilizados na placa, com a finalidade de redução do tamanho e custos do projeto.

O projeto eletrônico conta também com a possibilidade de utilizar sensores de distância ultrassônico, sensores ópticos seguidores de linha e um módulo de comunicação *bluetooth*, visando fornecer aos alunos a possibilidade de configurar o robô de diferentes formas e para diferentes aplicações, acrescentando conhecimentos ao aluno durante o desenvolvimento do projeto.

O circuito de potência possui uma ponte H TB6612FNG [40], com limitação de tensão de 15V com uma corrente de até 1,2 A constante e até 3,2 A de pico, e é controlado pelo ATmega328P

através de modulação por largura de pulso (PWM - *Pulse Width Modulation*), o qual, por sua vez, controla a velocidade de ambos os motores do robô. Os motores foram escolhidos priorizando duas características, tamanho e torque, sendo optado pela utilização do motor de corrente contínua N20, com 500 RPM e com caixa de redução - por ser um motor compacto, que funciona de 6 a 12 V com um consumo relativamente baixo. O projeto eletrônico também conta com periféricos para auxiliar o usuário na visualização e em conexões externas da placa, LED's para sinalizar a alimentação de saída dos reguladores 3,3 V e 5,0 V e um LED como saída do microcontrolador, além de dois botões do tipo *push button* para controle do usuário. Na PCB, visando flexibilizar o desenvolvimento dos projetos, foram dispostas 3 barras de pinos isoladas à direita da placa comportando todos os pinos do microcontrolador, assim o usuário pode incluir demais sensores e *displays*.

Para a gravação do ATmega328P foi utilizado conector IDC (*Flat Cable*) Macho 90°, que permite o usuário gravar a placa com um programador USB para microcontroladores Atmel AVR USBasp, utilizando a IDE Arduino e uma porta USB do computador. A placa do robô **ROME** é a segunda versão do projeto de PCB, na primeira versão foram utilizados majoritariamente componentes tradicionais PTH (*Pin Through Hole*), sendo aproveitados no projeto da segunda versão (Fig. 1) para reduzir o tamanho com componentes SMD (*Surface Mount Device*), incluir barra de pinos para facilitar a prototipação e substituir os transistores discretos pelo circuito integrado de ponte H dupla.

4.2 Mecânica

Para o desenvolvimento da plataforma mecânica foi utilizado o *Solid Edge Student* e *Autocad 2020*. O modelo de plataforma foi definido com base em custos e complexidade. O custo da plataforma, com motores e partes eletrônicas, não poderiam ser superiores aos preços praticados no mercado atualmente. O modelo adotado para o projeto foi o 2WD, por se tratar de uma plataforma mais simples, utilizando-se de apenas duas rodas acopladas a motores com reduções e 2 patins para estabilidade. O dimensionamento e formato da plataforma levou em consideração o valor dos materiais, tamanho dos motores e capacidade de acomodar 5 sensores de ultrassom HC-SR04, sendo eles um frontal, dois a 45° do primeiro e mais dois a 90° do primeiro, dado esses parâmetros foi escolhido o formato circular para a plataforma, parecendo um disco. Para que fosse o mais compacto possível, foi estabelecido que a plataforma tivesse dois andares, uma para os motores, suporte das baterias, sensor seguidor de linha e patins e o outro andar para os sensores de ultrassom e a placa de controle.

A Fig. 2 mostra o processo de montagem em MDF da plataforma robótica **ROME**, o qual foi projetado em uma versão estilo quebra-cabeça, não se fazendo necessário nenhum tipo de ferramenta para encaixar as peças da plataforma, nenhuma parte precisa ser colada, nem parafusada, reduzindo o custo da plataforma e melhorando a praticidade para montar o kit.

Primeiramente, após testes realizados, o material escolhido foi o MDF 3 mm por ter um custo mais baixo que outros materiais, como o acrílico. Para o corte do MDF foi utilizada a Máquina CNC Laser Corte e Gravação 40 W da Nagano. A configuração da máquina laser é muito importante, pois influencia na profundidade e no



Figura 2: Placa MDF com corte a laser da estrutura do robô **ROME**. Imagem mostra a retirada das peças para iniciar a montagem da plataforma como um quebra-cabeça, sem a necessidade de utilizar parafusos para fixação da estrutura mecânica (2021).

diâmetro do corte. O avanço foi fixado em 12 mm/min e a potência do laser restou fixada em 85% e nessas configurações a máquina de 40 W corta um kit inteiro em 12 minutos e 40 segundos. Num segundo momento, as rodas adicionais foram impressas em ABS na impressora 3D GTMáx, utilizando um bico extrusor 0,45 mm, as rodas cortadas na máquina laser não tem uma aderência muito boa por serem feitas em MDF, mas a peça feita em ABS agrega alguns benefícios na mobilidade da plataforma, reduzindo a massa das rodas e dando maior aderência melhorando a tração.

A máquina de corte a laser é uma das melhores soluções para baixar o custo e ganhar produtividade, pois mesmo com a limitação de cortar só imagens em 2D, sua cadência de produção a torna superior ao sistema de impressão 3D no quesito produtividade, uma vez que na impressora poderia levar algumas horas para realizar o mesmo trabalho. Ainda assim, as duas opções são extremamente válidas, pois são duas máquinas muito utilizadas na cultura *maker*. Caso não se possua as duas máquinas para fazer a plataforma, ela ainda pode ser feita 100% em MDF no corte a laser ou ser impresso 100% em ABS ou PLA na impressora 3D. Fig. 3 mostra a plataforma robótica montada com os suportes de sensores, placa eletrônica e motores conectados as rodas.

Na primeira montagem da estrutura, o suporte das baterias foi posicionado na camada superior da plataforma, junto com a placa eletrônica, mas isso criou um problema de estabilidade, visto que o centro de gravidade ficou muito alto, então o suporte foi reposicionado entre os motores na camada inferior, melhorando a centro de gravidade da plataforma e dando maior estabilidade. Um fator muito relevante foi o tamanho do motor, pois eles seriam dispostos no centro do veículo em lados opostos e no mesmo eixo e o suporte da bateria encontra-se alocado entre os motores, mantendo um espaço entre os motores e o suporte. Com essa configuração, a plataforma ficou com 130 mm de diâmetro.

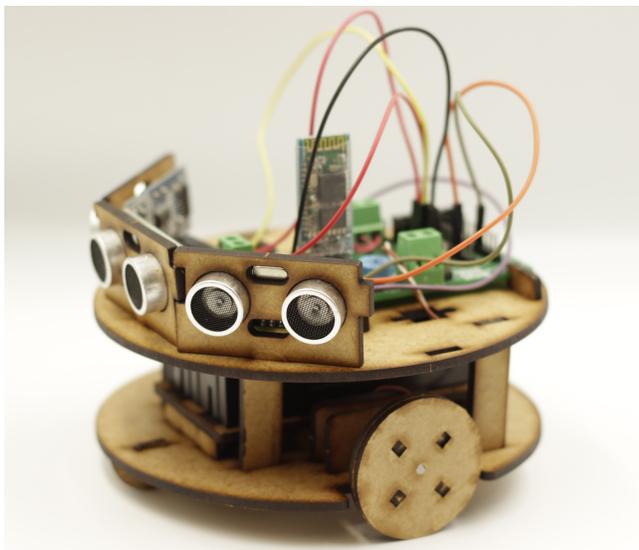


Figura 3: Plataforma robótica ROME fabricada em máquina CNC com corte a laser utilizando MDF 3 mm. A imagem mostra o kit educacional montado com os motores, sensores de ultrassom, circuito eletrônico, suporte de baterias e o módulo de comunicação *bluetooth* (2021).

4.3 Programação

A programação do robô foi viabilizada com a gravação de um *bootloader* da IDE Arduino no microcontrolador ATmega328p, utilizando o programador USB para microcontroladores Atmel AVR USBasp.

A IDE do Arduino é uma ferramenta *open-source*, ou seja, ela é disponibilizada gratuitamente pelo seu desenvolvedor, facilitando o processo de desenvolvimento de código e *upload* dos programas gerados. Diferente de outras plataformas, como a LEGO Mindstorms, que utiliza programação baseada em blocos (*Scratch*) no conceito *Drag n' Drop* acrônimo em inglês para *Arrastar e Soltar*, método esse utilizado pela LEGO para facilitar o aprendizado em lógica de programação para crianças do ensino fundamental [41]. A IDE do Arduino utiliza a linguagem C, considerada uma das linguagens mais utilizadas, devido a sua alta portabilidade. A linguagem C permite um acesso mais próximo do *hardware*, assim consumindo menos recurso e otimizando aplicações onde o tempo de resposta é crítico [42]. Com essas características, temos com a linguagem C uma proximidade maior com as necessidades de mercado, criando uma base de aprendizado mais sólida.

A linguagem C utilizada no ambiente de programação inicia os alunos no desenvolvimento de rotinas e algoritmos para a movimentação do robô, leitura dos sensores ou mesmo controle através do módulo *bluetooth* disponível no robô.

5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Com a pesquisa e o desenvolvimento dos alunos do projeto de extensão, conseguimos uma plataforma de robótica móvel educacional com um custo inferior a R\$100,00, contendo estrutura utilizando madeira de reflorestamento do tipo MDF, com as rodas e os patins de estabilidade feitos em impressora 3D, utilizando material PLA,

dois motores com caixa de redução metálica, placa de circuito com microcontrolador e o circuito integrado da ponte H para controle dos motores, suporte para sensores e um suporte para baterias. É uma plataforma completa com estrutura mecânica e a placa de controle eletrônica.

Para que fosse possível chegar a esse valor de custo, foi preciso pensar na escalabilidade, sendo assim, quanto mais unidades forem produzidas ao mesmo tempo, menor o valor final. Para que o produto fosse escalável, foi preciso utilizar materiais simples e de fácil acesso e métodos de fabricações ágeis. A utilização de uma chapa de MDF 3mm com o tamanho de uma folha A4, custando aproximadamente R\$3,50, compõe a estrutura mecânica. A chapa de MDF foi recortada em uma máquina CNC de corte a laser e, desta forma, não há necessidade de outro material para fixar uma peça nas outras. A placa de circuito impresso foi fabricada em fornecedores da empresa parceira SmartLy Dispositivos Inteligentes.

O projeto do kit plataforma robótica **ROME** além de ter um custo baixo, está disponível no GitHub, parte mecânica e eletrônica, com acesso de forma gratuita, para que qualquer pessoa consiga replicar o projeto, ampliando o alcance do conhecimento abordado com o kit. Ainda há a possibilidade de adquirir os kits semi prontos, ou partes dos kits, placa eletrônica ou estrutura mecânica, caso alguma instituição educacional ou organizações sociais prefira que o grupo de pesquisa, sem fins lucrativos, forneça os kits pré-fabricados, contendo a plataforma em MDF 3mm já recortada e pronta para ser montada e a placa de circuito pronta para receber os componentes. Além de viabilizar o volume de produção que reduz substancialmente o valor final do kits, tal fato não retira a essência do aluno realizar a montagem final dos kits, mas proporciona a facilidade da aquisição dos kits, pois mesmo que seja de fácil fabricação, nem todos possuem a estrutura mínima para a fabricação *in loco* ou residem em cidades com acesso a esse tipo de material. Os alunos do projeto de extensão **Robótica Móvel nas Escolas** também se disponibilizam a ministrar cursos de robótica presencialmente.

Com o desenvolvimento de *hard skills*, montagem e programação do robô **ROME**, foi validado o kit de robótica móvel, criando uma aplicação com o objetivo de executar rotinas de testes para validar a locomoção do robô, utilizando de dois motores de corrente contínua fixados na base inferior da plataforma, executando movimentos trás, frente, esquerda e direita. A percepção do ambiente é mensurada com três sensores de ultrassom, assim são detectados obstáculos próximos ao robô permitindo tomar decisões para evitar a sua colisão. Para testar a comunicação utilizando o módulo *bluetooth* é selecionado o dispositivo em um *smartphone* e através de um aplicativo terminal são enviados comandos para controlar o dispositivo e receber informações das medições dos sensores.

Através das informações coletadas na pesquisa, a equipe define como uso no projeto de robótica um método regrado por módulos integrados com soluções PBL e STEM. A metodologia ativa utilizada pelos alunos para o ensino da robótica nas escolas será dividida nos seguintes módulos: **capacitar** - foco na aprendizagem, construção de habilidades técnicas, e multidisciplinaridade; **executar** - foco na resolução de problemas, aplicação de conhecimentos teóricos, autonomia, e trabalho em equipe; **prototipar** - foco na criação de projetos, desenvolvimento de *soft skills* e de soluções.

6 CONCLUSÕES

Diante do projeto proposto, com os primeiros protótipos do kit educacional **ROME**, desenvolvido pelos alunos do projeto de extensão **Robótica Móvel nas Escolas**, houve a promoção do ensino da robótica colocando os alunos da graduação como protagonistas do processo de aprendizagem para estudantes do ensino médio e para a comunidade.

O projeto e desenvolvimento do kit didático de baixo custo e inclusivo garantiu para a equipe de pesquisa o prêmio destaque como o melhor trabalho do evento nacional Shark Hub, promovido pelo Ecossistema Ânima em 2021, com premiação de R\$10.000,00, que será convertida para a promoção do projeto e contribuir para a redução das desigualdades sociais.

A plataforma **ROME** é um projeto *open-source hardware* e está disponível em <http://github.com/rosie-projects/rome>

ACKNOWLEDGMENTS

Os autores agradecem a parceria da empresa SmartLy Dispositivos Inteligentes pelos recursos e suporte técnico necessários para o desenvolvimento do projeto de extensão.

REFERÊNCIAS

- [1] Carlos Eduardo Setenareski Magrin and Daniel Deda. Robô Móvel Microcontrolado como uma Ferramenta de Ensino. *Revista de Extensão e Iniciação Científica UNISOCIESC-REIS*, 3:64–71, 2016. URL <http://reis.unisociesc.com.br/index.php/reis/article/view/54/65>.
- [2] Carlos Eduardo Magrin, Robison Cris Brito, and Eduardo Todt. A Systematic Mapping Study on Multi-Sensor Fusion in Wheeled Mobile Robot Self-Localization. In *2019 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, pages 132–137. IEEE, oct 2019. ISBN 978-1-7281-4268-5. doi: 10.1109/LARS-SBR-WRE48964.2019.00031. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9018630/>.
- [3] Organizadores, Lilian Bacich, and Leandro Holanda. *STEAM em Sala de Aula: A Aprendizagem Baseada em Projetos Integrando Conhecimentos na Educação Básica*. Penso, 2020.
- [4] Diogo R. Coutinho. *Direito, desigualdade e desenvolvimento*, volume 1ª Edição. Editora Saraiva, 2013.
- [5] Janaina Almeida da C. Silva. *Qualidade na Educação*. Cengage Learning, 2015.
- [6] Flávio Campos and Paulo Blikstein. *Inovações Radicais na Educação Brasileira*. Penso, Porto Alegre, 2019.
- [7] Paulo. FREIRE. *Pedagogia do oprimido*. Paz e Terra, 2014.
- [8] Magda Pischetola and Lyana Miranda. Metodologias ativas : uma solução simples para um problema complexo? 16:30–56, 2019.
- [9] A. McGlynn. *Teaching today's college students: Widening the circle of success*, volume 1ª edição. Madison, WI: Atwood Publishing, 2007.
- [10] Redação Lyceum. O que é cultura maker e qual sua importância na educação?, 2021. URL <https://blog.lyceum.com.br/o-que-e-cultura-maker>.
- [11] W. B. Andriola. Avaliação da familiaridade de alunos do ensino fundamental com a robótica educacional. *Educação e Linguagem*, Ano 8(n. 1):p. 33–53, 2021. URL <https://cutt.ly/QWh5l6R>.
- [12] Raphael De Abreu Alves e Silva, Carlos Fernando Joventino, Jonathas H. M. Pereira, and Lucas Pinheiro Correa. Teaching Robotics in Pandemic Times Through Remote Education. In *2021 Latin American Robotics Symposium (LARS)*, pages 371–376. IEEE, oct 2021. ISBN 978-1-6654-0761-8. doi: 10.1109/LARS/SBR/WRE54079.2021.9605454. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9605454/>.
- [13] Codelicious. Project based learning: Think bigger, engage deeper, work smarter. <https://www.codelicious.com/blog/project-based-learning-computer-science-curriculum/>, jul 2020.
- [14] Zoom Education. O que é project based learning? <https://zoom.education/blog/o-que-e-project-based-learning/>, jul 2020.
- [15] Deivid Eive dos S. Silva, Aline De Oliveira Sousa, Marcela R. Oliveira, Marialina Corrêa Sobrinho, Eduardo Todt, and Natasha Malveira C. Valentim. Education 4.0: Robotics Projects to Encourage 21st Century Skills. *RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*, 18(2):450–459, jan 2021. ISSN 1679-1916. doi: 10.22456/1679-1916.110285. URL <https://seer.ufg.br/renote/article/view/110285>.
- [16] Redação Lyceum. Metodologias ativas de aprendizagem: o que são e como aplicá-las. <https://blog.lyceum.com.br/metodologias-ativas-de-aprendizagem/>, sep 2021.
- [17] David. Lemes. Educação steam: o que é, para que serve e como usar. *JORNAL DA PUC São Paulo*, 2020.
- [18] Denilton Silveira Oliveira, Luciane Terra Dos Santos Garcia, and Luiz Marcos Garcia Goncalves. A Survey on Continuing Education of Teachers in Educational Robotics. In *2021 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2021 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2021 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, pages 348–353. IEEE, oct 2021. ISBN 978-1-6654-0761-8. doi: 10.1109/LARS/SBR/WRE54079.2021.9605366. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9605366/>.
- [19] Silvana do Rocio Zilli. A robótica educacional no ensino fundamental: perspectivas e prática. Master's thesis, UFSC, 2004.
- [20] Michele Moro, Francesca Agatolio, and Emanuele Menegatti. The development of robotic-enhanced curricula for the RoboESL project : premises , objectives , preliminary results. *ROBOESL Conference Proceedings*, pages 53–62, 2016. URL <https://roboesl.eu/conference/wp-content/uploads/2017/03/Moro.pdf>.
- [21] Stephanie Bell. Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2): 39–43, jan 2010. doi: 10.1080/00098650903505415. URL <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00098650903505415>.
- [22] Denilton Silveira de Oliveira. Formação continuada de professores para inovação pedagógica por meio da robótica educacional na escola estadual presidente kennedy. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- [23] D. A. M. Filho and P. C. Gonçalves. Robótica educacional de baixo custo: Uma realidade para as escolas brasileiras. *Anais do XXVIII Congresso da SBC - XIV Workshop de Informática na Escola, Belem, PA, Brasil*, 2008.
- [24] Jose Etiene Bezerra Junior, Paulo Gabriel Gadelha Queiroz, and Rommel Wladimir de Lima. A study of the publications of educational robotics: A Systematic Review of Literature. *IEEE Latin America Transactions*, apr 2018. doi: 10.1109/TLA.2018.8362156. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/8362156/>.
- [25] Márcio Pereira Bezerra. As Novas Tecnologias na Sala de Aula: Dificuldades e Perspectivas. Technical report, UEPB, 2014.
- [26] Dorin Popescu, Horatiu Roibu, Florin-Liviu Manta, and Alina-Florentina Ciltan. Students Learn Engineering Through Robotics Competition. In *2021 30th Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEEIE)*, pages 1–6. IEEE, sep 2021. doi: 10.1109/EAEEIE50507.2021.9530977. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9530977/>.
- [27] Raulf Plutarco Bezerra Neto, Andre Macedo Santana, Diego Porto Rocha, and Anderson Souza. Robótica na Educação: Uma Revisão Sistemática dos Últimos 10 Anos. In *Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2015)*, volume 1, page 386, oct 2015. doi: 10.5753/cbie.sbie.2015.386. URL <http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/5192>.
- [28] Tiago Lobato de Souza and Larissa Sato Elisário. Educational Robotics Teaching with Arduino and 3D Print Based on Stem Projects. In *2019 Latin American Robotics Symposium (LARS)*. IEEE, oct 2019. doi: 10.1109/LARS-SBR-WRE48964.2019.00078. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9018571/>.
- [29] Marco Túlio Chella. Ori : Plataforma Para Robótica Educacional De Baixo Custo. *Mostra Nacional de Robótica (MNR)*, 2004.
- [30] Hetty Roessingh and Wendy Chambers. Project-Based Learning and Pedagogy in Teacher Preparation: Staking Out the Theoretical Mid-Ground. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*. URL <http://www.isetl.org/ijthe/>.
- [31] Karen Su, Evgeniia Bonnet, and Francesco Mondada. Developing STEM and Team-working Skills Through Collaborative Space Robotics Missions. In *2021 IEEE AFRICON*. IEEE, sep 2021. doi: 10.1109/AFRICON51333.2021.9570851. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/9570851/>.
- [32] Saira Anwar, Nicholas Alexander Bascou, Muhsin Menekse, and Asefeh Kardgar. A Systematic Review of Studies on Educational Robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 9(2):19–42, jul 2019. ISSN 2157-9288. doi: 10.7771/2157-9288.1223. URL <https://docs.lib.purdue.edu/jpeer/vol9/iss2/2>.
- [33] RoboCore. Kit robô pali. <https://www.robocore.net/kit-plataforma-robotica/kit-robô-pali>, 2022.
- [34] ArcBotics. Sparki - the only robot your child needs to learn robotics and coding. <http://arcbotics.com/products/sparkii/>, 2022.
- [35] Sphero. Sphero bolt robot. <https://sphero.com/products/sphero-bolt>, 2022.
- [36] Open Source Robotics Foundation. Turtlebot3 open-source robot development kit. <https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/features/>, 2022.
- [37] Amazon Lego Store. Lego mindstorms ev3. <https://www.amazon.com/LEGO-MINDSTORMS-31313-Educational-Programming/dp/B00CWER3XY>, 2022.
- [38] ROS Community. The robot operating system (ros). <https://www.ros.org/>, 2022.
- [39] Atmel. Datasheet 8-bit avr microcontroller with 32k bytes in-system programmable flash atmega328p. https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf, 2021.
- [40] Toshiba. Datasheet driver ic for dual dc motor tb6612fng. <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=10660&prodName=TB6612FNG>, 2021.
- [41] LEGO Education. New lego mindstorms robot inventor lets creators build and bring to life anything they can imagine. <https://www.lego.com/en-us/aboutus/news/2020/june/lego-mindstorms-robot-inventor/>, JUN 2020.
- [42] André Backes. *Linguagem C - Completa e Descomplicada*. Grupo GEN, 2018.