

Wandaymo Gomes de Sousa

**Avaliação Técnica de Componentes Eletrônicos  
e Microprocessadores para uso no Processo de  
Ensino-Aprendizagem de Ciências Exatas**

Jataí-Goiás

2018

Wandaymo Gomes de Sousa

**Avaliação Técnica de Componentes Eletrônicos e  
Microprocessadores para uso no Processo de  
Ensino-Aprendizagem de Ciências Exatas**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Ciências da Computação da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências da Computação.

Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí - UFG-REJ

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET)

Bacharelado em Ciências da Computação

Orientador: Prof. Dr. Thiago Borges de Oliveira

Jataí-Goiás

2018

---

Wandaymo Gomes de Sousa

Avaliação Técnica de Componentes Eletrônicos e Microprocessadores para uso no Processo de Ensino-Aprendizagem de Ciências Exatas/ Wandaymo Gomes de Sousa. – Jataí-Goiás, 2018-

54 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Borges de Oliveira

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí - UFG-REJ

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET)

Bacharelado em Ciências da Computação, 2018.

1. Robótica Educacional. 2. Robótica. 3. Ciências Exatas

---

Wandaymo Gomes de Sousa

# **Avaliação Técnica de Componentes Eletrônicos e Microprocessadores para uso no Processo de Ensino-Aprendizagem de Ciências Exatas**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Ciências da Computação da Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências da Computação.

Trabalho aprovado. Jataí-Goiás, data da defesa:

---

**Prof. Dr. Thiago Borges de Oliveira**  
Orientador

---

**Profa. Dra. Ana Carolina Gondim  
Inocêncio**  
Avaliador 1

---

**Profa. Dra. Ana Paula Freitas Vilela  
Boaventura**  
Avaliador 2

Jataí-Goiás  
2018

*Dedico este trabalho à minha família e também aos meus amigos que sempre acreditaram em mim nesta jornada até aqui.*

# AGRADECIMENTOS

*Agradeço à minha família que sempre me apoiou e me ajudou nos momentos fáceis e difíceis, em especial à minha irmã que esteve sempre disposta a me ajudar no que fosse possível, aos meus amigos que me ajudaram a enfrentaram diversas barreiras durante este trajeto. A todos os meus professores que compartilharam de seu conhecimento para formar um novo profissional. Um agradecimento especial ao meu orientador, o professor Dr. Thiago Borges, por ter me guiado da melhor forma possível através de seus ensinamentos para que este trabalho fosse concluído.*

*“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que se ganha, mas o que ele nos  
torna.”*  
*(John Ruskin)*

# RESUMO

A Robótica Educacional ou Robótica na Educação é um termo geralmente usado para descrever a utilização da robótica como um instrumento de apoio ao processo de ensino-aprendizado, empregando robôs para inserir conceitos considerados complexos desde o início da formação dos estudantes, como eletrônica, programação de computadores, mecânica aplicada e robótica básica. Além de um espaço de aprendizagem atrativo que estimula o interesse e a curiosidade dos estudantes, é também considerado como um instrumento único que oferece atividades práticas e divertidas. A Robótica Educacional se baseia no fato de que manipular artefatos é a chave na construção de conhecimento. Ainda que estudos mostrem o quão benéfico é a utilização da Robótica Educacional, relatando pontos positivos da sua implementação em escolas e universidades, trazendo benefícios relevantes para a melhoria da educação, ainda existem algumas razões pelas quais a Robótica Educacional não é tão difundida nos centros de ensino, por exemplo o custo elevado dos kits robóticos disponíveis atualmente. Neste sentido, este trabalho realizou uma análise de componentes que podem ser utilizados para a construção de um kit robótico voltado para a educação. Verificando o seu preço e sua disponibilidade de aquisição. Além da análise dos preços, foram feitos testes de consumo de energia com os componentes, foi avaliado também a programabilidade dos componentes. Em suma, foi verificado que é possível elaborar uma especificação que poderá servir de base para a construção de kits robóticos de baixo custo voltados para a educação.

**Palavras-chaves:** *Robótica Educacional; Robótica.; Ciências Exatas.*

# ABSTRACT

Educational Robotics or Robotics in Education is a term commonly used to describe the use of robotics as an instrument to support the teaching-learning process, employing robots to introduce concepts considered complex from the beginning of student training, such as electronics, programming computers, applied mechanics and basic robotics. In addition to an attractive learning space that stimulates students' interest and curiosity, it is also considered as a unique tool that offers practical and fun activities. Educational Robotics is based on the fact that manipulating artifacts is the key to building knowledge. Although studies show how beneficial the use of Educational Robotics, reporting positive points of its implementation in schools and universities, bringing relevant benefits to the improvement of education, there are still some reasons why Educational Robotics is not so widespread in the centers of teaching, for example the high cost of the robotic kits currently available. In this sense, this work carried out an analysis of components that can be used for the construction of a robotic kit for education. Verifying your purchase price and availability. In addition to the price analysis, energy consumption tests were performed with the components, and the programmability of the components was evaluated. In short, it was verified that it is possible to elaborate a specification that could serve as the basis for the construction of robotic kits of low cost for education.

**Key-words:** *Educational Robotics; Robotics; Exact Sciences.*

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – <i>LEGO Mindstorm TRACK3R</i> . . . . .	15
Figura 2 – Ilustração dos componentes internos que formam um motor elétrico. . . . .	20
Figura 3 – Princípio de funcionamento de um motor de passo. . . . .	21
Figura 4 – Exemplos de usos de um sensor de presença. . . . .	22
Figura 5 – (a) Barramento da memória do programa para os endereços, (b) Barramento da memória do programa para os dados, (c) Barramento da memória de dados para endereços, (d) Barramento da memória de dados para dados. . . . .	24
Figura 6 – Arduino Uno. . . . .	26
Figura 7 – Thymio II. . . . .	28
Figura 8 – Scribbler 2. . . . .	29
Figura 9 – Microbot. . . . .	29
Figura 10 – SEG. . . . .	30
Figura 11 – Lollybot. . . . .	31
Figura 12 – Motor de passo 28BYJ-48 . . . . .	41
Figura 13 – Esquema elétrico utilizando o 28BYJ-48 . . . . .	41
Figura 14 – Circuito elétrico utilizando o motor de passo 28BYJ-48 . . . . .	42
Figura 15 – Servo motor 9G SG90 . . . . .	42
Figura 16 – Circuito elétrico utilizando o servo motor 9G SG90 . . . . .	43
Figura 17 – Sensor de distância ultrassônico HC-SR04 . . . . .	43
Figura 18 – Esquema elétrico utilizando o sensor de distância ultrassônico HC-SR04 . . . . .	44
Figura 19 – Circuito elétrico utilizando o sensor de distância ultrassônico HC-SR04 . . . . .	44
Figura 20 – Módulo Bluetooth HC-06 . . . . .	45
Figura 21 – Display LCD 8x2 . . . . .	45

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre trabalhos apresentados . . . . .	37
Tabela 2 – Preço dos componentes em lojas da região da cidade de Jataí . . . . .	40
Tabela 3 – Consumo de corrente dos componentes utilizado . . . . .	45
Tabela 4 – Consumo de corrente especificado pelos fabricantes . . . . .	46
Tabela 5 – Bibliotecas disponíveis . . . . .	47
Tabela 6 – Especificação técnica final . . . . .	48
Tabela 7 – Especificação técnica com tamanho e peso dos componentes . . . . .	48

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

STEM	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
NTH	<i>Norges Tekniske Høgskole</i>
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
IR	<i>Infrared Radiation</i>
AFRON	<i>African Robotics Network</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
SSH	<i>Secure SHell</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>14</b>
1.1	Motivação (objeto de estudo e problema)	14
1.2	Objetivo do Trabalho	17
1.3	Contribuição do Trabalho	17
1.4	Organização da Monografia	17
<b>2</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>19</b>
2.1	Robótica	19
2.1.1	Atuadores	19
2.1.2	Sensores	21
2.1.3	Microcontroladores	21
2.1.4	Impressão em 3 Dimensões	25
2.1.5	Arduino	25
2.1.6	Comunicação sem fio	26
2.2	Robótica Educacional	27
2.2.1	Desafios associados à Robótica Educacional	27
<b>3</b>	<b>Trabalhos relacionados</b>	<b>32</b>
3.1	Critérios de busca	32
3.2	Metodologia de análise	32
3.3	Trabalhos analisados	33
3.3.1	Andruino-A1: Low-Cost Educational Mobile Robot Based on Android and Arduino (T1)	33
3.3.2	A Low-Cost Classroom-Oriented Educational Robotics System (T2)	34
3.3.3	A Low Cost Mobile Robot for Engineering Education (T3)	35
3.3.4	The e-puck, a Robot Designed for Education in Engineering (T4)	35
3.3.5	A Low-Cost and Simple Arduino-Based Educational Robotics Kit (T5)	36
3.4	Resumo Comparativo	37
<b>4</b>	<b>Elaboração de especificação técnica de hardware para robótica educacional</b>	<b>38</b>
4.1	Identificação e aquisição dos componentes	38
4.2	Preço dos componentes	39
4.3	Testes de consumo de energia	40
4.4	Programabilidade do componente	45
4.5	Especificação final	47
4.6	Considerações Finais	47
<b>5</b>	<b>Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>49</b>

5.1	Conclusões . . . . .	49
5.2	Trabalhos futuros . . . . .	50
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>51</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Existem estudos que indicam que conforme a tecnologia avança, deve-se apoiar a forma tradicional de ensino nas escolas e universidades com tecnologias mais inovadoras e complexas (FILIPPOV et al., 2017). Nesse sentido, técnicas vêm sendo empregadas com sucesso, desde o início dos anos 2000, em países desenvolvidos, sendo uma delas o uso de metodologias de ensino baseadas em Robótica Educacional (BARKER, 2012). A Robótica Educacional ou Robótica na Educação é um termo geralmente usado para descrever a utilização da robótica como um instrumento de apoio ao processo de ensino-aprendizado, empregando robôs para inserir conceitos considerados complexos desde o início da formação dos estudantes, como eletrônica, programação de computadores, mecânica aplicada e robótica básica (MAJOR; KYRIACOU; BRERETON, 2012). Além de um espaço de aprendizagem atrativo que estimula o interesse e a curiosidade dos estudantes, é também considerado como um instrumento único que oferece atividades práticas e divertidas (KHINE, 2017). A Robótica Educacional se baseia no fato de que manipular artefatos é chave na construção de conhecimento (PIAGET, 1973).

Neste trabalho, procuramos realizar uma análise de componentes necessários para a elaborar uma especificação que servirá de base para a construção de kits robóticos voltados para a educação. As próximas seções detalham estes aspectos, primeiramente é apresentado a motivação que se teve para elaborar tal especificação. Logo em seguida é apresentado o objetivo que este trabalho se propôs a alcançar, seguido pela contribuição que este trabalho resultará.

## 1.1 Motivação (objeto de estudo e problema)

A robótica, através de sua essência interdisciplinar, possibilita um ambiente de aprendizado construtivo e favorável para uma melhor compreensão e aprendizagem dos assuntos relacionados à ciência e mostra-se como uma ajuda para atenuar a falta de interesse dos alunos por disciplinas relacionadas à Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (KHANLARI, 2013). Estes quatro conceitos são referenciados na literatura internacional especializada como STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) (YAKMAN; LEE, 2012). Ainda, segundo Khanlari (2013), nenhuma idade é muito cedo para aprender robótica e portanto, ela deve ser ensinada mesmo nos primeiros anos do ensino básico.

Há disponíveis no mercado kits Robóticos voltados para a educação que baseiam-se na metodologia da Robótica Educacional. Dentre os que possuem mais notoriedade

estão os kits produzidos pela empresa LEGO, os quais possuem peças como motores elétricos, sensores, engrenagens, eixos e peças pneumáticas<sup>1</sup> para a construção de um robô (RUZZENENTE et al., 2012). Dentre os kits fabricados por esta empresa, pode-se apresentar o modelo LEGO *Mindstorm TRACK3R* mostrado na Figura 1<sup>2</sup>.



Figura 1 – *LEGO Mindstorm TRACK3R*.

Ainda que estudos mostrem o quão benéfico é a utilização da Robótica Educacional, relatando pontos positivos da sua implementação em escolas e universidades, trazendo benefícios relevantes para a melhoria da educação (ALIMISIS; MORO; MENEGATTI, 2017), (MERDAN et al., 2016), (EGUCHI, 2014), ainda existem algumas razões pelas quais a Robótica Educacional não é tão difundida nos centros de ensino. Dentre estas razões, destacam-se as citadas por (MONDADA et al., 2017): a falta de investimento em tempo e treinamento para professores, o preço elevado dos kits, a exemplo do LEGO *Mindstorms EV3* que custa aproximadamente US\$400, muitos dos kits educacionais existentes não apresentam maturidade para serem distribuídos como produtos finais e acabados para as escolas. A atividade envolvendo robótica frequentemente é percebida como uma atividade de menino na sociedade ocidental, fato este que desfavorece o potencial do uso da robótica como ferramenta educacional, especialmente nas escolas. Há, ainda, resistência por parte dos professores em aderir tendências voláteis. Os professores preferem

<sup>1</sup> Pode ser entendida como sendo o conjunto de todas as aplicações que utilizam a energia armazenada e transmitida pelo ar comprimido.

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://wwwsecure.lego.com/en-us/mindstorms/build-a-robot/track3r/>>.

investir em ferramentas estáveis do que em tendências da atual tecnologia de consumo (MONDADA et al., 2017).

Ainda, realidade brasileira, muitas escolas públicas apresentam uma infraestrutura física deficiente, em conjunto com uma desigualdade de serviços educacionais e oportunidades providas pelo Estado Brasileiro (OLIVEIRA, 2017). Este fato por si só pode ser um dos motivos pela qual a Robótica Educacional não é tão difundida no país, já que a questão do custo da aquisição dos robôs tem uma forte influência na adoção da tecnologia, como mencionado anteriormente.

Kits robóticos de propósito específico são aqueles desenvolvidos para realizar tarefas singulares, ou seja, tarefas próprias no sentido de que cada robô é fabricado e programado para realizar uma tarefa característica ao modelo (GABRIELE et al., 2017).

De certa forma, o foco atual de construção de kits robóticos educacionais genéricos, ou seja, sem um propósito bem definido, e ainda versátil, com muitas funcionalidades, sensores<sup>3</sup> e atuadores<sup>4</sup>, acaba em projetos com *hardware* muito complexo de se programar e de se utilizar. Além disso, tantos recursos fazem com que seu preço se torne muito elevado. Como exemplo de kits que possuem numerosos sensores pode-se citar o Thymio 2 e o Scribbler 2 os quais possuem sensores de odometria, fotossensores<sup>5</sup>, proximidade, microfone, infravermelho, acelerômetro, temperatura e de linha (GYEBI et al., 2015).

Desta forma, observando todas estas dificuldades, percebe-se que kits robóticos de propósito específico, ou seja, projetados para um único propósito possuem as seguintes vantagens: *i*) são simples, pois possuem apenas um ou dois sensores, como também um ou dois atuadores, o que os torna de fácil programação. *ii*) não necessitam de programação prévia pelo docente pois já estarão pré-programados no ato de sua construção para servir como instrumento de auxílio à um propósito específico. *iii*) possuem um preço inferior aos kits robóticos disponibilizados atualmente no mercado, visto que terão uma quantidade reduzida de componentes.

Por outro lado não é possível usar a robótica educacional, e mais especificamente, robôs de propósito específico no auxílio do ensino em todos os conceitos, somente em conceitos mais complexos e nos conceitos considerados de mais difícil entendimento em disciplinas que possuem relação direta com a STEM (KHINE, 2017). Dessa forma a construção de kits robóticos com propósitos específicos não implica na necessidade de aquisição de vários kits distintos, e os conceitos podem ser elencados de forma estratégica de forma a evitar os problemas associados ao uso da Robótica Educacional, mencionados anteriormente.

A impressão 3D tem ganhado força e possui potencial para se tornar uma tecnologia

<sup>3</sup> Sensor é um componente capaz de captar informações do meio

<sup>4</sup> Um atuador é um componente de uma máquina que é responsável por mover e controlar um mecanismo

<sup>5</sup> É um dispositivo sensível à luminosidade, capaz de medir sua intensidade.

revolucionária, pois apresenta vantagens relevantes para que isso se torne realidade. Pode-se elencar estas vantagens (CAMPBELL et al., 2011):

- Linhas de montagem podem ser reduzidas.
- Modelos digitalizados podem circular através da *Internet* e impressos em qualquer lugar do mundo.
- Impressão sob demanda.
- A fabricação da variedade de tipos de produtos impressos através de uma impressora não seria possível em uma fábrica comum.
- Menor custo para a fabricação de peças.

## 1.2 Objetivo do Trabalho

Este trabalho teve por objetivo elaborar uma especificação de componentes de hardware e software que sirva de referência para elaboração de protótipos robóticos de baixo custo, de propósito específico e de simples utilização pelos docentes. Os objetivos específicos são: *i)* realizar um estudo acerca do tema com o intuito de se fazer um levantamento dos requisitos e métodos afim de propor a especificação técnica *ii)* definir a arquitetura básica da especificação, elegendo peças que serão utilizadas como por exemplo atuadores, sensores, controladores, processadores, e também definir suas medidas, o funcionamento de todo o circuito eletrônico envolvido e o tipo de alimentação a ser utilizada.

## 1.3 Contribuição do Trabalho

Percebe-se que há um grande obstáculo com relação ao preço de kits robóticos para a educação. Com foco neste item, este trabalho servirá de base para a escolha de componentes de baixo custo para a construção de kits robóticos voltados para a educação.

Não obstante, critérios técnicos específicos também foram considerados, a exemplo de consumo de energia e precisão, que muitas vezes são feitos de forma precária ou não existem para componentes de baixo custo.

## 1.4 Organização da Monografia

O trabalho encontra-se dividido em 5 Capítulos, o Capítulo 1 traz uma pequena introdução e uma visão geral sobre o trabalho. No Capítulo 2 é apresentado o referencial teórico trazendo termos e conceitos vistos durante o texto. Já o Capítulo 3 mostra uma

visão geral sobre os trabalhos relacionados à construção de kits robóticos de baixo custo. Em seguida o Capítulo 4 apresenta a especificação técnica para a construção de kits robóticos. Por fim o Capítulo 5 traz as conclusões e trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o entendimento dos termos apresentados neste trabalho, este capítulo tem por finalidade elucidar os conceitos relacionados a esses termos afim de que a leitura deste projeto seja clara e concisa.

### 2.1 Robótica

Um robô é um dispositivo que pode ser facilmente reprogramável. Dispositivos de utilização manual, que podem ser manipulados por um operador, ou dispositivos que possuem movimentos fixos e de difícil mudança não são considerados robôs. Geralmente os robôs são projetados para serem controlados por um computador ou por algum dispositivo similar. Os movimentos são controlados minuciosamente pela supervisão de tal computador que está executando algum tipo de *software*. Então se o computador realizar algum comando, o robô deve executar este comando como solicitado pelo computador. A intenção é ter um dispositivo que possa realizar diversas tarefas e que sempre obedeça a comandos (NIKU, 2010).

Um robô é basicamente constituído de um microcontrolador, sensores e atuadores. Os atuadores são os componentes que provêm movimento ao robô, podem ser braços, rodas, pernas, entre outros. Os sensores são componentes que permitem ao robô receber dados sobre o ambiente, são como se fossem o sentidos do robô. O microcontrolador é o componente usado para gerenciar os sensores e atuadores (HUGHES; HUGHES, 2016).

#### 2.1.1 Atuadores

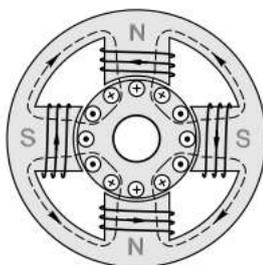
Os Atuadores são dispositivos utilizados para produzir movimentos ou ações, como movimentos lineares ou movimentos angulares. Alguns dos principais atuadores usados nos sistemas robóticos são solenóides, motores elétricos, bombas hidráulicas, dentre outros. Esses atuadores são fundamentais na movimentação de objetos físicos em sistemas mecatrônicos (ONWUBOLU, 2005).

Outra definição apresentada por (SAHA, 2014) descreve os atuadores como componentes que conduzem um robô, são análogos a um braço humano. Assim como o braço humano fornece movimento, os atuadores são usados para manipular objetos ou mesmo fazer o robô se movimentar e assim conseguir realizar tarefas.

Solenóides são dispositivos que contêm um núcleo de ferro móvel que é ativado por um fluxo de corrente. O movimento desse núcleo pode então controlar alguma forma

de fluxo hidráulico (BISHOP, 2002). Um motor elétrico é um artefato capaz de produzir energia mecânica a partir da energia elétrica, através da indução eletromagnética de ímãs com polos opostos (negativo e positivo) posicionados em lados opostos no interior do motor. Este artefato consegue realizar uma transformação de energia gerando assim movimento. O contrário também pode ser feito, gerar energia elétrica a partir da energia mecânica. Se isso ocorre então ele passa a ser chamado de gerador (HUGHES; DRURY, 2013). A Figura 2 mostra o corte transversal de um motor elétrico apresentando sua estrutura e interior, no qual é composto pelos polos magnéticos N e S, responsáveis por atrair e repelir a bobina que envolve o eixo, gerando assim a rotação.

Figura 2 – Ilustração dos componentes internos que formam um motor elétrico.



Fonte: (HUGHES; DRURY, 2013)

Os motores elétricos podem ser classificados de acordo com suas características e seus propósitos. Dentre os tipos de motores estão o convencional e sem escovas, motor de indução, motores síncronos, de relutância comutada e motores de passo (HUGHES; DRURY, 2013).

Motor de passo é um motor cujo núcleo gira de forma programada, ou seja, é possível controlar de forma precisa a rotação do eixo do motor (ATHANI, 1997). O termo “passo” descreve justamente esse princípio (programação de passos). Para se conseguir uma volta completa do eixo devemos programar todos os passos necessários para tal. A Figura 3<sup>1</sup> ilustra o princípio de funcionamento de um motor de passo. Cada retângulo nomeado com as letras A, B, A, B representa uma bobina. Energizar a bobina A faz com que haja uma interação eletromagnética da bobina com o eixo (representado aqui por uma seta), atraindo-o para a bobina A caracterizando o primeiro passo. Ao energizar a bobina B, o eixo então é atraído magneticamente para o intervalo que existe entre A e B, caracterizando assim o segundo passo. Analogamente este processo é repetido para as demais bobinas, fazendo assim com que uma volta seja completada como ilustrado na figura.

<sup>1</sup> Disponível em: Adaptado <<https://www.rs-online.com/designspark/stepper-motors-and-drives-what-is-full-step-half-step-and-microstepping/>>.

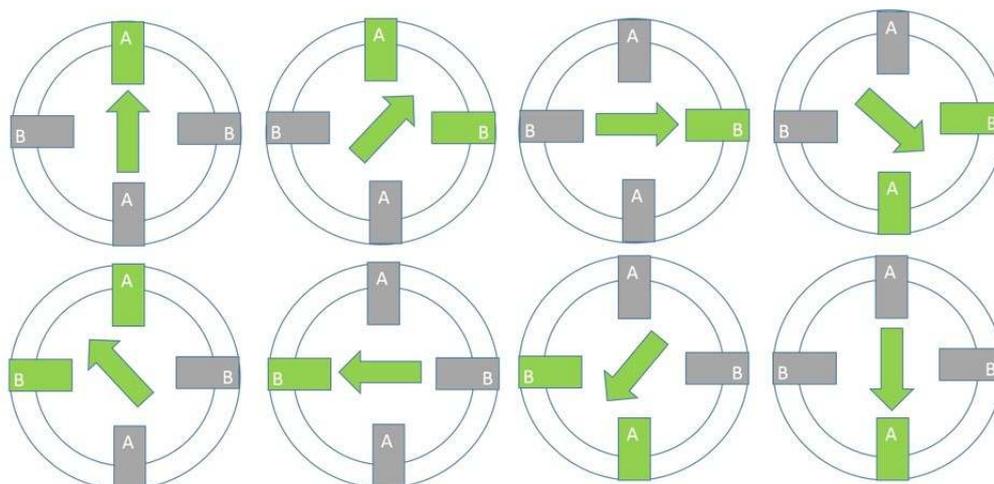


Figura 3 – Princípio de funcionamento de um motor de passo.

### 2.1.2 Sensores

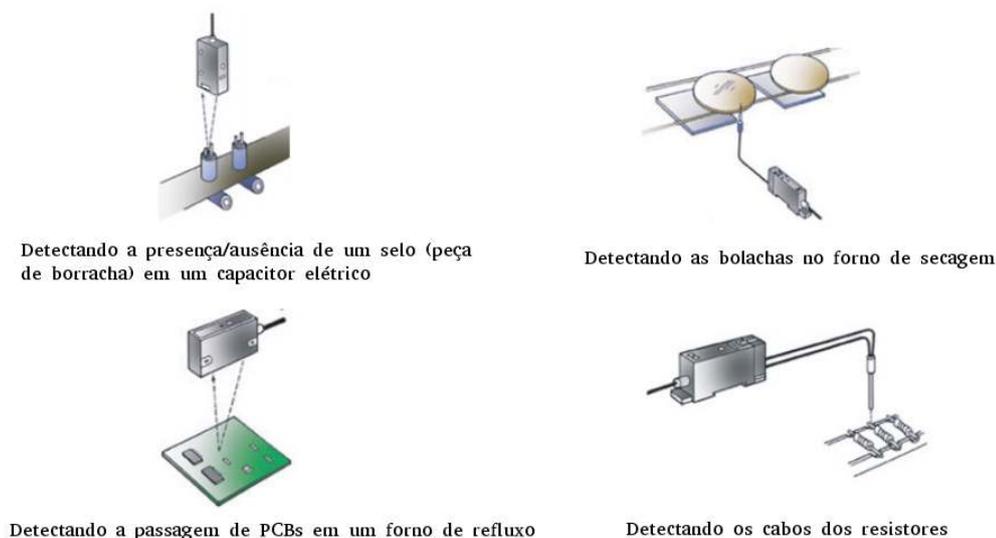
Sensores são componentes destinados à coleta de informações internamente ou externamente relacionadas ao robô, mas também relacionadas ao ambiente que o cerca. Para ter conhecimento do estado de cada componente que constitui o robô e também sua atual configuração, o controlador do robô precisa se utilizar dos sensores. Sensores fornecem informações do mundo externo, através de informações visuais, auditivas, toques e para fornecer uma visão geral do sistema (NIKU, 2010). Sensores são componentes que respondem a uma alteração no fenômeno físico quando são expostos a algum desses eventos como temperatura, deslocamento, força, dentre outros. Essa resposta pode ser do tipo elétrica, mecânica, magnética, entre outras (BISHOP, 2002).

Sensores usados para medir a distância de um objeto a um ponto de referência utilizando luz são chamados de sensores fotoelétricos ou sensores de luz. Os sensores de luz em que seus estados são apenas ligado ou desligado são chamados sensores de presença fotoelétricos. Nesse caso o emissor envia um feixe de luz, com isso o receptor (fototransistor) liga ou desliga o estado, dependendo do tipo de luz. A Figura 4 mostra sensores sendo usados na detecção de objetos (CETINKUNT, 2015).

### 2.1.3 Microcontroladores

O microcontrolador é o componente responsável por coordenar os movimentos do robô. Dados são recebidos e interpretados por este componente, ao qual pode ser descrito como uma espécie de cérebro do sistema para controlar os movimentos dos atuadores e realizar uma interligação com as informações fornecidas pelos sensores. Supõe-se o seguinte, pretende-se usar um robô para levantar uma caixa, mas para que isso ocorra, a articulação do braço deste deve estar a um determinado ângulo. Uma verificação é feita e conclui-se que nesse instante o braço não encontra-se com o ângulo necessário para realizar a tarefa.

Figura 4 – Exemplos de usos de um sensor de presença.



Fonte: Adaptado (CETINKUNT, 2015)

A partir disso um sinal é enviado ao braço para que ele faça um movimento de mudança de ângulo, depois do movimento realizado será feita uma medição do novo ângulo para determinar se será possível levantar a caixa. Todo esse processo de envio e recebimento de sinais é gerido pelo controlador (NIKU, 2010).

Um microcontrolador pode ser considerado como um microcomputador construído em um único circuito integrado ou chip. Historicamente, os microcontroladores apareciam após os microprocessadores e seguiam caminhos independentes. Microcontroladores são usados em uma grande variedade de aplicações. Eles podem ser encontrados na indústria automotiva, sistemas de comunicação, instrumentação eletrônica, equipamentos hospitalares, equipamentos e aplicações industriais, eletrodomésticos, brinquedos e assim por diante. Os microcontroladores foram projetados para serem usados em aplicações nas quais eles precisam realizar um pequeno número de tarefas com o menor custo econômico possível. Eles conseguem realizar isso executando um programa permanentemente gravado em sua memória, enquanto as portas de entrada/saída do microcontrolador são usadas para interagir com o mundo externo (VALDES-PEREZ; PALLAS-ARENY, 2009).

Existem cinco principais microcontroladores de 8 *bits* (isso significa que eles são capazes de trabalhar com palavras de tamanho 8 *bits*). São estes: Freescale Semicondutores (anteriormente Motorola) 68HC11, 8051 da Intel, Atmel AVR e PIC da Microchip Technology. Cada um dos microcontroladores tem um conjunto de instruções e conjunto de registradores únicos, portanto, eles não são compatíveis entre si. Programas escritos para um não serão executados nos outros. Existem também microcontroladores de 16 *bits* e 32 *bits* (MAZIDI; NAIMI; NAIMI, 2011).

O registrador é uma pequena memória de alta velocidade usada para armazenar

resultados temporários e para controle de informações, cada um com tamanho e função específica. Cada registrador pode conter um número, até algum limite máximo determinado pelo tamanho do registrador. Registradores podem ser lidos e escritos em alta velocidade porque são internos ao microcontrolador (TANENBAUM, 2005).

O Freescale Semiconductor 68HC11 é um membro da família de microcontroladores 6800 de 8 *bits* de alta densidade, com um design totalmente estático. É produzido com periféricos embutidos, como um temporizador de 16 *bits* e memória RAM estática interna. O 68HC11 é um microcontrolador com uma arquitetura que remonta aos primórdios dos microcontroladores. A arquitetura está longe de ser inovadora, mas possui fácil programação, fácil construção e tem se mantido estável ao longo do tempo (CATSOULIS, 2005).

O 8051 é um microcontrolador que foi originalmente fabricado pela empresa Intel em 1980. É o microcontrolador mais popular do mundo pois é fabricado também por muitos outros fabricantes independentes que produzem variações. A razão para o sucesso e uma popularidade tão grande é uma configuração engenhosamente escolhida que satisfaz as necessidades de um grande número de usuários, permitindo ao mesmo tempo uma expansão estável (referindo-se aos novos tipos do microcontrolador). Além disso, uma vez que uma grande quantidade de *software* foi desenvolvida nesse meio tempo, simplesmente não era lucrativo mudar qualquer coisa no núcleo básico do microcontrolador. Essa é a razão da existência de um grande número de vários microcontroladores que na verdade são apenas versões atualizadas da família 8051 originalmente desenvolvida pela Intel (MAHALAKSHMI, 2012).

O AVR é um microcontrolador de chip único RISC (em português “Computador com um conjunto reduzido de instruções”) de 8 *bits* com arquitetura *Harvard*. Vem com alguns recursos padrão, como programa no chip (código) ROM, RAM de dados, portas de E/S, dentre outros. A arquitetura básica do AVR foi projetada por dois estudantes do Instituto Norueguês de Tecnologia (NTH), Alf-Egil Bogen e Vegard Wollan. Depois comprado e desenvolvido pela empresa Atmel em 1996 (MAZIDI; NAIMI; NAIMI, 2011).

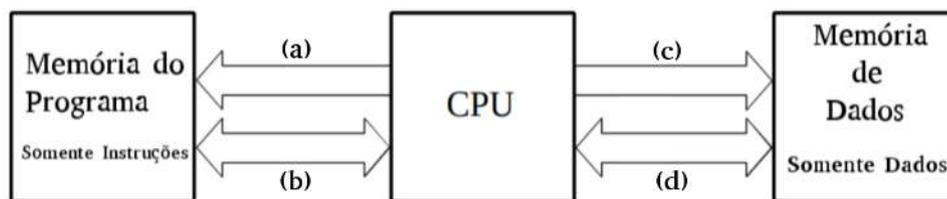
Os Controladores de Interface Periférica (PIC) são uma família de microcontroladores da empresa norte americana Microship Technology. Os microcontroladores PIC possuem características atrativas e são adequados para uma ampla gama de aplicações. Os microcontroladores PIC são processadores RISC e usam a arquitetura *Harvard*. O PIC é diferente do Intel 8051 e da maioria dos microcontroladores de uso geral que usam a arquitetura Von Neumann. A arquitetura *Harvard* é um conceito mais recente e surgiu da necessidade de acelerar o processador. Quase todas as instruções do PIC têm o mesmo formato, isso significa que todos os registradores PIC e modos de endereçamento podem ser usados de forma intercambiável e as opções de opcode<sup>2</sup>, registro e modo de endereçamento

<sup>2</sup> Opcode é a parte de uma instrução em linguagem de máquina que especifica qual operação deve ser executada pela Unidade Central de Processamento (CPU).

são mutuamente independentes. Isto permite realizar qualquer operação em qualquer registro usando qualquer modo de endereçamento (DESHMUKH, 2005).

A arquitetura de Harvard foi o nome dado para o trabalho realizado na Universidade de Harvard na década de 1940 sob a liderança de Howard Aiken. Como mostrado na Figura 5, Aiken insistiu em memórias separadas para dados e para instruções do programa, com barramentos separados para cada. Como os barramentos operam independentemente, as instruções e dados do programa podem ser buscados ao mesmo tempo, melhorando a velocidade em relação ao design de barramento único. A maioria dos DSPs (Digital Signal Processor) Processadores de Sinal Digital atuais usa essa arquitetura de barramento dual (SMITH et al., 1997).

Figura 5 – (a) Barramento da memória do programa para os endereços, (b) Barramento da memória do programa para os dados, (c) Barramento da memória de dados para endereços, (d) Barramento da memória de dados para dados.



Fonte: Adaptado (SMITH et al., 1997)

Após uma breve apresentação de algumas características dos microcontroladores mais populares do mercado, precisa-se então estabelecer alguns critérios para escolher o mais adequado para o propósito deste projeto. De acordo com (MAZIDI; NAIMI; NAIMI, 2011) os critérios a serem considerados devem ser os seguintes: *i*) atender às necessidades de computação da tarefa em questão de maneira eficiente e econômica; *ii*) disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento de *software* e *hardware*, como compiladores, depuradores e emuladores; e *iii*) ampla disponibilidade e confiabilidade do microcontrolador.

Em seguida, será explanado cada um dos critérios citados acima.

1. O primeiro e mais importante critério na escolha de um microcontrolador é que ele deve atender a tarefa de forma eficiente e econômica. Ao analisar as necessidades de um projeto baseado em microcontrolador, deve-se primeiro verificar que arquitetura será necessária seja 8 *bits*, 16 *bits* ou 32 *bits* para lidar com a tarefa de forma mais eficiente. Entre outras considerações nesta categoria estão:
  - a) Velocidade. Qual é a velocidade suportada pelo microcontrolador?
  - b) Consumo de energia. Isto é especialmente crítico para produtos alimentados por bateria.
  - c) A quantidade de RAM e ROM no chip.

- d) O número de pinos de I/O.
  - e) Facilidade de atualização para versões de maior desempenho ou menor consumo de energia.
  - f) Custo por unidade. Isso é importante em termos do custo final do produto.
2. O segundo critério na escolha de um microcontrolador é verificar o quão fácil é desenvolver programas para este. As principais considerações incluem a disponibilidade de um depurador, um compilador de linguagem C com código eficiente, um emulador, apoio e experiência interna e externa.
  3. O terceiro critério na escolha de um microcontrolador é sua pronta disponibilidade em quantidades necessárias agora e no futuro. Para alguns designers isso é ainda mais importante que os dois primeiros critérios.

#### 2.1.4 Impressão em 3 Dimensões

A impressão 3D é uma tecnologia que obtém informações de um objeto anteriormente modelado a partir de um computador e as envia para uma impressora 3D. Para assim criar objetos sólidos em 3 dimensões conforme este fora modelado anteriormente por meio do computador. Essa tecnologia foi desenvolvida em 1989 e desde então tem sido ampliada cada vez mais (NOORANI, 2017).

A Modelagem 3D também chamada de modelagem tridimensional é uma técnica de representação que descreve um objeto real na forma digital desenhado em três dimensões (KELLY, 2013). A fabricação de peças feitas para o uso próprio através da impressão 3D, está inserida no que se chama de *maker movement*.

O *maker movement* é uma ideologia na qual as pessoas desenham, modelam e fabricam seus próprios produtos. Uma das formas de se conseguir essa fabricação é utilizando-se de uma impressora 3D, pois esta possibilita liberdade para construção de peças ou artefatos necessários para projetos diversos (MOILANEN; VADÉN, 2013).

#### 2.1.5 Arduino

Arduino é uma plataforma de *hardware* e código aberto que foi desenvolvido pela equipe composta por Massimo Banzi, David Cuartilles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis, em Ivrea, Itália no ano de 2005. O objetivo da equipe era desenvolver uma linha de *hardware* e *software* de microcontroladores fáceis de usar, de modo que a capacidade de processamento estivesse prontamente disponível para todos (BARRETT, 2012).

A placa Arduino é composta por um microcontrolador Atmel AVR, um cristal oscilador (uma espécie de relógio que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada

para permitir que ele funcione na velocidade correta), um regulador linear de 5 volts, dentre outros componentes. Algumas versões do Arduino trazem embutida consigo um soquete USB para se conectar a um computador, carregar ou recuperar dados. A placa interliga a entrada/saída do microcontrolador a pinos para que se possa conectar tais pinos a outros circuitos ou a sensores (MCROBERTS, 2013).

Dentre as vantagens e facilidades oferecidas pela plataforma Arduino pode-se destacar que esta já possui o microcontrolador atrelado como componente. Do contrário seria necessário montar todo o circuito que compõe a placa, e isso inclui resistores, capacitores, diodos, regulador de voltagem e transistores (GRIDLING; WEISS, 2007). A Figura 6<sup>3</sup> ilustra o modelo Uno, um dos modelos disponíveis dessa plataforma.

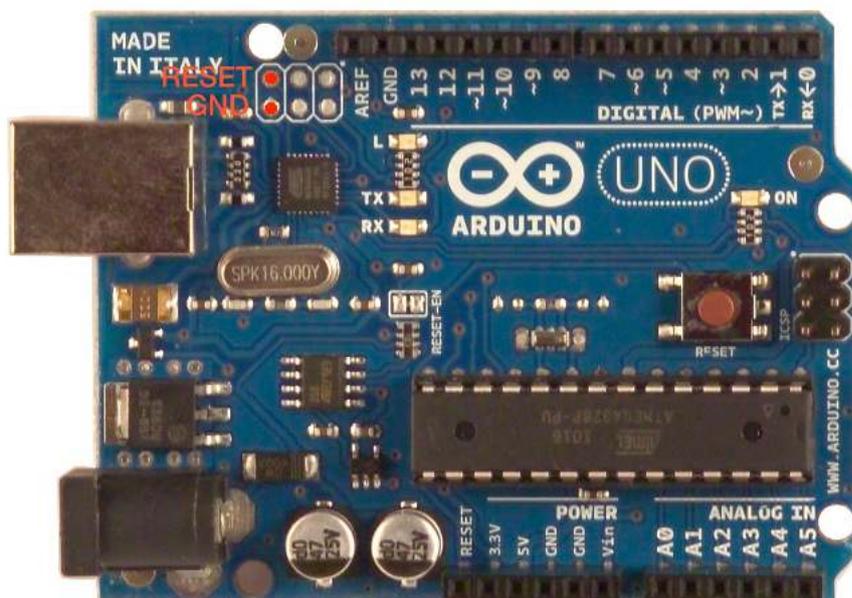


Figura 6 – Arduino Uno.

### 2.1.6 Comunicação sem fio

A comunicação sem fio é uma tecnologia que utiliza ondas de rádio como meio de propagação dos dados. Há inúmeras tecnologias para este tipo de comunicação como o *Bluetooth*, *WI-FI*, *WiMAX*, *3G*, *LTE*, dentre outras (MAHMOOD; JAVAID; RAZZAQ, 2015). Inúmeras vantagens são apontadas por Möckel et al. (2006) em se utilizar controle por comunicação sem fio. Entre elas a flexibilidade, eficiência energética e praticidade em relação a uma comunicação física utilizando cabos ou fios.

Em uma revisão feita por Hassan (2012) são elencadas características de algumas tecnologias sem fio que devem ser levadas em consideração quando se pretende adotar

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Hacking/DFUProgramming8U2/>>.

alguma delas. Entre estas características estão o alcance do sinal, a frequência e a taxa de transmissão.

## 2.2 Robótica Educacional

Robótica Educacional é uma metodologia de ensino-aprendizagem cujo pressuposto é a utilização da robótica como uma ferramenta educacional de apoio a docentes no ensino de disciplinas como matemática, ciências e física, ou seja disciplinas relacionadas à STEM (MAJOR; KYRIACOU; BRERETON, 2012).

A Robótica Educacional tem sido utilizada em vários níveis da educação, não só no meio universitário, mas também no ensino básico. Alguns fatores têm contribuído para que isso ocorra, dentre os quais pode-se citar (MENEGATTI; MORO, 2010):

- O fato de que as aplicações robóticas estão se tornando mais comuns no cotidiano.
- Várias arquiteturas robóticas voltadas para a educação que antes possuíam um alto custo, são agora mais acessíveis.
- A robótica provou ser uma ferramenta de aprendizagem eficaz. É possível desenvolver experiências que abordam conhecimentos técnicos e/ou científicos.
- Muitos ambientes de desenvolvimento de kits são capazes de apoiar os professores.

### 2.2.1 Desafios associados à Robótica Educacional

Apesar das vantagens que a Robótica Educacional traz como ferramenta de auxílio para o processo de ensino-aprendizagem, há ainda muitos problemas relacionados a essa metodologia como (MONDADA et al., 2017):

- A falta de maturidade da maioria dos kits, pelo fato de apenas alguns conseguirem alcançar a maturidade necessária para que possam ser acessíveis e distribuídos nas escolas.
- O orçamento limitado das escolas para aquisição de kits robóticos;
- A necessidade de um treinamento prévio dos professores para que possam ser capazes de trabalhar com tais ferramentas;
- Atividades envolvendo robótica são frequentemente percebidas como atividades de menino na sociedade ocidental, e isso diminui o potencial da robótica na educação, principalmente nas escolas.

- Muitos professores relutam em seguir tendências, especialmente se estas forem baseadas em argumentos. Os professores preferem investir em ferramentas estáveis.

Outro problema existente é a dificuldade em disponibilizar um kit para cada aluno. Isso faz com que a exposição dos alunos à ferramenta seja menor, diminuindo assim sua eficiência como instrumento de auxílio para alcançar todos os alunos da turma onde a robótica é empregada (ALIMISIS, 2013)

Uma listagem feita por (GYEBI et al., 2015) identifica 10 plataformas que existem atualmente na área da Robótica Educacional. Será aqui apresentado um breve compilado das características de apenas 5 destas plataformas, devido ao fato de que o intuito desta subseção não é fazer uma análise das plataformas, mas sim apresentar adversidades enfrentadas pela Robótica Educacional apoiado por trabalhos relacionados.

- Thymio II: é uma plataforma que possui código aberto e que também está disponível como um produto comercial ao preço de aproximadamente 130 dólares. O robô usa um microcontrolador PIC24FJ128GB106 de 16 *bits* e inclui vários sensores de proximidade IR, odometria, sensor de temperatura, acelerômetro e microfone. Os programas podem ser desenvolvidos e enviados de um computador através de uma porta USB. O ambiente de programação baseia-se uma linguagem *script* de código aberto. Há alguns materiais de ensino fornecidos com tutoriais e ideias de projetos. O Thymio II tem sido usado em disciplinas de ensino como física (MUBIN et al., 2013 apud GYEBI et al., 2015) e ciência da computação (MAGNENAT et al., 2014 apud GYEBI et al., 2015). A Figura 7<sup>4</sup> apresenta o Thymio II.



Figura 7 – Thymio II.

- Scribbler 2: é uma plataforma robótica comercial com projeto de *hardware* de código aberto a um preço de 130 dólares. O robô usa um microcontrolador P8X32A de 8 núcleos de 32 *bits* e é equipado com sensores de odometria, fotossensores, sensores de proximidade, microfone, infravermelho, alto-falante e LEDs. O robô pode funcionar sozinho ou ser programado através de uma porta USB (fornecido com o kit) de um computador. O ambiente de desenvolvimento é baseado em linguagem *Spin* como

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.thymio.org/en:thymiostarting/>>.

o BASIC e vem também com um ambiente de programação visual. Suporte para outros linguagens de programação de baixo nível (por exemplo, C) também são fornecidas. O robô vem com um conjunto de materiais educacionais para estudantes, mas também educadores. A Figura 8<sup>5</sup> ilustra o Scribbler 2.



Figura 8 – Scribbler 2.

- Microbot: é uma plataforma que vem como um kit de montagem a um custo aproximado de 65 dólares para o kit básico. Embora necessite de montagem prévia, não é necessária soldagem. O conjunto básico vem com um PICAXE-20X2 baseado no microcontrolador PIC de 8 *bits* , dois pára-choques, um sensor de rastreamento de linha, LEDs e um alto-falante. Capacidades de detecção e comunicação de robôs pode ser expandido por uma série de módulos adicionais. O robô pode ser programado através de uma porta serial USB. A linguagem de programação do *software* é baseado em BASIC, mas há também uma ferramenta de programação gráfica chamada Logicator. Microbot é projetado especificamente para educação, mas nenhum material didático suplementar é fornecido. Apresenta-se o Microbot na Figura 9<sup>6</sup>



Figura 9 – Microbot.

- SEG: é o projeto vencedor do segundo desafio de desenho de robô AFRON. É uma plataforma de código aberto, com partes mecânicas fabricado por impressão

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.parallax.com/product/28136/>>.

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.picaxe.com/Hardware/Teaching-Systems/PICAXE-20X2-Microbot/>>.

3D e para montar um robô completo por um custo aproximado de 20 dólares. O *hardware* principal contém uma placa Arduino Pro Mini, que usa um microcontrolador ATmega328 de 8 *bits*. O conjunto básico é equipado com um único fotossensor e apenas um LED. As capacidades básicas podem ser expandidas por sensores adicionais, atuadores e módulos de comunicação que podem ser incluídos por um custo adicional. O microcontrolador do robô pode ser programado por uma interface de programação. A programação pode ser feita usando uma interface gráfica de arrastar e soltar através do ambiente gráfico ArduBlock que também gera automaticamente código C++. O SEG vem equipado com material didático na forma de currículo que foi desenvolvido em planilhas, palestras em vídeo e laboratórios para os alunos aprenderem robótica básica e conceitos de programação. A Figura 10<sup>7</sup> ilustra o robô SEG.

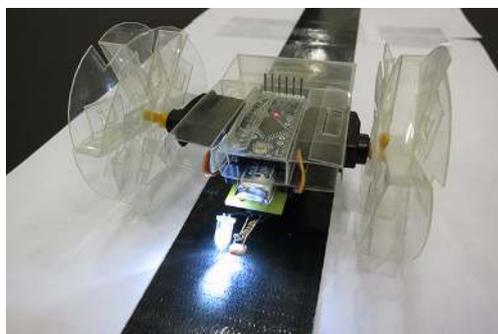


Figura 10 – SEG.

- Lollybot: é uma plataforma de código aberto com preço aproximado de 9 dólares. O robô é o vencedor na categoria robô amarrado no primeiro desafio de desenho de robô AFRON. O corpo principal do robô e o sistema de acionamento são essencialmente construídos a partir de um controlador de *PlayStation* reciclado. Lollybot tem sensores de colisão, LEDs e fotoresistores que atuam como detectores de linha e são acessíveis através do interface USB integrada. Isso faz com que o robô seja diretamente controlável por um PC conectado que fornece o poder de processamento ao robô. O ambiente de *software* do robô suporta linguagens de programação de alto nível, como Delphi, HTML e JavaScript. A Figura 11<sup>8</sup> ilustra o Lollybot.

Após a apresentação dessas plataformas (GYEBI et al., 2015) conclui-se que kits fabricados de forma artesanal apresentam preços mais baixos se comparados a modelos comerciais. Depois deste relato o autor completa a sua assertiva transparecendo um desafio enfrentado pela Robótica Educacional. O preço ainda elevado das plataformas, então ele completa declarando o quão decepcionante é ver que as plataformas com preço médio têm

<sup>7</sup> Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/diy/20-robot-mit-wins-aftron-design-challenge/>>.

<sup>8</sup> Disponível em: <<http://www.tomtilley.net/projects/lollybot/>>.



Figura 11 – Lollybot.

atualmente limitações fortes no desenvolvimento de *software* e materiais educacionais, o que impediria sua adoção direta.

## 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Os trabalhos apresentados a seguir são aqueles que de alguma forma, seja direta ou indiretamente, guardam relação com a proposta deste trabalho, ou com a Robótica Educacional.

### 3.1 Critérios de busca

A busca pelos trabalhos apresentados foi feita através do sistema de busca de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que possui bases referenciais importantes para este trabalho. As bases utilizadas foram IEEE Explore, ResearchGate, ACM Digital Library, ACM Computing Reviews, Springer e Google Scholar. As palavras utilizadas para realizar a busca pelos trabalhos foram *robotic education low cost* e *robotic education*.

Desta forma, os trabalhos apresentados aqui demonstram características como o baixo custo, fácil montagem, facilidade de uso e são voltados para a educação.

### 3.2 Metodologia de análise

Para a realização da análise dos trabalhos relacionados, foram selecionados os seguintes critérios:

Baixo custo (C1): como o objetivo principal deste trabalho tem foco no preço final para a montagem de um sistema robótico voltado para a educação, este critério foi avaliado nas propostas dos trabalhos relacionados. Definimos como critério para se classificar o que é um sistema robótico de baixo custo o valor de R\$ 100,00. Apesar deste valor ser arbitrário, consideramos em sua definição à aquisição de um kit robótico para cada aluno, como defendido por (ALIMISIS, 2013), e também as dificuldades de investimento na educação em nossa região, conforme apontado por (OLIVEIRA, 2017). Portanto, um preço final mais baixo torna possível atingir este objetivo. Por exemplo, considerando uma turma média de 30 alunos em sala de aula, o investimento aproximado seria de R\$ 3.000,00 por turma. A conversão de moeda foi feita em 21 de novembro de 2018 com cotação do dólar em R\$ 3,81 (três reais e oitenta e um centavos). Para todos os casos, foram desconsiderados os custos de importação. Esta definição desconsidera o percentual inflacionário apresentado no cenário atual, devido ao fato de que os componentes eletrônicos de maneira geral tendem a sofrer um decaimento de preço a medida que o tempo avança e novas tecnologias surgem.

Especificação detalhada de componentes (C2): afim de servir como base para

projetos futuros, é necessário que haja uma especificação técnica dos componentes que foram ou que possivelmente podem vir a ser utilizados para a criação de um protótipo. A especificação deve contar com a exposição do preço final dos componentes, deve ter detalhes sobre a programabilidade, deve contar também com uma explanação das características gerais de cada componente utilizado.

Programabilidade (C3): para facilitar a adoção do kit construído a partir da especificação à qual este projeto se propõe a desenvolver, é necessário que se tenha um sistema robótico simples, de fácil montagem e de fácil utilização. Analisamos neste critério se o kit proposto ou o trabalho em questão disponibiliza programas pré-definidos para uso pelo professor, não impondo ao mesmo a necessidade de aprender a programar microprocessadores. Tal critério tem como argumentação o fato de que os professores das disciplinas de química, física e matemática em geral não recebem treinamento suficiente, quando cursando suas licenciaturas, para programar kits robóticos aprofundado em programação de computadores.

Facilidade de uso (C4): a adoção por novas tendências da tecnologia é melhor recepcionada quando o seu uso é fácil e prático. O critério facilidade de uso é caracterizado pela facilidade com que o kit se apresenta para o professor. A interface deve ser simples e fácil de ser utilizada. Neste critério foi levado em consideração o número de botões da interface por exemplo. Também foi verificado se o projeto possui ou não uma proposta de ementa para o ensino de alguma conceito que possa ser lecionado com o auxílio do kit.

### 3.3 Trabalhos analisados

Com base nos critérios apresentados na seção anterior, foram analisados cinco trabalhos, conforme as subseções à seguir.

#### 3.3.1 Andruino-A1: Low-Cost Educational Mobile Robot Based on Android and Arduino (T1)

No trabalho de [López-Rodríguez e Cuesta \(2016\)](#) é apresentado um projeto de robô móvel voltado para a educação. O robô tem um custo de 35 € (trinta e cinco euros), o que vale em torno de R\$ 151,00 (cento e cinquenta e um reais) com a cotação do euro a R\$ 4,33 (quatro reais e trinta e três centavos de real) cotado em 23 de novembro de 2018. Baseado no sistema operacional Android e na plataforma Arduino, com capacidade para acesso em rede local a também acesso à Internet. Sendo usado em laboratórios e salas de aula na formação profissional em cursos voltados para a tecnologia da informação e comunicação e também em cursos de engenharia. Seu objetivo inicial era facilitar o ensino de robótica básica no curso superior de Computadores e Redes.

O trabalho mostra que usar *smartphones* baseados no sistema operacional Android é benéfico, devido ao fato de que muitos estudantes já têm um dispositivo como este, então a utilização deste traz um custo adicional quase zero. O autor aponta ainda que a maioria dos alunos já eram donos de *smartphones* com sistemas operacionais Android com um grande número de sensores disponíveis, isso desestimulou o uso de outras plataformas mais poderosas baseadas em microprocessadores de baixo custo como o Raspberry PI, que também foi considerado uma alternativa.

Alguns critérios de *design* e seleção de componentes foram relacionados pós estudos preliminares, são eles:

- **Simplicidade:** Deve conter o mínimo número de componentes de hardware, com uma simples construção mecânica, e com o número mínimo de linhas de código. Assim, nenhum sensor será instalado como hardware externo e todos os dados sobre a posição, movimento e meio ambiente do robô serão obtido a partir de sensores no *smartphone*.
- **Open Source:** Os alunos podem construí-lo a partir de partes que são fáceis de encontrar (lojas locais ou lojas populares) e devem ser modulares e extensíveis. Toda a informação deve ser publicada, para que os estudantes ou outros possam facilmente repetir e melhorar o design do robô, usando ferramentas abertas.
- **Baixo Custo:** O robô deve ser tão barato quanto possível (considerando o uso de *smartphones* de propriedade dos estudantes).
- **Educacional:** A construção do robô e as melhorias feitas pelos alunos devem implementar conhecimento procedimental em várias áreas (hardware, comunicações, programação, robótica, redes, habilidades sociais e grupo de trabalhos).
- **Autônomo e Cooperativo:** O robô deve ter capacidade suficiente para atuar como um robô autônomo, ainda tendo o capacidade de agir sob as ordens de outros ou em cooperação com outros robôs (computadores) que usam redes de comunicação e Internet.

### 3.3.2 A Low-Cost Classroom-Oriented Educational Robotics System (T2)

O trabalho de [Saleiro et al. \(2013\)](#) apresenta um sistema robótico que baseia-se em duas filosofias, a primeira delas diz que se o sistema não puder ser configurado em menos de cinco minutos, não será adequado para professores, e se não puder ser explicado a crianças em menos de cinco minutos, não será adequado para crianças. A segunda diz que o projeto deve ser extremamente de baixo custo. O sistema é composto por cinco robôs que são controlados por um ponto central. Utiliza uma programação gráfica baseada

em WEB por meio de uma conexão Wi-Fi através da utilização de *smartphones* ou *tablets*. O preço final estimado pelos autores é de 15 € (quinze euros), com a cotação do euro em R\$ 4,33 (quatro reais e trinta e três centavos), o valor estimado em reais é de R\$ 64,99 (sessenta e quatro reais e noventa e nove centavos).

Para controle e ligação da parte elétrica do sistema robótico foi utilizada uma placa criada pelos próprios autores com o microcontrolador PIC 16F88. Esta poderia ser substituída por uma placa Arduino, mas foi adotada ao invés deste para reduzir custos. O projeto contou ainda com um sensor de linha TCRT5000 e um módulo *Bluetooth* de modelo HC-05.

### 3.3.3 A Low Cost Mobile Robot for Engineering Education (T3)

Cardeira e Costa (2005) apresenta um projeto para construção de protótipos robóticos utilizando *laptops* de propriedade dos próprios estudantes. A justificativa para a utilização desses dispositivos como base para a construção do protótipos é de que os idiomas suportados pelos sistemas operacionais é mais amplo se comparados com os suportados pelos kits disponíveis no mercado como o Lego Mindstorm. Outro ponto apontado diz que o processamento digital de imagens pode ser feito facilmente por um *laptop*, é que tal processamento não é simples ou é impossível utilizando Lego Mindstorms.

O preço final do robô é de aproximadamente R\$ 495,00 (quatrocentos e nove e cinco reais), com a cotação em R\$ 3,83 (três reais e oitenta e três centavos de real) em 24 de novembro de 2018. Tal valor é obtido pela soma dos valores das peças utilizadas no projeto, um cartão USB no valor de USD 100,00 (cem dólares americanos), uma *webcam* com valor de 20 € (vinte euros) e duas chaves de fenda elétricas, ao qual seus motores internos foram utilizados neste projeto. Cada chave possui o valor de aproximadamente 7,50 € (sete euros e cinquenta centavos). Este valor foi calculado apenas para as peças, como mencionado acima, é necessário ainda o uso de um *laptop*.

### 3.3.4 The e-puck, a Robot Designed for Education in Engineering (T4)

O trabalho de Mondada et al. (2009) apresenta uma descrição do projeto denominado e-puck, um robô educacional desenvolvido na École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Os principais objetivos deste projeto são:

- O uso de uma plataforma comum em todos os cursos École Polytechnique Fédérale de Lausanne relacionados à robótica móvel, para substituir os diferentes robôs anteriormente em uso.
- O uso de um robô móvel em cursos que não possuem disciplinas relacionadas à robótica, por exemplo processamento de sinal, controle automático e programação embarcada,

a fim de propor mais exercícios baseados em projetos.

- A introdução de robôs móveis no início do currículo, o que implica a implantação em grandes aulas (50 a 100 alunos).

Além dos objetivos, o projeto aponta critérios que devem ser observados:

- Ampla gama de possibilidades de uma engenharia e ponto de vista educacional: Para explorar esta ferramenta em vários campos da educação, como o processamento de sinais, controle automático, programação embarcada ou projeto de sistemas inteligentes distribuídos, o robô deve fornecer um amplo conjunto de funcionalidades em sua versão base.
- Amigo do usuário: A interface do usuário tem que ser simples eficiente e intuitiva. Este é um ponto importante para a aceitação do sistema pelos alunos.
- Baixo custo: A ampla introdução em engenharia requer um grande número de robôs. Sabendo que o orçamento de muitas escolas é constante ou decrescente, isso só é viável com a redução do custo de um robô individual.
- Código aberto: Este robô tem que ser compartilhado entre professores, laboratórios, escolas e universidades. A modelo de desenvolvimento de hardware/software de código aberto é uma maneira eficaz de atingir esse objetivo.

O custo de produção do e-puck é de aproximadamente 250 € (duzentos e cinquenta euros), o que equivale a aproximadamente R\$ 1.086,00 (mil e oitenta e seis reais).

### 3.3.5 A Low-Cost and Simple Arduino-Based Educational Robotics Kit (T5)

([JUNIOR et al., 2013](#)) apresenta a proposta de um kit robótico educacional baseado na plataforma Arduino, voltado para o ensino de disciplinas da área de ciências exatas do ensino médio. Possui como foco principal o baixo custo, além é claro da simplicidade, assim os próprios alunos podem construí-lo.

O trabalho apresenta uma especificação de todos os componentes empregados no projeto, apresentado a quantidade de componentes necessários como também o preço de cada um. É apresentado também uma tabela de instruções que o professor pode seguir para um melhor uso do kit. Tal tabela mostra desde a apresentação do que é um Arduino até como se monta o protótipo final. Este trabalho traz um robô com um custo de USD 93,63 (noventa e três dólares americanos), aproximadamente R\$ 358,44 (trezentos e cinquenta e oito reais e quarenta e quatro centavos de real).

A programação do kit é feita utilizando o Minibloq, um ambiente de programação gráfica, facilita a introdução de estudantes no campo da programação. Os alunos usam blocos coloridos para programar dispositivos de computação física com facilidade.

### 3.4 Resumo Comparativo

Uma parte dos trabalhos apresentados possuem as características essenciais buscadas para a criação da especificação a que este trabalho se propõe, que são o baixo custo e a programabilidade. Isso reflete o quanto tais características são indispensáveis em projetos como estes. Os demais critérios não são vistos em todos, mas apenas em alguns deles.

A Tabela 1, mostra que apenas o trabalho T2 atende aos critérios de ser de baixo custo e possuir uma boa programabilidade. O critério de ser um protótipo com uma boa facilidade de uso é contemplado apenas no trabalho T4. Já o critério de que o projeto possui uma especificação técnica apresentada, não é atendido por nenhum dos trabalhos apresentados. Apesar de o trabalho T5 apresentar uma pequena tabela onde são expostos os valores dos componentes utilizados no robô.

Tabela 1 – Comparativo entre trabalhos apresentados

	C1	C2	C3	C4
T1	Não	Não	Não	Não
T2	Sim	Não	Sim	Não
T3	Não	Não	Não	Não
T4	Não	Não	Não	Sim
T5	Não	Não <sup>1</sup>	Sim	Não
Este trabalho	Sim	Sim	Sim	Sim

<sup>1</sup> Apesar do trabalho apresentar um tipo de especificação, esta contempla somente o preço de cada componente utilizado no projeto.

# 4 ELABORAÇÃO DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE HARDWARE PARA ROBÓTICA EDUCACIONAL

Para a constituição da especificação pretendida algumas etapas foram seguidas como a modelagem de peças em 3D, montagem de um plataforma mínima para a realização de experimentos como de consumo de energia e de programação. Cada um desses tópicos serão explanados nas subseções ao longo deste capítulo.

## 4.1 Identificação e aquisição dos componentes

Para dar início à elaboração da especificação, foi realizado um estudo sobre quais componentes seriam analisados para posteriormente fazer parte ou não da especificação. O primeiro ponto levado em consideração na escolha dos componentes foi o preço, seguido pela disponibilidade de aquisição do mesmo na região. Foi observado também se o componente oferecia uma fácil interface de configuração e implementação.

Durante o processo de seleção dos possíveis componentes que seriam analisados, alguns pontos foram levados em consideração. O preço foi o primeiro deles, para que o componente pudesse ser um possível candidato, seu preço deveria ser de no máximo R\$ 30,00 (trinta reais). Pelo fato de que um kit construído a partir da especificação não ultrapasse o valor de R\$ 100,00 (cem reais), a argumentação para se definir esse valor foi explanada no critério 1 dos trabalhos relacionados. Para a construção de um kit, é necessário ao menos dois componentes, o microcontrolador e um sensor. Se cada um deles custar no máximo R\$ 30,00 (trinta reais), será possível construir um kit robótico com um preço inferior a R\$ 100,00 (cem reais).

Outro ponto levado em consideração foi verificar se o componente é de fácil aquisição na região da cidade de Jataí - Goiás. Existem algumas lojas especializadas na venda desse tipo de produto. Pode-se citar a loja ARDUO ELETRO, uma loja especializada em equipamentos da área da tecnologia e principalmente da plataforma Arduino. Esta fica localizada em uma cidade vizinha, chamada de Rio Verde - Goiás, uma cidade à 91,8 km de distância de Jataí. Pode-se citar ainda as lojas Arduino Gyn, Casa do Arduino, Microwat, Santos Dumont - Componentes Eletrônicos e a D&D Componentes. Todas estas lojas ficam localizadas na cidade de Goiânia, uma cidade à 320 km de distância de Jataí. As lojas Microwat, Santos Dumont - Componentes Eletrônicos e a D&D Componentes possuem um sistema de vendas por meio do comércio eletrônico. Uma forma de vendas de produtos

via Internet, onde a loja a exibe os produtos em um site na web, oferece um sistema de pagamento *online* e a entrega dos produtos é feita por uma empresa de transporte. Há a possibilidade também de compra presencial, dentre as lojas citadas, somente a Microwat oferece a compra por meio exclusivo do comércio eletrônico, ou seja, só é possível realizar uma compra por meio do comércio eletrônico.

## 4.2 Preço dos componentes

O preço teve uma importância significativa no momento da seleção dos componentes. Tendo em vista que a especificação deveria conter componentes com baixo custo, realizou-se uma pesquisa de preço pelo sites mencionados na seção anterior, com o intuito de verificar quais poderiam se encaixar no limite de preço máximo definido. O preço foi um ponto importante, mas não podia-se esquecer das características e aplicabilidades de cada componente. No momento da pesquisa foi verificado primeiramente o preço, suas características e sua aplicabilidade eram averiguados posteriormente.

Além das lojas próximas a cidade de Jataí, havia também a possibilidade de importar os componentes direto do país que os fabrica, a China. Comprar diretamente da China é vantajoso pelo fato de se conseguir preços ainda menores do que os oferecidos pelas lojas da região. No entanto, o tempo de entrega é bem mais longo, em torno de 1 a 3 meses. Como a elaboração deste trabalho tem duração de aproximadamente 4 meses, optou-se por não adquirir os componentes da China. Ainda assim, a importação seria a melhor opção para a construção de kits em grande escala, o preço limite a que este trabalho propõe poderia ser reduzido significativamente. Essa informação foi obtida através de uma pesquisa de preço acessando o site [aliexpress.com](http://aliexpress.com), o maior site de vendas da China. A pesquisa considerou apenas os produtos que possuem frete grátis para o Brasil. A Tabela 2 apresenta os menores preços resultantes de uma pesquisa feita nas lojas próximas à cidade de Jataí e no site [Aliexpress.com](http://Aliexpress.com). Foi desconsiderado os custos com frete, afim de se obter o preço real do produto apenas. A 3ª coluna da Tabela 2 traz os menores preços como produto de uma pesquisa pelo site [aliexpress.com](http://aliexpress.com) com a conversão feita de dólar americano para o real, com cotação do dólar em R\$ 4,03 (quatro reais e três centavos). Há uma grande variedade de componentes que são ofertados com frete grátis para o Brasil, estes foram os escolhidos para fazer parte desta tabela.

Pode-se perceber a diferença dos preços entre os produtos ofertados na região local com os ofertados na China. A soma dos valores dos produtos ofertados na China mostrados na 3ª coluna Tabela 2 são 40.4% mais baratos que os mesmos produtos mostrados na 2ª coluna da Tabela 2 ofertados pelas lojas da região.

Tabela 2 – Preço dos componentes em lojas da região da cidade de Jataí

Componente	Preço local <sup>1</sup>	Preço no site Aliexpress
Arduino Pro Mini	18,90	9,96
Arduino UNO	35,90	24,35
Display LCD 8x2	14,31	10,69
Micro Motor	13,75	3,79
Módulo Bluetooth HC-06	31,95	15,32
Motor de passo 28BYJ-48	14,31	6,09
Sensor de distância ultrassônico HC-SR04	7,39	5,25
Sensor de linha IR TCRT5000 LM393x	6,72	12,18
Servo Motor 9G SG90	13,90	5,93

<sup>1</sup>Preço em Reais - R\$.

### 4.3 Testes de consumo de energia

Para a realização dos testes com os componentes que iriam ser analisados, fez-se necessário a montagem de uma **plataforma** mínima para sua realização. A plataforma foi constituída de uma *protoboard* de 400 pontos, um multímetro de modelo IK-1000 da marca ICEL Manaus, um Arduino modelo UNO, fios para *protoboard* e uma fonte de corrente continua com saída de 5v.

Feito a montagem da **plataforma** mínima, o passo seguinte foi a realização do teste de consumo de energia. Para tal atividade foi utilizado o mesmo multímetro mencionado no parágrafo anterior. Este possui capacidade para medir uma corrente contínua de  $200\mu\text{A}$  até 10A. Como medida de segurança, um fusível foi utilizado para proteger todo o circuito envolvido.

Para medir o consumo de energia dos componentes, adotou-se o procedimento de medir a corrente do circuito com o componente em operação por cinco vezes em intervalos de 1 segundo. Posteriormente, a média deste valores foi calculada e os valores foram adotados como o consumo médio do componente em operação.

O motor de passo de modelo 28BYJ-48 teve seu consumo analisado em diferentes condições de trabalho. Durante o teste, a velocidade do motor foi alterada e seu consumo foi medido em diferentes velocidades. Para este motor, o termo velocidade alta foi definido como a velocidade máxima atingida pelo motor a uma voltagem de 5v. Já o termo velocidade baixa foi definido com a configuração do código fonte que comanda o motor em 4075 passos por volta. Ou seja, nesse motor de passo, foi definido que o mesmo executasse 64 passos até completar uma volta completa em torno de seu eixo. A figura 12 mostra o motor de passo 28BYJ-48 utilizado para o teste. A figura 13 mostra o esquema elétrico para realizar a mediação de corrente, o esquema foi feito utilizando o software Fritzing. O Fritzing é um software de código fonte aberto que tem por finalidade projetar circuitos eletrônicos virtualmente (KNÖRIG; WETTACH; COHEN, 2009). Já a figura 14 mostra

como foi feito a ligação dos componentes para realizar a medição de corrente por meio do uso do multímetro.



Figura 12 – Motor de passo 28BYJ-48

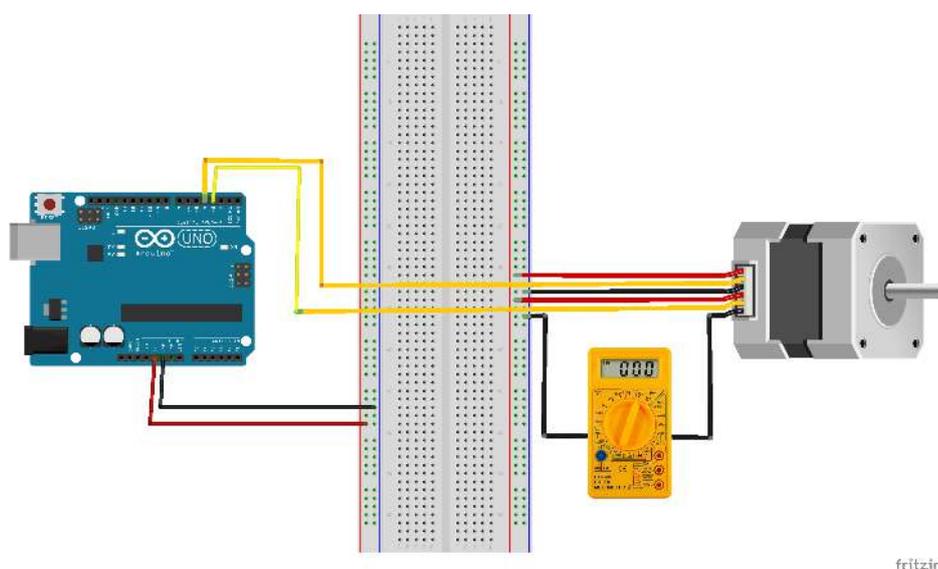


Figura 13 – Esquema elétrico utilizando o 28BYJ-48

O teste com o servo motor de modelo 9G SG90 seguiu o mesmo método utilizado para o motor de passo 28BYJ-48. Duas medições foram feitas, uma em velocidade alta, a velocidade máxima atingida pelo servo motor com uma voltagem de 5v, e a velocidade baixa definida como a utilização da função *delay* presente na linguagem utilizada para se fazer a programação do Arduino. O valor utilizado foi de 400 milissegundos, dentro de um laço de repetição, esse é o intervalo que o motor incrementará uma unidade em sua posição inicial. Ou seja, ele empregou um tempo de 36000 milissegundos, o que equivale à 36 segundos. Na figura 15 é apresentado o servo motor utilizado para o teste. A figura 16 apresenta a esquema real para o teste de corrente com o servo motor 9G SG90.

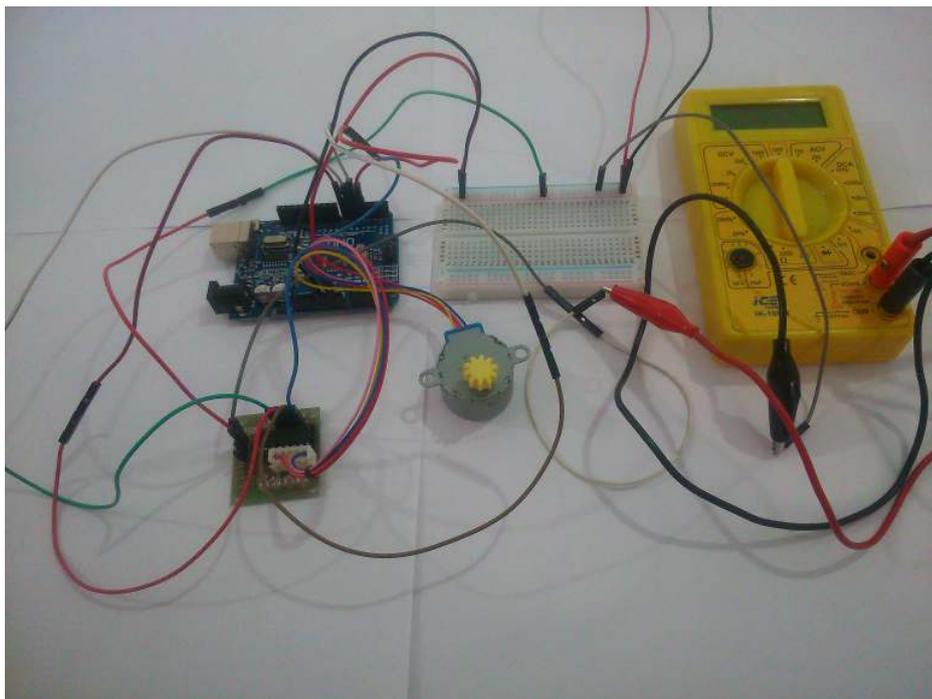


Figura 14 – Circuito elétrico utilizando o motor de passo 28BYJ-48



Figura 15 – Servo motor 9G SG90

Os sensores que fizeram parte da análise foram o *display* de LCD modelo 0802a, sensor de distância HC-SR04 e módulo *bluetooth* RS232 HC-05. O *display* de LCD possui 16 pinos em sua interface, esse grande número de pinos traz uma certa dificuldade no momento da montagem, mas a leitura de sua documentação sana as dúvidas que surgem no momento da montagem do circuito. O sensor de distância apresenta uma interface muito simples e não trouxe maiores problemas no momento que foi analisado. Para a realização do teste do módulo *bluetooth* RS232 HC-05 fez-se necessária utilização de um

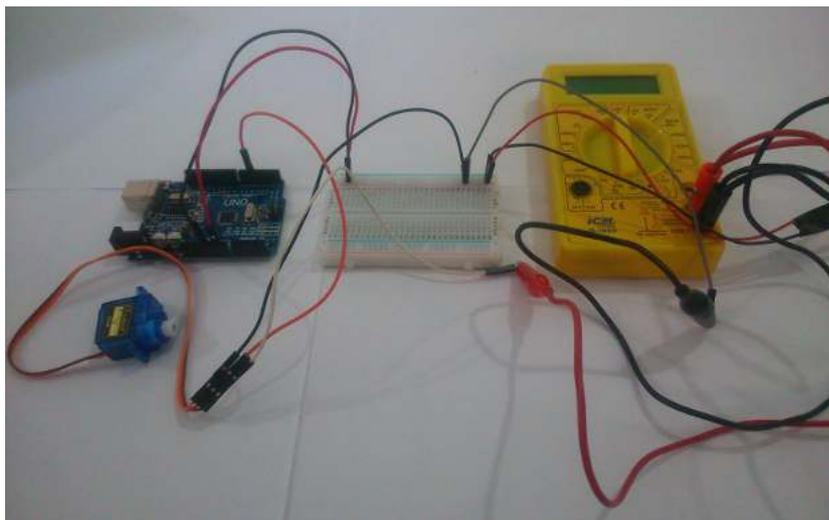


Figura 16 – Circuito elétrico utilizando o servo motor 9G SG90

aplicativo Android, para que assim fosse estabelecida uma conexão entre o dispositivo que comportava o aplicativo e o módulo *bluetooth*. Estabelecida a conexão, foi medido o consumo de energia durante a transferência de um arquivo com tamanho de 18 MB. Foi medido também o consumo em pleno funcionamento e também o consumo em *stand-by* de todos os sensores. A figura 18 apresenta o esquema elétrico desenhado com o Fritzing. A figura 19 apresenta a montagem do circuito utilizado para testar o seu consumo de energia. As figuras 20 e 21 mostram o módulo Bluetooth HC-06 e o display LCD 8x2 respectivamente.



Figura 17 – Sensor de distância ultrassônico HC-SR04

A realização dos testes com o microcontrolador PIC foi inviabilizada por questões técnicas e também o curto tempo. Portanto o teste foi realizado utilizando a outra opção de microcontrolador, o AVR ATmega328P embutido na placa Arduino UNO. Uma plataforma muito intuitiva e pratica para se utilizar, três modos de trabalho foram executados, *stand-by*, operação com atuadores e modo de processamento máximo. O modo *stand-by* é pode ser descrito como o modo de funcionamento do Arduino onde este está somente ligado, não está realizado nenhum tipo de processamento. O modo aqui chamado de operação

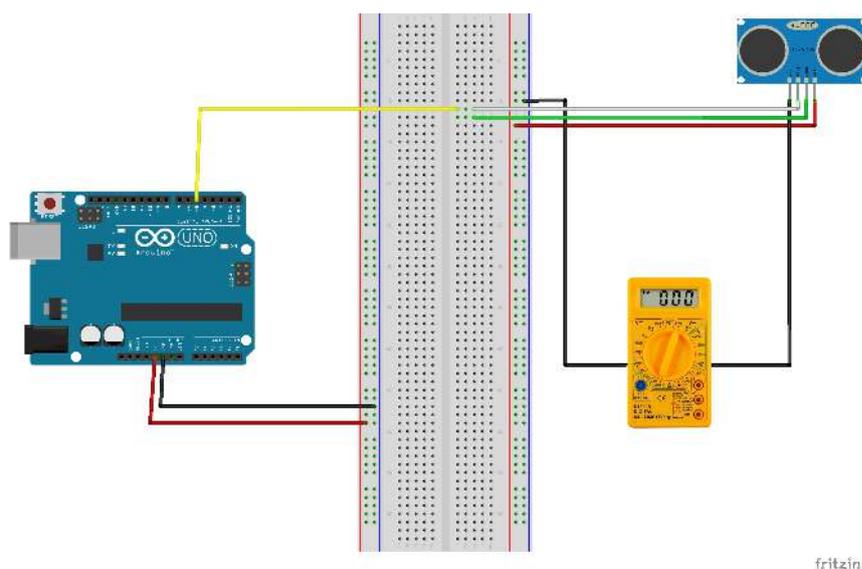


Figura 18 – Esquema elétrico utilizando o sensor de distância ultrassônico HC-SR04

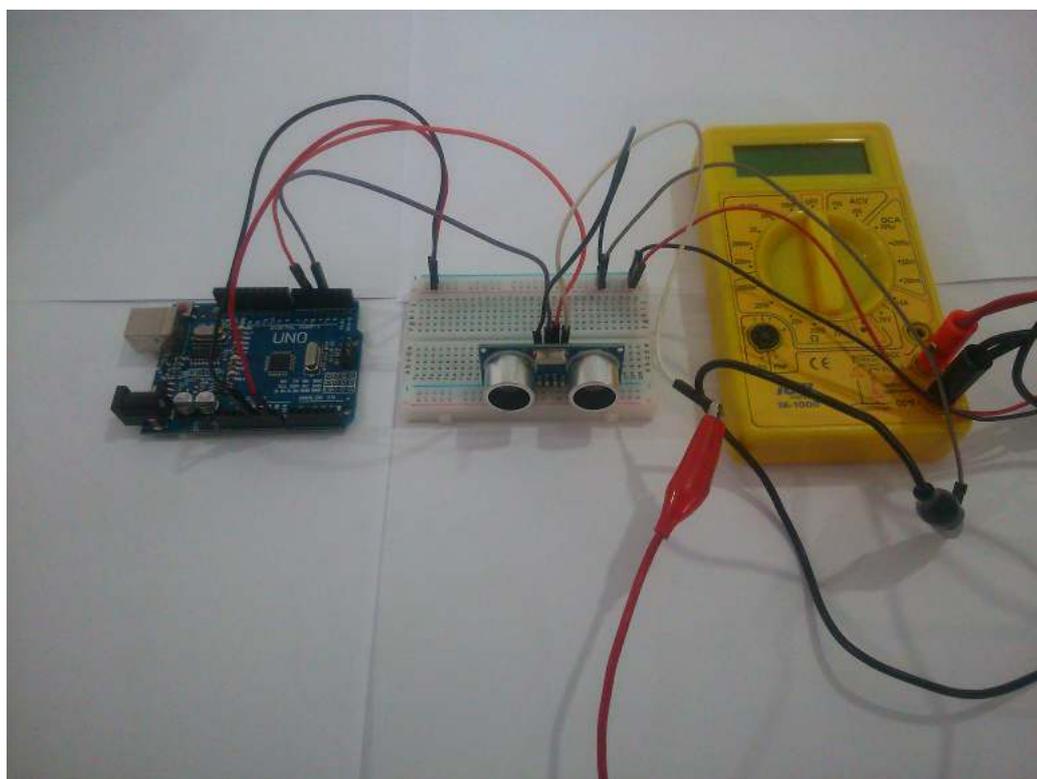


Figura 19 – Circuito elétrico utilizando o sensor de distância ultrassônico HC-SR04

com atuadores é o modo onde o Arduino está processando dados simples mandados para os atuadores. O modo chamado de processamento máximo foi a parte do teste onde um algoritmo complexo foi executado pelo Arduino, com diversas operações matemáticas que envolveram o máximo de processamento por parte do Arduino, este era o objetivo dessa parte do teste, verificar o consumo máximo feito pelo Arduino.

A Tabela 4 traz o valores obtidos nas leitura de todos os componentes citados



Figura 20 – Módulo Bluetooth HC-06



Figura 21 – Display LCD 8x2

acima.

Tabela 3 – Consumo de corrente dos componentes utilizado

Componente	Consumo
Arduino Pro Mini	21.7 mAh
Arduino UNO	23.7 mAh
Display LCD 8x2	49.7 mAh
Micro Motor	115.4 mAh
Módulo Bluetooth HC-06	0.014 mAh
Motor de passo 28BYJ-48 em velocidade alta	0.074 Ah
Motor de passo 28BYJ-48 em velocidade baixa	0.284 Ah
Sensor de distância ultrassônico HC-SR04	4.48 mAh
Sensor de linha IR TCRT5000 LM393x	Não medido
Servo Motor 9G SG90 em velocidade alta	121.48 mAh
Servo Motor 9G SG90 em velocidade baixa	40.14 mAh

#### 4.4 Programabilidade do componente

Assim como o preço e o consumo de energia, a programabilidade dos componentes também foi analisada, ou seja, verificamos a existência de bibliotecas oficiais ou extra-

Tabela 4 – Consumo de corrente especificado pelos fabricantes

Componente	Consumo
Arduino Pro Mini	14.28 mAh
Arduino UNO	46.5 mAh
Display LCD 8x2	70 mAh
Micro Motor	NA
Módulo Bluetooth HC-06	8 mAh
Motor de passo 28BYJ-48 em velocidade alta	NA
Motor de passo 28BYJ-48 em velocidade baixa	NA
Sensor de distância ultrassônico HC-SR04	15 mAh
Sensor de linha IR TCRT5000 LM393x	2.1 mAh
Servo Motor 9G SG90 em velocidade alta	NA
Servo Motor 9G SG90 em velocidade baixa	NA

NA - Não se aplica, devido ao fato de não ser disponibilizado uma documentação sobre o produto.

oficiais para se programar os componentes. Também foi verificado se existe alguma IDE própria para o componente, neste caso apenas para os microcontroladores, pois estes necessitam ser programados diretamente, diferente dos sensores e atuadores que são controlados pelo microcontrolador.

Verificou-se ainda, se é oferecido suporte pelos compiladores GCC e LLVM. Para o microcontrolador Atmel AVR, o microcontrolador utilizado no Arduino. Constatou-se que o mesmo possui suporte pelo GCC e também pelo LLVM. No entanto o PIC possui esse suporte nem pelo GCC e nem pelo LLVM. Tal suporte facilita sua programação, visto que esses compiladores possuem uma documentação completa.

Os critérios utilizados para a avaliação da programabilidade responde as seguintes questões sobre biblioteca:

- Há biblioteca oficial do Arduino IDE feita pela própria equipe do Arduino?
- Há biblioteca de terceiros que pode ser instalada?

Se a resposta da primeira pergunta for sim, então a segunda pergunta é dispensada, pelo fato de que este trabalho considera que as bibliotecas oficiais têm prevalência sobre as não oficiais. Devido ao suporte que é oferecido pela equipe oficial do Arduino às bibliotecas oficiais. Se as respostas das duas perguntas acima for não, então o componente não possui nenhuma biblioteca disponível. Nesse caso é necessário apenas a linguagem de programação padrão do microcontrolador que irá gerenciá-lo. A biblioteca oficial do Arduino IDE está disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>>. São mais de 70 bibliotecas ao todo, são bibliotecas utilizadas para gerenciar os mais diversos sensores e atuadores compatíveis com o Arduino. Já as bibliotecas de terceiros são bibliotecas não oficiais encontradas em fóruns e em sites voltados para o desenvolvimento

utilizando o Arduino. Geralmente são bibliotecas de código fonte aberto, em alguns casos é necessário apenas um cadastro gratuito no site/fórum para se ter acesso as tais bibliotecas. As bibliotecas não foram pesquisadas para um componente de modelo específico, mas de acordo com a finalidade do componente. Visto que as bibliotecas são compatíveis entre componentes que possuem exatamente a mesma função

Logo abaixo é apresentado a Tabela 5 referente a disponibilidade de bibliotecas oficiais e bibliotecas de terceiros.

Tabela 5 – Bibliotecas disponíveis

Componente	Há biblioteca oficial?	Há biblioteca de terceiros?
Arduino Pro Mini	NA	-
Arduino UNO	NA	-
Display LCD 8x2	Sim	-
Micro Motor	Não	Sim
Módulo Bluetooth HC-06	Não	Sim
Motor de passo 28BYJ-48	Sim	-
Sensor de distância ultrassônico HC-SR04	Sim	-
Sensor de linha IR TCRT5000 LM393x	Não	Sim
Servo Motor 9G SG90	Sim	-

NA - Não se aplica.

Como visto na Tabela 5 todos os componentes analisados neste trabalho apresentam ao menos uma biblioteca, seja ela oficial ou não. Em alguns componentes é possível ver que há tanto bibliotecas oficiais quanto bibliotecas não oficiais. Como mencionado acima, o trabalho prioriza as bibliotecas oficiais.

## 4.5 Especificação final

Após a análise de todos os componentes, foi possível elaborar uma especificação com todos os critérios previamente estabelecidos. A Tabela 6 contém os dados desta especificação. Já a Tabela 7 apresenta um pouco a mais do que foi proposta, exibindo o tamanho e peso de cada componente.

## 4.6 Considerações Finais

Pode-se perceber que os componentes analisados possuem um baixo consumo de energia, com exceção dos motores de passo e do servo motor. Já se esperava que estes componentes seriam os que mais iriam consumir energia. Uma tensão de 5v foi o suficiente para realizar os testes com todos os componentes, inclusive os motores, pois são os que usam uma tensão maior.

Tabela 6 – Especificação técnica final

	Preço <sup>1</sup>	Consumo	A <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>
Arduino Pro Mini	18,90	21.7 mAh	NA	-
Arduino UNO	35,90	23.7 mAh	NA	-
Display LCD	14,31	49.7 mAh	Sim	-
Micro Motor	13,75	115.4 mAh	Não	Sim
Módulo Bluetooth HC-06	31,95	0.014 mAh	Não	Sim
Motor de passo 28BYJ-48 em velocidade alta	14,31	0.074 Ah	Sim	-
Sensor de distância ultrassônico HC-SR04	7,39	4.48 mAh	Sim	-
Sensor de linha IR TCRT5000 LM393x	6,72	—	Não	Sim
Servo Motor 9G SG90 em velocidade alta	13,90	121.48 mAh	Sim	-

NA - Não se aplica

<sup>1</sup>Preço em Reais - R\$.

<sup>2</sup>Biblioteca oficial

<sup>3</sup>Biblioteca não oficial

Tabela 7 – Especificação técnica com tamanho e peso dos componentes

	Preço <sup>1</sup>	Consumo	Tamanho <sup>2</sup>	Peso <sup>3</sup>
Arduino Pro Mini	18,90	21.7 mAh	3.3x1.8x0.2	1.5
Arduino UNO	35,90	23.7 mAh	7.6x5.3x1.2	25
Display LCD	14,31	49.7 mAh	5.8x3.2x1.8	34
Micro Motor	13,75	115.4 mAh	3.4x2.0x1.3	13
Módulo Bluetooth HC-06	31,95	0.014 mAh	3.8x1.6x0.3	4
Motor de passo 28BYJ-48 em velocidade alta	14,31	0.074 Ah	3.1x4.2x3.1	40
Motor de passo 28BYJ-48 em velocidade baixa	—	0.284 Ah	—	—
Sensor de distância ultrassônico HC-SR04	7,39	4.48 mAh	4.5x2.0x1.6	9
Sensor de linha IR TCRT5000 LM393x	6,72	—	FALTA	12
Servo Motor 9G SG90 em velocidade alta	13,90	121.48 mAh	3.2x3.2x1.2	9
Servo Motor 9G SG90 em velocidade baixa	—	40.14 mAh	—	—

<sup>1</sup>Preço em Reais - R\$.

<sup>2</sup>CxLxA - Comprimento x Largura x Altura, em cm.

<sup>3</sup>Peso em gramas.

# 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo tem por finalidade apresentar os principais pontos discutidos no trabalho, relacionar os possíveis trabalhos futuros advindos desta pesquisa e avaliar a principal contribuição deste trabalho para a área científica.

## 5.1 Conclusões

O trabalho trouxe uma visão geral no campo da Robótica Educacional, sobre o andamento de kits robóticos utilizado nos dias atuais como também os que já foram usados. Fez um breve levantamento sobre os desafios que ainda existem na área da Robótica Educacional e investigou propostas de solução existentes na literatura. Apresentou características gerais dos kits disponíveis para aquisição. Fez uma análise de mercado sobre o preço dos componentes. Definindo quais seriam aptos ou não a fazer parte da especificação. Além do preço, os componentes passaram por um teste de consumo de corrente. Fez-se necessário também analisar a programabilidade dos componentes.

Foi possível inferir que alguns componentes possuem um consumo de energia maior que outros. A exemplos dos motores, que podem fazer toda a diferença no momento da escolha dos componentes. Justamente pelo fato de que se o kit a ser construído precisar de autonomia de bateria, utilizar motores não será a melhor opção. Agora se o foco não for autonomia de bateria, estes poderão ser utilizados como principal meio de se produzir algum tipo de movimento, seja na construção de um braço robótica ou na construção de um carrinho controlado por um *smartphone*.

Verificou-se ainda que componentes de fácil acesso podem fazer parte de uma especificação. Componentes estes que possuem um custo razoavelmente baixo e viáveis de serem adquiridos. Esta viabilização se torna ainda mais notória quando se escolhe adquirir os componentes diretamente da China. Pois o país consegue oferecer preços mais acessíveis.

Por fim é possível constatar que apesar de a plataforma Arduino ser mais cara que o microcontrolador PIC, é mais conveniente se pagar um pouco mais para ter-se mais adequação do que pagar menos e ter um microcontrolador que possui uma programação mais complexa, tendo como base a placa Arduino.

## 5.2 Trabalhos futuros

Alguns pontos que não foram contemplados por este trabalho, ainda devem ser pesquisados e analisados. Como a análise de novos componentes que podem ser adicionados à especificação atual. A construção de kits utilizando como base a especificação apresentada neste trabalho e a adoção do mesmo em escolas da cidade. Pode-se ainda realizar um estudo sobre a aceitação dos kits construídos, buscar fatores que podem ser alterados para melhor atender a demanda de quem for utilizar o kit.

# REFERÊNCIAS

- ALIMISIS, D. Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, v. 6, n. 1, p. 63–71, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 32.
- ALIMISIS, D.; MORO, M.; MENEGATTI, E. *Educational Robotics in the Makers Era*. [S.l.]: Springer, 2017. v. 560. 135–146 p. Citado na página 15.
- ATHANI, V. *Stepper motors: fundamentals, applications and design*. [S.l.]: New Age International, 1997. 1–18 p. Citado na página 20.
- BARKER, B. S. *Robots in K-12 education: A new technology for learning: A new technology for learning*. [S.l.]: IGI Global, 2012. 302–319 p. Citado na página 14.
- BARRETT, S. F. Arduino microcontroller: Processing for everyone! *Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems*, Morgan & Claypool Publishers, v. 7, n. 2, p. 1–371, 2012. Citado na página 25.
- BISHOP, R. H. *The Mechatronics Handbook, -2 Volume Set*. [S.l.]: CRC press, 2002. 30-1–31-1 p. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- CAMPBELL, T. et al. Could 3d printing change the world. *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 2011. Citado na página 17.
- CARDEIRA, C.; COSTA, J. S. D. A low cost mobile robot for engineering education. In: IEEE. *31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society*. Raleigh, NC, USA, 2005. p. 6–pp. Citado na página 35.
- CATSOU LIS, J. *Designing Embedded Hardware: Create New Computers and Devices*. [S.l.]: “O’Reilly Media, Inc.”, 2005. 316–327 p. Citado na página 23.
- CETINKUNT, S. *MECHATRONICS with Experiments*. [S.l.]: Wiley, 2015. 329–380 p. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- DESHMUKH, A. V. *Microcontrollers: theory and applications*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 2005. 115–150 p. Citado na página 24.
- EGUCHI, A. Robotics as a learning tool for educational transformation. In: 4TH INTERNATIONAL WORKSHOP TEACHING ROBOTICS, TEACHING ROBOTICS & 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ROBOTICS IN EDUCATION. [S.l.], 2014. p. 27–34. Citado na página 15.
- FILIPPOV, S. et al. Robotics education in saint petersburg secondary school. In: SPRINGER. *International Conference on Robotics and Education RiE 2017*. [S.l.], 2017. p. 38–49. Citado na página 14.
- GABRIELE, L. et al. An educational robotics lab to investigate cognitive strategies and to foster learning in an arts and humanities course degree. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, v. 13, n. 04, p. 7–19, 2017. Citado na página 16.

- GRIDLING, G.; WEISS, B. Introduction to microcontrollers. *Vienna University of Technology Institute of Computer Engineering Embedded Computing Systems Group*, 2007. Citado na página 26.
- GYEBI, E. et al. Affordable mobile robotic platforms for teaching computer science at african universities. In: *6th International Conference on Robotics in Education RiE 2015*. [S.l.: s.n.], 2015. Citado 3 vezes nas páginas 16, 28 e 30.
- HASSAN, M. A. A. A review of wireless technology usage for mobile robot controller. In: *Proceeding of the International Conference on System Engineering and Modeling (ICSEM 2012)*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 7–12. Citado na página 26.
- HUGHES, A.; DRURY, W. *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. [S.l.]: Newnes, 2013. 1–42 p. Citado na página 20.
- HUGHES, C.; HUGHES, T. *Robot Programming: A Guide to Controlling Autonomous Robots*. [S.l.]: Que Publishing, 2016. 9-67 p. Citado na página 19.
- JUNIOR, L. A. et al. A low-cost and simple arduino-based educational robotics kit. *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Robotics and Control (JSRC), December edition*, v. 3, n. 12, p. 1–7, 2013. Citado na página 36.
- KELLY, J. F. *3D Printing: Build Your Own 3D Printer and Print Your Own 3D Objects*. [S.l.]: Que Publishing, 2013. 3–17 p. Citado na página 25.
- KHANLARI, A. Effects of educational robots on learning stem and on students' attitude toward stem. In: *IEEE. Engineering Education (ICEED), 2013 IEEE 5th Conference on*. [S.l.], 2013. p. 62–66. Citado na página 14.
- KHINE, M. S. *Robotics in STEM Education: Redesigning the Learning Experience*. [S.l.]: Springer, 2017. 3–85 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- KNÖRIG, A.; WETTACH, R.; COHEN, J. Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers. In: *ACM. Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*. [S.l.], 2009. p. 351–358. Citado na página 40.
- LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F. M.; CUESTA, F. Andruino-a1: Low-cost educational mobile robot based on android and arduino. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Springer, v. 81, n. 1, p. 63–76, 2016. Citado na página 33.
- MAGNENAT, S. et al. Teaching a core cs concept through robotics. In: *ACM. Proceedings of the 2014 conference on Innovation & technology in computer science education*. [S.l.], 2014. p. 315–320. Citado na página 28.
- MAHALAKSHMI, M. *8051 Microcontroller Architecture, Programming and Application*. [S.l.]: Laxmi Publications, 2012. 28-68 p. Citado na página 23.
- MAHMOOD, A.; JAVAID, N.; RAZZAQ, S. A review of wireless communications for smart grid. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 41, p. 248–260, 2015. Citado na página 26.

- MAJOR, L.; KYRIACOU, T.; BRERETON, O. P. Systematic literature review: teaching novices programming using robots. *IET software*, IET, v. 6, n. 6, p. 502–513, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 27.
- MAZIDI, M. A.; NAIMI, S.; NAIMI, S. *The AVR Microcontroller and Embedded Systems*. [S.l.]: August, 2011. 39–51 p. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 24.
- MCROBERTS, M. *Beginning Arduino*. [S.l.]: Apress, 2013. 1–21 p. Citado na página 26.
- MENEGATTI, E.; MORO, M. Educational robotics from high-school to master of science. In: *Workshop Proceedings of Intl. Conf. on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN 2010)*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 639–648. Citado na página 27.
- MERDAN, M. et al. *Robotics in Education: Research and Practices for Robotics in STEM Education*. [S.l.]: Springer, 2016. v. 457. 105–111 p. Citado na página 15.
- MÖCKEL, R. et al. Yamor and bluemove—an autonomous modular robot with bluetooth interface for exploring adaptive locomotion. In: *Climbing and Walking Robots*. [S.l.]: Springer, 2006. p. 685–692. Citado na página 26.
- MOILANEN, J.; VADÉN, T. 3d printing community and emerging practices of peer production. *First Monday*, v. 18, n. 8, 2013. Citado na página 25.
- MONDADA, F. et al. The e-puck, a robot designed for education in engineering. In: IPCB: INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO. *Proceedings of the 9th conference on autonomous robot systems and competitions*. [S.l.], 2009. v. 1, n. LIS-CONF-2009-004, p. 59–65. Citado na página 35.
- MONDADA, F. et al. Bringing robotics to formal education: the thymio open-source hardware robot. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, IEEE, v. 24, n. 1, p. 77–85, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 27.
- MUBIN, O. et al. A review of the applicability of robots in education. *Journal of Technology in Education and Learning*, v. 1, n. 209-0015, p. 13, 2013. Citado na página 28.
- NIKU, S. *Introduction to robotics*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010. 114–147 p. Citado 3 vezes nas páginas 19, 21 e 22.
- NOORANI, R. *3D Printing: Technology, Applications, and Selection*. [S.l.]: CRC Press, 2017. 1–27 p. Citado na página 25.
- OLIVEIRA, D. A. L. d. *Análise da consonância dos programas nacionais de educação com os déficits de infraestrutura das escolas públicas do Brasil: possibilidades e desafios à descentralização*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 32.
- ONWUBOLU, G. *Mechatronics: principles and applications*. [S.l.]: Elsevier, 2005. 315–354 p. Citado na página 19.
- PIAGET, J. *To understand is to invent: The future of education*. [S.l.]: Penguin Books, 1973. 87–126 p. Citado na página 14.

- RUZZENENTE, M. et al. A review of robotics kits for tertiary education. In: CITESEER. *Proceedings of International Workshop Teaching Robotics Teaching with Robotics: Integrating Robotics in School Curriculum*. [S.l.], 2012. p. 153–162. Citado na página 15.
- SAHA, S. K. *Introduction to robotics*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 2014. 27–40 p. Citado na página 19.
- SALEIRO, M. et al. A low-cost classroom-oriented educational robotics system. In: SPRINGER. *International Conference on social robotics*. [S.l.], 2013. p. 74–83. Citado na página 34.
- SMITH, S. W. et al. *The scientist and engineer’s guide to digital signal processing*. California Technical Pub. San Diego, 1997. Citado na página 24.
- TANENBAUM, A. S. *Structured Computer Organization (5th Edition)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 2005. 29–37 p. ISBN 0131485210. Citado na página 23.
- VALDES-PEREZ, F. E.; PALLAS-ARENY, R. *Microcontrollers: fundamentals and applications with PIC*. [S.l.]: CRC press, 2009. 1–12 p. Citado na página 22.
- YAKMAN, G.; LEE, H. Exploring the exemplary steam education in the us as a practical educational framework for korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, The Korean Association for Research In Science Education, v. 32, n. 6, p. 1072–1086, 2012. Citado na página 14.