



*Federação das Indústrias do Estado da Bahia*

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Engenharia Mecânica

### Trabalho de Conclusão do Curso

## Learnbotics: Uma Nova Abordagem no Ensino da Robótica.

Apresentada por:

Bruno Rodrigues  
Bruno de Sousa  
Frederico Garcia de Oliveira  
Leandro S O Nozela  
Victor V. Rezende

Orientador:

Prof. Marco Reis, M.Eng.

Co-orientador:

João Lucas da Hora

Dezembro de 2019



Bruno Rodrigues  
Bruno de Sousa  
Frederico Garcia de Oliveira  
Leandro S O Nozela  
Victor V. Rezende

## **Learnbotics: Uma Nova Abordagem no Ensino da Robótica.**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentada ao , Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia**.

Área de conhecimento: Interdisciplinar  
Orientador: Prof. Marco Reis, M.Eng.

Salvador  
Centro Universitário SENAI CIMATEC  
2019

---

## Agradecimentos

---

"Quando seu coração está pleno de gratidão,  
qualquer porta aparentemente fechada,  
pode ser uma abertura para uma bênção maior."

(Osho)

Gostaríamos de agradecer primeiramente a nossas famílias, que sempre nos apoiaram em nossas decisões e nos guiaram até nos tornarmos as pessoas que somos hoje. Agradeço a Deus por nos mantermos fortes e sólidos numa jornada tortuosa.

Gostaríamos de agradecer a todos os profissionais do BIR que de certa forma nos ajudaram com ideias, feedbacks, discussões e até mesmo assuntos técnicos abordados. Agradecimentos especiais a Alano, Etevaldo, Gabriel Santos, Brailson Luis, Mateus Meñezes, Amã Fayer e os colegas do projeto JIRO, pelo apoio, ajuda e ideias nos momentos mais necessários. Agradacemos especialmente ao professor Oberdan e à Romulo Cerqueira pela compreensão e toda ajuda demonstrada com relação a nossa realização desta monografia.

Agradecemos ainda ao Centro Universitário SENAI-CIMATEC pelos anos de faculdade que passaram, por toda a infraestrutura disponibilizada, e acima de tudo aos nossos professores e educadores, sem os quais não seria possível estar aqui. Agradecimentos especiais ao professor Guilherme Souza, coordenador do curso de Engenharia Mecânica por todo o apoio e disponibilidade em momentos decisivos do nosso aprendizado.

Por fim, gostaríamos de agradecer ao nosso Orientador, o professor Marco Reis, por sempre ser uma figura que nos estimulou a dar o nosso melhor e por todo o reconhecimento de nossa capacidade. Agradecemos ainda a oportunidade que nos foi dada de abordar o tema proposto a seguir.

---

## Resumo

---

O assunto robótica sempre gerou muita polêmica e presença de tabus enormes sobre seus conceitos e possíveis usos. Esta monografia tratará da proposição de uma nova abordagem de ensino, voltada para a robótica, que irá aliar aprendizados prático e teórico ao mesmo tempo que aborda conceitos básicos da robótica aplicada. A abordagem apresentada será baseada em uma junção de metodologias de ensino focadas no aprendizado prático como exemplo o movimento maker, o PBL e o TBL, e a concepção de Vygotsky sobre o aprendizado. O conteúdo teórico foi escrito em linguagem acessível, e disposto em formato de tutoriais e apostilas disponíveis em domínio virtual. O kit físico será dividido em módulos complementares de montagem, tendo como principal diferencial a união da prática com a teoria de forma gradual. O kit de aprendizado promete ser um bom precursor de avanços no ensino da robótica.

**Palavras-chave:** Robótica; Ensino; Teoria; Prática.

---

## **Abstract**

---

Robotics as a matter of discussion, has always raised several debates around whether it is safe, or around its difficulty. This thesis aims to propose a new approach on teaching robotics, which combines theory and hands-on learning, as well as Vygotsky's view on learning, while addressing basic robotics concepts. This approach will be based on a junction of methodologies which focus on theoretical teaching in addition with methodologies which focus on practical learning. The theoretical content was written in a simplified language and was displayed in a tutorial format and made available in an online environment. The physical kit will be divided in complementary and gradual assembling steps that will result in a differential robot. This new approach focuses on simplifying specific robotics contents while combining theoretical and practical learning, which may serve as a reference for future enhancements into teaching robotics.

**Keywords:** Robotics; Teaching; Theory; Vygotsky.

---

# Sumário

---

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Organização do Trabalho de Conclusão do Curso . . . . .       | 4         |
| <b>2</b> | <b>Fundamentação Teórica</b>                                  | <b>5</b>  |
| 2.1      | Pedagogia . . . . .   | 5         |
| 2.1.1    | Pedagogia Tradicional . . . . .                               | 6         |
| 2.1.2    | Pedagogia Renovada . . . . .                                  | 7         |
| 2.1.3    | Pedagogia Tecnicista . . . . .                                | 7         |
| 2.1.4    | Pedagogia Crítica . . . . .                                   | 8         |
| 2.2      | Didática na Sociedade Contemporânea . . . . .                 | 9         |
| 2.2.1    | Ensino de Novas Tecnologias . . . . .                         | 10        |
| 2.2.2    | Movimento STEM . . . . .                                      | 10        |
| 2.3      | Robótica Educacional . . . . .                                | 11        |
| 2.3.1    | Project-based learning (PBL) . . . . .                        | 12        |
| 2.3.2    | Collaborative Learning ou team based learning (TBL) . . . . . | 13        |
| 2.3.3    | DIY - Do It Yourself . . . . .                                | 13        |
| 2.3.4    | Movimento Maker . . . . .                                     | 13        |
| 2.4      | Robótica . . . . .  | 14        |
| 2.4.1    | O que é um Robô . . . . .                                     | 14        |
| 2.4.2    | Percepção . . . . .   | 16        |
| 2.4.3    | Controle . . . . .  | 18        |
| 2.4.4    | Marcos Fiduciais . . . . .                                    | 19        |
| 2.4.5    | ROS . . . . .   | 19        |
| <b>3</b> | <b>Metodologia</b>  | <b>21</b> |
| 3.1      | Etapa Conceitual . . . . .                                    | 21        |
| 3.2      | Projeto Detalhado . . . . .                                   | 22        |
| 3.3      | Etapa de Confecção . . . . .                                  | 22        |
| <b>4</b> | <b>Desenvolvimento</b>  | <b>23</b> |
| 4.1      | Etapa Conceitual . . . . .                                    | 23        |
| 4.1.1    | Levantamento de Requisitos . . . . .                          | 23        |
| 4.1.2    | Estudo do Estado da Arte . . . . .                            | 24        |
| 4.1.3    | Estudo das Metodologias de Ensino . . . . .                   | 24        |
| 4.2      | Projeto Detalhado . . . . .                                   | 24        |
| 4.2.1    | Definição . . . . .   | 24        |
| 4.2.1.1  | Metodologia de ensino . . . . .                               | 25        |
| 4.2.2    | Planejamento . . . . .  | 28        |
| 4.3      | Confecção . . . . .   | 28        |
| 4.3.1    | Protótipo Físico . . . . .                                    | 28        |
| 4.3.2    | Raspberry e o SO . . . . .                                    | 34        |
| 4.3.2.1  | ROS para Raspberry . . . . .                                  | 36        |
| 4.3.2.2  | Instalação do ROS na Raspberry . . . . .                      | 36        |
| 4.3.2.3  | Instalação do OPENCV na Raspberry . . . . .                   | 37        |
| 4.3.2.4  | Hardware . . . . .  | 38        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.3.2.5  | Calibração dos conversores . . . . .         | 42        |
| 4.3.2.6  | Testes dos Dynamixels na Raspberry . . . . . | 45        |
| 4.3.3    | Material Escrito . . . . .                   | 47        |
| 4.3.4    | Desafios . . . . .                           | 52        |
| <b>5</b> | <b>Conclusão</b>                             | <b>55</b> |
|          | <b>Referências</b>                           | <b>57</b> |

---

## **Lista de Tabelas**

---

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.1 | Componentes constituintes do kit físico. | 24 |
| 4.2 | Componentes constituintes do kit físico. | 26 |

---

## Lista de Figuras

---

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Estimativa anual de produção global de robôs até o ano de 2021 . . . . .          | 2  |
| 1.2  | Demanda global de robôs em cada setor da indústria no período 2015-2017 . . . . . | 2  |
| 2.1  | ASIMO . . . . .   | 15 |
| 2.2  | Componentes e controle de robôs . . . . .   | 16 |
| 2.3  | Visão da câmera - Piloto automático . . . . .                                     | 18 |
| 2.4  | Mapa topológico de um layout de escritório . . . . .                              | 19 |
| 2.5  | Grade regular . . . . .   | 20 |
| 2.6  | Robô com rodas diferenciais . . . . .   | 20 |
| 3.1  | Representação do Fluxo Metodológico . . . . .                                     | 21 |
| 4.1  | Representação Gráfica da Metodologia . . . . .                                    | 25 |
| 4.2  | Fluxograma da Metodologia . . . . .   | 28 |
| 4.3  | Peça Chassi 1 Fonte: Autores, 2019 . . . . .                                      | 29 |
| 4.4  | Peça Suporte Dynamixel Fonte: Autores, 2019 . . . . .                             | 30 |
| 4.5  | Peça Roda Traseira Fonte: Autores, 2019 . . . . .                                 | 30 |
| 4.6  | Peças da Roda Boba Fonte: Autores, 2019 . . . . .                                 | 31 |
| 4.7  | Montagem da Roda Boba Fonte: Autores, 2019 . . . . .                              | 31 |
| 4.8  | Peça Chassi 2 Fonte: Autores, 2019 . . . . .                                      | 32 |
| 4.9  | Peça Capa Superior Fonte: Autores, 2019 . . . . .                                 | 32 |
| 4.10 | Robô Completo Fonte: Autores, 2019 . . . . .                                      | 34 |
| 4.11 | Componentes necessários para instalar o SO . . . . .                              | 35 |
| 4.12 | Componentes necessários para instalar o ROS . . . . .                             | 37 |
| 4.13 | Aruco de teste . . . . .  | 38 |
| 4.14 | Esquema elétrico . . . . .  | 39 |
| 4.15 | Esquema elétrico . . . . .  | 40 |
| 4.16 | Informações sobre o conversor NH2054 . . . . .                                    | 41 |
| 4.17 | Informações sobre o conversor NH2054 . . . . .                                    | 41 |
| 4.18 | Calibração do conversor XL6019 . . . . .  | 43 |
| 4.19 | Calibração do conversor LM2596 . . . . .  | 44 |
| 4.20 | Conexão para os dynamixels . . . . .  | 46 |
| 4.21 | Conexão para os dynamixels . . . . .  | 47 |
| 4.22 | Exemplo de segmentação de cores . . . . .   | 51 |
| 4.23 | Mockup de integração . . . . .  | 53 |
| 4.24 | Diagrama do desafio final . . . . .   | 54 |

---

## **Lista de Siglas**

---

|            |   |
|------------|---|
| ROS .....  | <i>Robotic Operation System</i>                       |
| USB .....  | <i>Universal Serial Bus</i>                           |
| PBL .....  | <i>Project Based Learning</i>                         |
| TBL .....  | <i>Team Based Learning</i>                            |
| STEM ..... | <i>Science Technology Engineering and Mathematics</i> |

## Introdução

”O saber que não vem da experiência, não é realmente saber.”

(Lev Vygotsky)

Quando se ouve falar em robôs, logo associa-se a algo de extrema complexidade. Isso ocorre, sumariamente, devido à falta de informações simplificadas sobre o tema, ou devido a dificuldade de acesso a tais conteúdos. A palavra robótica é derivada da palavra robô, que, segundo (??), é um dispositivo eletromecânico capaz de realizar tarefas de maneira autônoma ou pré-programada, e faz menção a ciência que estuda, cria e aplica robôs. No meio educacional, a palavra didática está presente de forma quase que impreterável, afinal, materiais didáticos, livros, projetos e a própria didática como um instrumento qualificador do professor, são componentes fundamentais do cotidiano educacional.

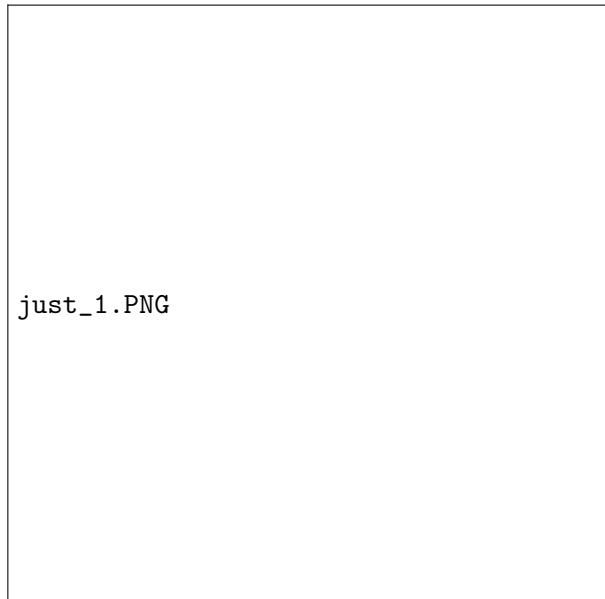
Porém, é notório que barreiras na educação da atualidade estão sendo quebradas. Já se vê espaços de ensino, como por exemplo o citado por (??), onde o estudante passa a frequentar menos as salas de aula e se engaja mais em projetos, tornando assim o professor apenas um facilitador do aprendizado do aluno, um tutor. A tutoria é um método muito utilizado para efetivar uma interação pedagógica. Um exemplo disso, é que segundo (??), na educação à distância, o tutor recebe o significado de ”orientador de aprendizagem do aluno solitário e isolado”.

O sistema de tutoria torna mais fácil o acesso do aluno ao conhecimento, pois o professor passa a ser apenas um orientador, desta maneira o aluno tende a tornar-se independente na busca das informações. Percebendo essa nova dinâmica da educação, e a falta de informações simplificadas sobre robótica, notou-se a possibilidade de criar um kit didático, para incentivar as pessoas através de desafios e simplificar as informações em torno da robótica.

Ultimamente, segundo o resumo executivo World Robotics 2018 Robôs Industriais da International Federation of Robotics (??), houve uma crescente utilização de sistemas robóticos e autônomos na nossa sociedade. A demanda global de robôs tem crescido severamente, com estimativa de acréscimo de 14% ao ano até 2021, como visto na figura 1.1.

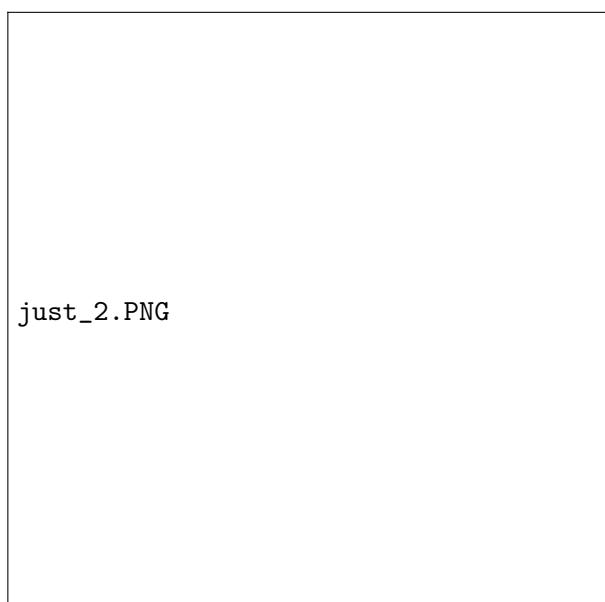
Esse aumento na demanda está presente em todas as áreas da indústria, como mostrado na figura 1.2, com maior relevâncias nos setores eletroeletrônico e automotivo, de

Figura 1.1: Estimativa anual de produção global de robôs até o ano de 2021



Fonte: (??)

Figura 1.2: Demanda global de robôs em cada setor da indústria no período 2015-2017



Fonte: (??)

onde vêm as maiores expectativas de inovação por parte da população.

Um exemplo de tecnologia que está sendo desenvolvida nessa área, e que é uma das mais esperadas pelo público, são os carros autônomos, que prometem, além da condução independente, maior segurança para os passageiros e tomadas de decisões importantes como a escolha de rotas e ações para evitar acidentes.

Aliado a isso, existe um aumento na demanda por profissionais qualificados cada vez maior nesse setor. Em adição, há ainda uma notória dificuldade em capacitar trabalhadores para lidar com tecnologias as quais eles não tiveram contato durante o ensino médio e fundamental. Alguns conceitos, que não são novos, como sistemas autônomos, *Machine Learning*, *big data*, tem despertado a curiosidade e estimulando a imaginação da sociedade. Porém, isso vem trazendo alguns equívocos.

Um dos problemas encontrados na formação de profissionais para atuar na área da robótica, é que, diante destes “novos” conceitos as pessoas tendem a se retrair e ter uma noção equivocada, pensando que estes conceitos, que são primordiais para robótica, são extremamente difíceis e complexos, quando na verdade a abordagem de ensino não se preocupa com a desmistificação destes conceitos. É comum ouvir que a automação irá estabelecer novas relações trabalhistas, que irá extinguir alguns empregos e irá criar outros, porém, será que a nossa sociedade está preparada para estes novos empregos?

Voltando ao campo da pedagogia, foi através de cenários semelhantes à este, que nasceram os movimentos Maker e STEM, oriundos da metodologia Do It Yourself (em português: faça você mesmo). Segundo (??) ambos valorizam a possibilidade de utilizar das informações obtidas por pesquisa e conteúdo online de fácil acesso para fazer projetos com as próprias mãos. Esses projetos devem fomentar a utilização de equipamentos relacionados à áreas da ciência e da engenharia, seja com ajuda de um computador, impressora 3D ou ferramentas. Essa abordagem visa aumentar a atratividade para as áreas da ciência e desmistificar tabus relacionados à dificuldade de se aprender novas tecnologias.

Como resultado, mais jovens e adultos interessam-se por tecnologia, seguem carreiras na área e aumentam o número de profissionais qualificados no mercado. Ainda no campo da pedagogia, segundo (??) o ensino da robótica é interdependente de aulas no formato da pedagogia clássica, porém melhor aproveitado quando associado a atividades práticas em grupo. Por este motivo considera-se que o movimento Maker e algumas metodologias de ensino de robótica são baseadas na concepção de Lev Vygotsky, onde o sujeito é considerado um ser não só ativo como também interativo, porque adquire conhecimentos a partir de relações intra e interpessoais, exercitando o que o homem tem de melhor: a criatividade.

Palangana, (??), diz que segundo a concepção de Vygotsky, a aquisição de conhecimentos se dá pela interação do sujeito com o meio. Essa associação visa apresentar de forma menos abstrata conceitos abordados nas aulas teóricas e propor compartilhamento de aprendizagem e fomentar o trabalho em grupo entre os alunos dos níveis Fundamental II e Médio.

Analizando a conjuntura atual, uma nova abordagem ao ensino de conceitos básicos de robótica foi idealizada, sendo apresentada como um kit didático de robótica básica aplicada. Este kit terá como principal objetivo o ensino teórico e prático, de conceitos e ferramentas básicas utilizadas no mundo da robótica, em aplicações nos mais diversos setores da sociedade.

Tendo em vista o abordado acima, esta monografia tem como objetivo apresentar o projeto de um kit didático de aprendizagem de conceitos básicos em robótica aplicada, utilizando o framework ROS e aplicando conceitos básicos de cinemática e visão computacional.

## ***1.1 Organização do Trabalho de Conclusão do Curso***

O documento está organizado em cinco capítulos, seguindo a seguinte estrutura:

**Capítulo 1 - Introdução:** Faz a contextualização do âmbito no qual a pesquisa proposta está inserida. Propõe justificar a problemática abordada, e porque a mesma é passível de uma solução. Apresenta, portanto, a problemática, as justificativas e os objetivos deste trabalho.

**Capítulo 2 - Referencial Teórico:** Apresenta o embasamento teórico que foi utilizado para melhor compor o desenvolvimento do projeto.

**Capítulo 3 - Metodologia:** Define as etapas de elaboração do trabalho, tal como as metodologias específicas utilizadas em cada etapa do desenvolvimento e suas justificativas.

**Capítulo 4 - Desenvolvimento:** Apresenta o que foi produzido neste trabalho do ponto de vista de todas as frentes abordadas, partindo das conclusões tiradas para iniciar as confecções dos tutoriais e do kit físico, até o resultado final das mesmas.

**Capítulo 5 - Conclusão:** Apresenta as conclusões tiradas acerca do que foi desenvolvido e das influências das metodologias utilizadas, tal como possíveis melhorias e expansões futuras.

## Fundamentação Teórica

”O orgulho é a fonte de todas as fraquezas,  
por que é a fonte de todos os vícios.”

(Santo Agostinho)

### 2.1 *Pedagogia*

Por muito tempo, segundo (??), nas sociedades antigas e medievais, a educação era obtida pela maioria das pessoas através do trabalho, sendo a escola apenas um complemento secundário disponível a grupos seletos da elite. A partir do surgimento da sociedade capitalista e seus processos mercantis que os trabalhadores passaram a precisar de conhecimentos que não se voltavam apenas a técnicas de trabalho manual como cultivo da terra, mas também a relações mercantis e acumulação de capital, ao qual inclui instrumentos de trabalho e, posteriormente, moeda, marcando o início da idade moderna e avanço da ciência.

De acordo com (??), o estudo da didática suma nasceu somente em meados do século XVII, a partir dos estudos pioneiros realizados por Jan Amos Komenský (em latim: Comenius; em português: Comênio), que é considerado pai da didática moderna. Em sua principal obra: *Didática Magna*, Comenius reuniu os conhecimentos sobre o tema e propôs pela primeira vez um modelo revolucionário de ensino em que os conhecimentos científicos são passados não pela imposição característica da época, mas sim pela satisfação e alegria de ensinar e aprender, segundo (??). A partir de então, a didática, pedagogia e os modelos de escola passaram a ser ponto de estudo enfatizando a maneira de organizar o ensino e moldada de acordo com as necessidades, exigências e transformações da sociedade ao longo dos anos.

A pedagogia pode ser classificada em quatro diferentes escolas: Tradicional, Renovada, Tecnicista e Crítica. (??) justifica essa classificação de acordo com as características de cada elemento na estrutura didática utilizada, como exposto a seguir.

### 2.1.1 *Pedagogia Tradicional*

Do século XVII ao século XIX a didática ficou conhecida como didática tradicional, que se caracteriza por acentuar o ensino humanístico, onde os conteúdos, os procedimentos didáticos e a relação professor-aluno não têm nenhuma relação com o cotidiano do aluno e muito menos com as realidades sociais. Há a predominância da palavra do professor, das regras impostas e do cultivo exclusivamente intelectual (??). Segundo (??), sua estrutura organizacional é baseada da seguinte forma:

- ”Homem: compreendido a partir dos ideais de igualdade e liberdade pautados na política liberal.
- Conhecimento: a ciência é a única fonte de conhecimento verdadeiro. O conhecimento enciclopédico é transmitido de uma geração para outra;
- Escola: a instituição responsável em preparar os indivíduos para o desempenho dos papéis sociais. Deverá educar para as normas vigentes da sociedade através do desenvolvimento das aptidões individuais, garantindo o preparo intelectual e moral dos alunos;
- Método de ensino: instrução organizada na exposição verbal do professor, provocando o acúmulo de conteúdos:
  - 1º) apresentação da matéria nova de forma clara e completa; 2º) associação entre os conteúdos antigos e os novos; 3º) sistematização e generalização dos conteúdos; 4º) aplicação de exercícios e testes;
- Professor: é o arquiteto da mente, o dono do saber, a autoridade maior responsável pelo ensino, centro do processo educativo;
- Aluno: receptor dos conteúdos transmitidos e do método aplicado;
- Ensino: propedêutico, sustentado nas cátedras, organizado basicamente pela oratória do professor e pela aula expositiva, entendido como a “arte de ensinar” e toda ênfase está na teoria;
- Aprendizagem: memorização de conteúdos, acúmulo de saberes transmitidos pelo professor e repetidos nos livros;
- Avaliação da aprendizagem: individual, oral ou escrita”.

Essa pedagogia dominou o Brasil até a década de 1930, mas ainda pode ser visto no cenário atual.

### 2.1.2 *Pedagogia Renovada*

A partir da segunda metade do século XX, estudiosos desenvolveram a ideia de que a aprendizagem verdadeira é aquela que nasce dos aspectos sociais, emocionais e cognitivos do aluno, não considerando o ensino como um processo de transmissão, pelo professor aos alunos, de conteúdos prontos, mas uma facilitação da aprendizagem, com o professor na função de estimular o aprendiz a aprender (??). Ela acentua, igualmente, o sentido da cultura como desenvolvimento das aptidões individuais, mas a educação é um processo interno, não externo; ela parte das necessidades e interesses individuais necessários para a adaptação ao meio (??).

Sua estrutura organizacional é baseada da seguinte forma, segundo (??):

- ”Homem: compreendido a partir da sua existência, indivíduo único no mundo, vive e interage em um mundo dinâmico;
- Conhecimento: produto da existência e da experiência que deverá ser compreendido e socializado;
- Escola: instituição organizadora e articuladora entre as estruturas cognitivas do indivíduo e as estruturas do meio ambiente;
- Método de ensino: aprender experimentando, aprender a aprender;
- Professor: facilitador da aprendizagem e do desenvolvimento humano;
- Aluno: o aprendiz é o centro do processo educativo;
- Ensino: orientação individual para o aprender fazendo, através de experimentação, pesquisas, dinâmicas de grupo e oficinas;
- Aprendizagem: atividade de descoberta, autoaprendizagem;
- Avaliação da aprendizagem: autoavaliação”.

### 2.1.3 *Pedagogia Tecnicista*

No Brasil, entre 1950 e 1970, ocorre o desenvolvimento industrial e tecnológico, cenário propício para o desenvolvimento do tecnicismo educacional, inspirado nas teorias behavioristas, cujas unidades de análises são respostas e estímulos. O indivíduo, motivado por estímulos planejados com rigor, responderá satisfatoriamente aos comandos propostos. Esta abordagem atende às exigências da sociedade capitalista, industrial e tecnológica, pois, para a sua sobrevivência, a massa de trabalhadores precisa de objetivos rigorosamente planejados, executados e controlados (??). O autor baseia a estrutura organizacional da seguinte forma:

- ”Homem: produto do meio social;
- Conhecimento: resultado da experiência planejada, baseada nos princípios científicos;
- Escola: responsável por qualificar mão de obra para o mercado de trabalho;
- Método de ensino: processo de condicionamento através do estímulo – resposta;
- Professor: especialista de uma determinada área é um técnico capacitado para reproduzir com os alunos as dinâmicas aprendidas;
- Aluno: tem o papel de receber, fixar e repetir as técnicas e seus conteúdos;
- Ensino: diretivo e instrução programada;
- Aprendizagem: fixação do programa aplicado, dos conteúdos decorados e da repetição da técnica;
- Avaliação da aprendizagem: verificação dos resultados dos objetivos propostos”.

#### 2.1.4 Pedagogia Crítica

A partir de meados da década de 70, a sociedade brasileira passou a ter uma visão crítica acentuada quanto ao cenário político autoritário, levando esse pensamento crítico a contestar diversas áreas, incluindo o modelo didático utilizado. De acordo com (??), essas discussões deram origem a uma didática que traz como princípio norteador a abordagem crítica da educação, influenciando o potencial social dos alunos e professores através de debates, diálogos críticos e considera o ensino nas suas múltiplas dimensões: social, afetivo, cognitivo, motor e político. Estudiosos como Paulo Freire ganharam espaço com proposições de um ensino mais dinâmico e menos alienado, voltado para a libertação do homem. Para (??), o diálogo aberto, igualitário e ativo em todos os interlocutores é o principal caminho para a real comunicação, sendo o único capaz de dissipar e gerar conhecimento com eficácia.

De acordo com (??), sua estrutura organizacional é baseada da seguinte forma:

- ”Homem: cidadão e agente de transformação social;
- Conhecimento: socialmente referenciado, reflexivo e crítico;
- Escola: construtora de conhecimento crítico que busca a transformação social;
- Método de ensino: dialético, parte da experiência do aluno e do professor, confrontando-a com o saber sistematizado, pautado na dialogicidade, o diálogo como produtor de conhecimento e de emancipação do cidadão;

- Professor: mediador, orientador e agente de mudança social;
- Aluno: aprendiz participativo e crítico;
- Ensino: organização de experiências destacando os conhecimentos da ciência para explicá-las criticamente;
- Aprendizagem: desenvolvimento de estruturas cognitivas e sociais para a emancipação do aluno e do professor;
- Avaliação da aprendizagem: avaliar para mudar; autoavaliação”.

## **2.2 *Didática na Sociedade Contemporânea***

A Didática, de acordo com as definições de (??), é uma das disciplinas da pedagogia, sendo responsável por estudar e investigar, teórica e praticamente, os objetivos, conteúdos, meios e as condições do processo de ensino, a fim de educar o indivíduo no âmbito social. Por ser dependente da sociedade ao qual o indivíduo está inserido, os modelos didáticos estão em constante transformação para adequar a educação ao modelo social vigente em cada época. No entanto, segundo (??), os modelos atuais de educação não estão atendendo ao rápido crescimento demográfico e tecnológico do século XXI, sendo necessário uma adequação mundial a uma sociedade globalizada, tecnológica e superpovoada.

O perfil de aluno contemporâneo é de um indivíduo que cresce em um ambiente sem fronteiras onde parece não haver limites para a velocidade na troca de informações, que ocorre em tempo real, e onde a internet permite obter qualquer tipo de informação na palma das mãos e de onde estiver. Qualquer questão pode ser respondida com uma simples pergunta no Google, transferindo a fonte de aprendizado e modificando o papel da escola.

Para atender ao perfil deste aluno é preciso ensiná-lo a buscar o próprio conhecimento através de informações corretas, guiá-lo em meio a infinidade de informação equivocada que ele pode encontrar na web. Parte dessa adequação se passa por abdicar dos modelos didáticos defasados que ainda persistem em dominar as escolas ao longo do globo, incluindo o Brasil, onde existem vestígios do sistema tradicional; e preparar o aluno para se adequar às transformações cada vez mais frequentes do século XXI. Por isso é cada vez mais coerente pensamentos como o de (??), no qual diz que estamos numa sociedade em transição precisando romper com o mal da alienação e investir numa educação crítica que adapta e integra o homem ao mundo invés de acomodá-lo e transformá-lo.

### 2.2.1 Ensino de Novas Tecnologias

Na sociedade do século XXI, de acordo com (??), as pessoas estão imersas desde a infância em ambientes com infinidade de informações, de tecnologia avançada e dinâmica que ultrapassam os limites dos laboratórios e englobam as casas, carros, celulares, computadores e todo o entorno, sendo muito utilizada, mas pouco conhecida pela maioria da população. Este cenário tem expectativa de severidade maior com o desenvolvimento da tecnologia, a chegada da indústria 4.0 e internet das coisas, sendo necessário uma revolução no sistema de ensino para adequar o homem às atividades e profissões do futuro.

Uma forma de viabilizar isso é através da robótica educativa, na qual o aluno é estimulado a desenvolver a sua criatividade, senso crítico, capacidade de elaborar hipóteses, investigar soluções, tirar conclusões e resolver problemas enquanto cria afinidade com conceitos que estão inseridos no seu cotidiano, mas passam despercebidos por boa parte das pessoas. Para tal utiliza-se de softwares didáticos, kits intuitivos e metodologias de ensino baseadas na pedagogia-crítica, onde o aluno é participativo e livre, enquanto o professor é um mediador do conhecimento. Essas metodologias valorizam o trabalho em equipe e desenvolvem a busca própria de aprendizado por mera curiosidade e prazer através de desafios e metodologias DIY (do inglês: Do It Yourself; em português: faça você mesmo) e STEAM (do inglês: science, technology, engineering and Mathematics; em português: ciência, tecnologia, engenharia e matemática), como pode ser visto nos principais kits de ensino de robótica do mercado, por exemplo: Modelix Robotics, Robomind, Mini Maker, Mini Bots e Lego.

### 2.2.2 Movimento STEM

De acordo com (??), STEM education (ou educação STEM, em português) não é exatamente uma metodologia de ensino, mas sim um movimento, resultado de uma transformação maior que muitos sistemas educacionais vêm passando globalmente, decorrente da revolução tecnológica e consequente necessidade de inovação nos modelos de ensino. Este movimento nasceu na década de 1990, quando estudos indicavam que os estados unidos estavam caminhando para um colapso empregatício e econômico somados à escassez de profissionais qualificados nas áreas STEM e um alto nível de desinteresse de jovens alunos nessas áreas.

Com base nisso, o movimento propõe a reformulação dos métodos de ensino para se adequar à realidade dos alunos, trazendo maior atratividade e incentivando o desenvolvimento de carreiras STEM. Em termos de metodologia, o movimento preza pela aprendizagem baseada em projetos e desafios, estimulando a curiosidade e participação dos alunos.

Apesar de ter se difundido com sucesso pelos Estados Unidos e outros países líderes em educação e tecnologia ao redor do globo, o movimento STEM ainda é tímido no Brasil, caminhando a passos curtos com pouco empenho por parte do sistema básico de educação.

### **2.3 Robótica Educacional**

De acordo com (??), a Robótica Educacional, também conhecida como Robótica Pedagógica, é aplicada em ambientes educacionais onde o aluno pode montar e desmontar um robô ou sistema robotizado, proporcionando aos educandos momentos não só de aprendizado, mas de lazer e entretenimento. Esse termo nasceu por volta da década de 1960, através dos estudos de Seymour Papert e sua teoria que defende o uso do computador nas escolas como um recurso atrativo para crianças, e se popularizou entre os jovens a partir da década de 1990 através do movimento STEAM, mas ainda não está bem integrada como uma ferramenta universal de aprendizagem tecnológica em ambientes escolares regulares.

Segundo (??), a robótica educacional é uma ferramenta interdisciplinar de extremo potencial, que extrapola os limites da sala de aula e instiga o aluno a consultar conteúdo e professores de variadas áreas na busca por uma solução para o seu problema; e é através dessa ferramenta que o aluno constrói o conhecimento através das próprias observações e do próprio esforço, adquirindo uma aprendizagem mais efetiva que se adapta a suas estruturas mentais por ser palpável. Parte dessa otimização na maneira de se aprender está no papel do professor, que deve assumir, segundo (??), o papel de “problematizador” que ajuda o aluno a buscar de maneira autônoma a solução, bem como estreitar o caminho entre o conhecimento empírico e o conhecimento científico. O mesmo autor diz que, para desenvolver o uso da robótica pedagógica, o aluno deverá identificar um problema e entender como solucionar de maneira ordenada utilizando um robô; em seguida, ele desenvolve a programação e testa; ao fim, o aluno pode observar seus resultados e obter a chance de corrigir seus erros caso não atinja os resultados esperados.

Aadir ao movimento STEM é o primeiro passo para aplicar a robótica educacional nas escolas, no entanto, existe muito conservadorismo e dúvidas quanto a como aplicar uma metodologia efetiva, levando muitos autores a realizarem estudos na área para comprovar a eficiência de determinados métodos. Analisando alguns desses estudos, foi possível verificar um padrão de boas práticas e uma tendência a escolher determinadas metodologias para ensinar robótica.

### 2.3.1 Project-based learning (PBL)

De acordo com (??), a PBL (em português: aprendizagem baseada em projetos) é uma metodologia de ensino que aumenta a motivação e promove a auto-orientação enquanto o aluno desenvolve e aplica princípios de pensamento crítico, coleta e analisa dados, investiga e aprimora questões, debate ideias, faz previsões e compartilha suas conclusões e descobertas com os demais; podendo ser construída em oito estágios:

- 1) Envolver os alunos em problemas do mundo real; se possível, os alunos selecionam e definem os problemas. O desenvolvimento de robô seguidor de linha é um dos principais desafios.
- 2) Requerer que os alunos pesquisem, investiguem, usem habilidades de planejamento, pensamento crítico e resolução de problemas enquanto executam tarefas como: colocar materiais no lugar certo, estabelecer posições de momento e equilíbrio, selecionar materiais elétricos, etc.
- 3) Requerer que os alunos aprendam e apliquem conhecimentos e habilidades de conteúdos específicos em uma variedade de contextos, enquanto trabalham no projeto aprendendo elementos de circuito, soldando, operando com silício de calor, descascando cabos, etc.
- 4) Oferecer oportunidades para os alunos aprenderem e praticarem habilidades interpessoais enquanto trabalham em equipes, com adultos em locais de trabalho sempre que possível, havendo seleção de liderança, comunicação e distribuição de tarefas.
- 5) Dar aos alunos a prática de usar o conjunto de habilidades necessárias para suas vidas e carreiras adultas (como alocar tempo / recursos; responsabilidade individual, habilidades interpessoais, aprendizagem através da experiência, etc.). Propõe-se colocar os alunos sob pressão de tempo e materiais limitados, situação essa que é comum na vida profissional.
- 6) Incluir desde o início do projeto expectativas em relação a realizações/resultados de aprendizagem por parte dos alunos e padrões e resultados por parte da escola/estado.
- 7) Incorporar atividades de reflexão que levam os alunos a pensar criticamente sobre suas experiências e vincular essas experiências a padrões específicos de aprendizagem.
- 8) Terminar com uma apresentação ou produto que demonstre aprendizado e seja avaliado; os critérios podem ser decididos pelos alunos, por exemplo, corrida de seguidores de linha.

Estas etapas estimulam a criatividade, buscas por conhecimento e aprendizagem

---

através de prazer e satisfação enquanto se diverte buscando resultados.

### 2.3.2 *Collaborative Learning ou team based learning (TBL)*

A aprendizagem colaborativa ou aprendizagem baseada em times é uma situação em que duas ou mais pessoas aprendem ou tentam aprender algo juntos (??). Através dela os alunos aprendem virtudes de colaboração e união, enquanto compartilham e agregam conhecimentos e trabalham juntos na resolução de problemas em equipe, buscando evolução e resultados coletivos e individuais através de liderança, comunicação, cordialidade e distribuição de tarefas. Observa-se com as conclusões do experimento de (??), que a aprendizagem colaborativa é importante na robótica educacional, pois equipes que exercem atividades com contribuição coletiva se sobressaem a grupos individualistas nos aspectos de desempenho e aprendizagem individual e coletiva.

### 2.3.3 *DIY - Do It Yourself*

O conceito de DIY (Do-It-Yourself), em português: Faça-você-mesmo, é bem comum na atualidade e se popularizou a partir do início do sec. XXI, através das redes sociais, com o intuito de permitir que qualquer pessoa aprenda a construir, consertar, modificar, fabricar e desenvolver os mais diversos tipos de objetos e projetos de maneira objetiva e sem a necessidade de comprar algo pronto ou de contratar um profissional. Este conceito é muito importante de ser aplicado no ensino de robótica porque permite que qualquer pessoa aprenda a desenvolver um robô sem a necessidade de um ambiente escolar, de um professor ou de conhecimentos avançados na área, podendo aprender na própria casa.

### 2.3.4 *Movimento Maker*

O movimento maker é uma extensão da cultura DIY, sendo originado quando a revista Make Magazine, criada nos Estados Unidos, promoveu a Maker Faire (feira de fazedores). Após o sucesso e repercussão do evento, grandes empresas de tecnologia como Samsung, Intel, Microsoft, Raspberry, Arduino e Microchip começaram a desenvolver tecnologias exclusivamente para atender esse público. Na robótica educacional, o Movimento Maker caminha lado a lado com STEM, pois em ambos, a ideia é inovar, empreender e evoluir.

De maneira resumida, o movimento Maker valoriza a possibilidade de utilizar das informações obtidas por pesquisa e conteúdos online de fácil acesso para fazer projetos

com as próprias mãos, seja com ajuda de um computador, impressora 3D ou ferramentas, visando aumentar a atratividade para as áreas da ciência e desmistificar tabus relacionados à dificuldade de se aprender novas tecnologias. Como resultado, mais jovens e adultos interessam-se por tecnologia, seguem carreiras na área e aumentam o número de profissionais qualificados no mercado.

Ainda no campo da pedagogia, o ensino da robótica é interdependente de aulas no formato da pedagogia clássica, porém melhor aproveitado quando associado a atividades práticas em grupo. Por este motivo considera-se que o movimento Maker e algumas metodologias de ensino de robótica são baseadas na concepção de Lev Vygotsky, a qual diz que o sujeito é considerado um ser não só ativo como também interativo, porque adquire conhecimentos a partir de relações intra e interpessoais, exercitando aquilo que o homem tem de melhor: a criatividade (??) e (??).

Segundo a concepção de Vygotsky, a aquisição de conhecimentos se dá pela interação do sujeito com o meio. Em todos os experimentos, instituições de ensino e produtos voltados a robótica educacional analisados neste trabalho, dois ou mais dos conceitos acima descritos foram aplicados, demonstrando um padrão de métodos efetivos para ensino de robótica.

## 2.4 Robótica

### 2.4.1 O que é um Robô

A partir da primeira Revolução Industrial, houve o advento do uso de máquinas para substituir a mão de obra humana. A busca de cada vez mais automatizar o processo produtivo foi estimulada por diversos princípios, desde os filosóficos, sociais, científicos e econômicos. Karel Čapek, em 1921, criou a palavra robot a partir da peça RUR (Rossum's Universal Robots), apresentando uma fábrica que criava humanóides (robôs) com o intuito de que sejam obedientes e realizem todo o trabalho físico (??). Na década de 1940, o escritor Isaac Asimov representou o robô com uma imagem um pouco diferente: este foi reapresentado como um dispositivo mecânico com um cérebro programável por humanos, que seguia algumas regras (??). Estas regras são as três fundamentais leis da robótica:

- 1) Um robô não pode fazer mal a um ser humano e nem consentir, permanecendo inoperante, que um ser humano se exponha a situação de perigo;
- 2) Um robô deve obedecer sempre às ordens de seres humanos, exceto em circunstâncias nas quais estas ordens entrem em conflito com a 1a lei;

- 3) Um robô deve proteger a sua própria existência, exceto em circunstâncias que entrem em conflito com a 1a e 2a leis.

(??) conceitua que robôs são máquinas que podem substituir humanos em, desde tarefas de esforço físico a, até, tomada de decisões. Atualmente podem ser encontradas máquinas com inteligência artificial que se adequam e tomam decisões a partir de fatores externos, como o ASIMO (Advanced Step in Innovative Mobility) da Honda, que pode ser visto na Figura 01. O primeiro sistema robótico a existir foi o UNIMATE, da UNIMATION Inc.; quando foi instalado na fábrica da General Motors em Nova Jersey na década de 1950, o UNIMATE era utilizado para elevar peças de metais quentes.



Figura 2.1: ASIMO

Fonte: HONDA

O uso de robôs industriais como o UNIMATE tem como principal reflexo a automatização da produção, aumentando, portanto, a quantidade de produtos gerados em dado período de tempo. Outro fator que pode ser relacionado ao uso de robôs em linha de produção é a melhora nas condições de trabalho do ser humano, por meio da redução de atividades perigosas ou insalubres (??). O controle de sistemas robóticos, com o passar dos anos, vem se tornando mais complexo e especializado, porém pode ser simplificado para um controle de malha fechada, que pode ser visto na Figura 2.2.

Percebe-se, a partir da Figura 2.2 que, em sistemas robóticos, existem atuadores e sensores. Atuadores podem ser citados como sistemas que possuem a capacidade de exercer atuação mecânica para o robô, como o exemplo dos servo-motores. Sensores são

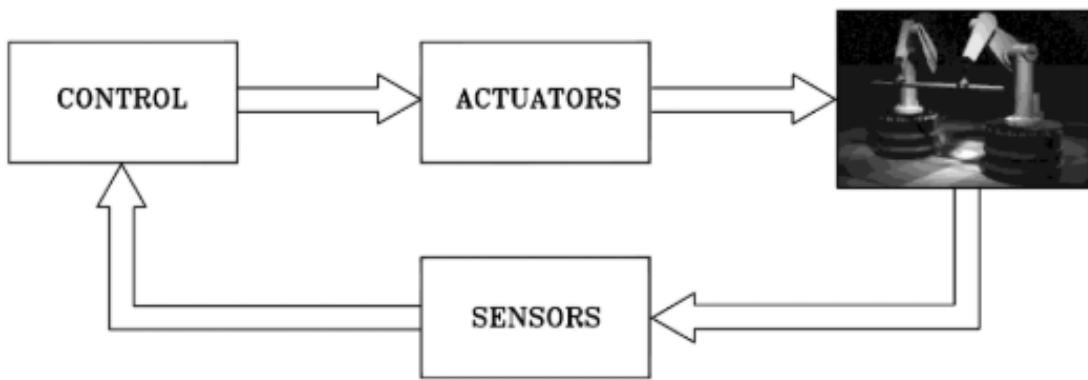


Figura 2.2: Componentes e controle de robôs

Fonte: (??)

transmissores que recebem determinado dado e emitem sinais analógicos ou digitais para o computador central, possibilitando o controle de um sistema robótico.

#### 2.4.2 Percepção

Segundo (??), para a neurociência, a percepção refere-se à capacidade de associar automaticamente as informações sensoriais à memória e à cognição de tal maneira a gerar conceitos sobre o mundo e orientar os comportamentos. Comparativamente, o robô associa os dados “sensoriais” obtidos através dos sensores aos controladores para que possam ser processados e interpretados, dando assim, a capacidade de percepção aos robôs.

Atualmente, existem diversos sensores que são utilizados, dentre eles: LIDAR, câmeras, IMU, sensores de temperatura, umidade etc. A capacidade de conectar uma ação a partir da percepção de mundo é tarefa do controle, o qual pode emitir comandos de execução para os atuadores a partir das leituras dos sensores. Um exemplo prático disso é o ser humano: quando uma pessoa bate o dedinho do pé, instantaneamente, as terminações nervosas (sensores) emitirão sinais ao cérebro (controle), que por sua vez, emitirá um sinal para os músculos (atuadores) se moverem a fim de interromper a sensação dolorosa.

A visão computacional é a tentativa de simular a visão biológica, o que se torna em um assunto extremamente complexo. (??) escreve que pode-se comparar as funcionalidades básicas dos dois tipos de visão, que são:

- Fonte de radiação: sem a emissão de radiação nada pode ser observado ou processado;

- Câmera: dispositivo que captura a radiação emitida;
- Sensor: dispositivo que converte a radiação capturada em sinal apropriado para o processamento;
- Unidade de processamento: dispositivo que processa os sinais convertidos extraíndo informações adequadas para a medição do objeto e categorizá-las em classes;
- Atuadores: utilização das informações processadas para realizar alguma ação.

Após esclarecidas as principais funções básicas da visão, também é necessário entender que a visão computacional não é somente o processamento de imagens. O processamento de imagens recebe uma imagem como entrada, e como saída tem-se um conjunto de valores numéricos que podem ou não formar outra imagem. Já a visão computacional é a busca de simular a visão humana, em que a entrada é uma imagem, e a saída é a interpretação dela.

(??) escrevem que não existe uma fronteira bem definida entre o processamento de imagens e a visão computacional. Porém é possível dividir o caminho entre o processamento de imagem e a visão computacional em três partes: nível baixo, nível médio e nível alto. O nível baixo é de processos primitivos, como pré-processamento de imagem para redução de ruídos, aprimoramento de contraste e nitidez da imagem. Já o nível médio é caracterizado por processos que têm como entrada imagens, mas a saída do processamento são atributos extraídos da imagem, como arestas, contornos e identificação de objetos. O nível alto trata-se dos processos que interpretam um conjunto de objetos reconhecidos na imagem, desta maneira, realizando funções cognitivas que geralmente são associadas à visão biológica.

As aplicações da visão computacional são bastante amplas, e pode ser usada desde para o aumento da produtividade de uma linha de produção através da rápida inspeção, até para que robôs possam compreender seus arredores. Um bom exemplo da utilização da visão computacional é nos veículos autônomos, em câmeras, como podem ser vistos na Figura 2.3, são utilizadas em conjunto com outros tipos de sensores para possibilitar que o automóvel utilize o piloto automático.

Para que um robô móvel seja autônomo, deve ser capaz de perceber o ambiente à sua volta para que assim possa decidir sobre qual a melhor ação a ser tomada e realizá-la com o menor erro possível. Desta maneira, um das funções fundamentais do robô a fim de alcançar seu objetivo, tanto em ambientes externos quanto em ambientes internos, é a aquisição de informações do ambiente em que está localizado através da construção de mapas do local. Segundo (??) os mapas utilizados para navegação dos robôs podem ser classificados, de acordo com sua estrutura, em dois tipos:



Figura 2.3: Visão da câmera - Piloto automático

Fonte: Tesla

- Topológicos: modelo que representa o ambiente por meio de conexão entre pontos de referência. A representação pode ser feita por meio de grafos onde os vértices representam os locais e as arestas representam o caminho entre os locais. Porém esse tipo de representação é pobre em detalhes do ambiente físico;
- Métricos: modelo que representa o ambiente físico em detalhes. A representação do ambiente é normalmente feita através de um plano dividido em células de tamanhos iguais, que também é chamada de grade. Desta maneira, cada célula representa uma parte do espaço físico.

#### 2.4.3 Controle

Após realizada a percepção do robô, deve-se criar uma estratégia para controlá-lo. Segundo (??) um robô com rodas diferenciais é um robô móvel cujo movimento é baseado em duas rodas motorizadas acionadas separadamente, com cada roda posicionada em ambos os lados do corpo do robô, assim como evidenciado na Figura 06. Esta configuração permite a movimentação em apenas algumas direções, obrigando o robô a fazer uma manobra caso seja necessário alterar a trajetória. O mecanismo que altera esta trajetória é o controle das velocidades das rodas. Por exemplo: caso seja necessário fazer a curva para esquerda, será preciso reduzir a velocidade da roda esquerda, o que é possibilitado pelo acionamento dos motores separadamente.

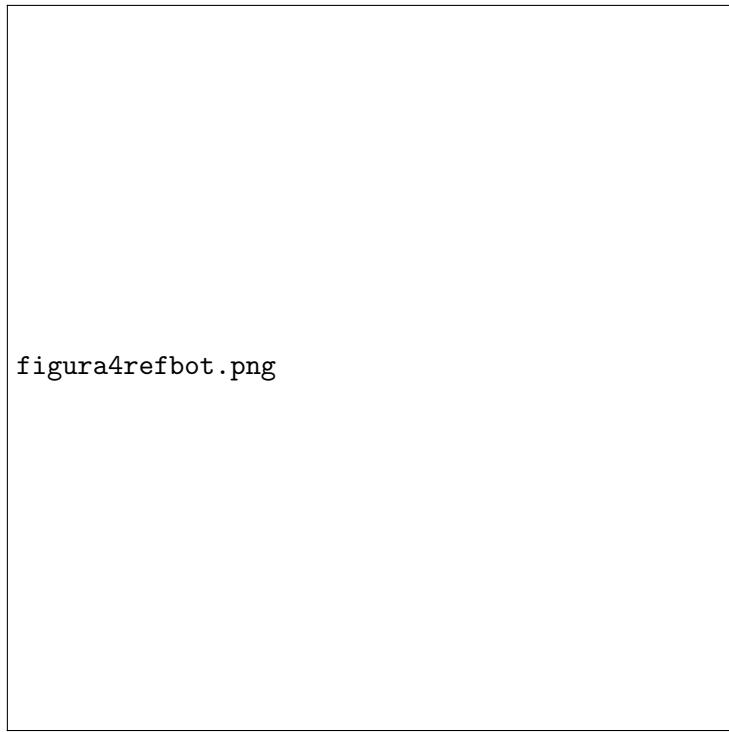


Figura 2.4: Mapa topológico de um layout de escritório

Fonte: (??)

#### 2.4.4 Marcos Fiduciais

De acordo com (??), um marco fiducial é qualquer objeto colocado no campo de visão de uma imagem que tem o intuito de ser usado como ponto de referência ou medida.

Atualmente alguns marcos fiduciais mais tecnológicos vem sendo desenvolvidos para funcionarem como apontadores de informações, como por exemplo os QR Codes, que podem ser usados para apontar a um endereço digital específico. Há ainda a capacidade de carregar informações de localização de GPS em marcos fiduciais. Um exemplo dessa aplicação é o uso de ArUco Tags ou April Tags que retornam informações de sua localização relativa a algum outro objeto quando encontrados.

#### 2.4.5 ROS

Segundo a Open Source Robotics Foundation (??), o ROS, do inglês *Robotic Operating System*, é um sistema operacional para robôs público, gratuito e colaborativo.



Figura 2.5: Grade regular

Fonte: (??)

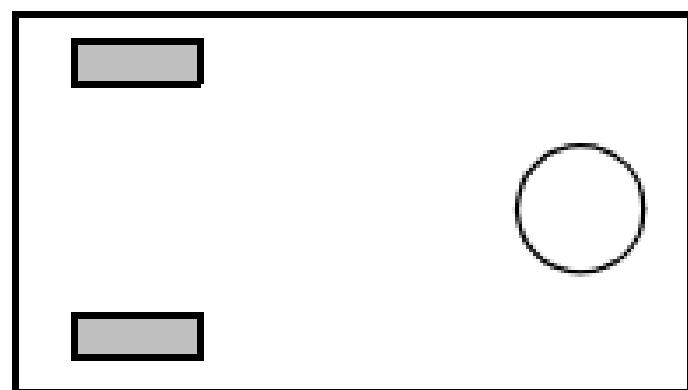


Figura 2.6: Robô com rodas diferenciais

Fonte: (??)

## Metodologia

”Nada é permanente, exceto a mudança.”

(Heráclito)

O fluxo metodológico utilizado pelo projeto seguiu uma idealização do Desenvolvimento de Produtos, onde é constituído por três principais etapas: Projeto Conceitual, Projeto Detalhado e Confecção, conforme demonstrado na figura 3.1.

Figura 3.1: Representação do Fluxo Metodológico



Fonte: Autores, 2019

### 3.1 Etapa Conceitual

A etapa conceitual, foi caracterizada pela realização de outras três subetapas: Identificação, Levantamento de Possíveis Soluções e Seleção.

A etapa de identificação foi caracterizada pela definição dos requisitos do cliente e dos requisitos técnicos do projeto que serviram como guia para caracterizar a busca da solução.

A etapa seguinte, Levantamento de Possíveis Soluções, abrigou um SOTA, do inglês *State of the Art*, que se trata de um estudo do estado da arte ou um *Benchmarking* das principais soluções existentes no mercado, tanto nacional quanto internacional.

A etapa de Seleção foi o momento de se realizar a finalização do conceito, trazendo uma definição para o que viria a ser o design do protótipo, tal como a seleção inicial de componentes do sistema mecatrônico, e ainda a forma de apresentação dos conteúdos teóricos abordados.

Ainda na etapa de Seleção, foi realizado também um estudo das principais metodologias de ensino condizentes com o ensino da robótica e com o propósito deste projeto.

### **3.2 Projeto Detalhado**

A segunda etapa, o Projeto Detalhado, foi caracterizado por duas subetapas, que foram: Definição e Planejamento.

A etapa de Definição foi responsável pela especificação funcional dos elementos do projeto, da finalização do design do protótipo, da especificação dos conteúdos que seriam abordados na parte teórica, e pela definição da forma como esses conteúdos seriam passados para os estudantes, tanto na sua porção teórica, quanto na sua porção prática e intercomunicação entre ambas. Houve ainda a definição do método de fabricação das peças do protótipo físico.

Dando continuidade veio a etapa de Planejamento que foi responsável pela elaboração de toda a ordem a ser empregada na confecção dos materiais. Nesta etapa foram elaboradas a arquitetura mecatrônica do projeto, a separação dos componentes, o planejamento de fabricação das peças do protótipo físico e a definição do local onde os materiais teóricos seriam disponibilizados, tal como sua ordem de visualização e a organização disso de uma forma amigável para o estudante.

### **3.3 Etapa de Confecção**

A última etapa foi a etapa de confecção, onde de fato todos os materiais teóricos foram elaborados e disponibilizados, o protótipo físico foi fabricado, montado e testado. Houve ainda a confecção dos pacotes de software utilizados, a instalação e configuração dos hardwares e seus testes.

---

## Desenvolvimento

---

”Insanidade é continuar fazendo sempre as mesmas coisas, esperando resultados diferentes.”

(Albert Einstein)

Durante cada uma das etapas da metodologia, uma série de tarefas foram elaboradas e cumpridas. Este capítulo irá tratar do desenvolvimento de cada dessas etapas de acordo com a metodologia utilizada na realização deste projeto.

### **4.1 Etapa Conceitual**

#### *4.1.1 Levantamento de Requisitos*

O primeiro passo para o desenvolvimento do projeto foi o de reunir todos os requisitos que deveriam ser cumpridos pelas entregas. A partir de conversas com o cliente, pode-se levantar alguns requisitos iniciais.

As funcionalidades esperadas pelo cliente foram um kit físico dividido em módulos integrados e complementares. O kit deveria culminar na montagem de um robô com movimentação cinemática e funcionalidade de visão computacional utilizando uma câmera RGB.

Além disso o cliente esperava também tutoriais online abrigados em domínio aberto, escritos em linguagem simplificada, abordando conceitos introdutórios da robótica, como por exemplo: O que é um robô, partes de um robô, funcionalidades de um robô completo, áreas da robótica e suas funcionalidades, atuação e movimentação diferencial, introdução a visão computacional e integração com a movimentação.

Um outro ponto exigido pelo cliente foi a utilização de desafios ao longo do desenvolvimento através do kit, com o intuito de manter o estudante engajado e interessado durante a sua interação com o kit.

Por fim o cliente pediu ainda que fossem abordados conceitos de ferramentas utiliza-

Tabela 4.1: Componentes constituintes do kit físico.

| Componentes          | Quantidade |
|----------------------|------------|
| Raspberry Pi3B       | 1          |
| Dynamixel MX-28      | 2          |
| Câmera RGB           | 1          |
| Rodas embrorrachadas | 2          |
| Roda boba            | 1          |
| Cabos e conexões     | x          |
| Bateria              | 1          |
| Conversores DCDC     | 2          |

das profissionalmente, em específico o framework ROS, alguma linguagem de programação e alguma biblioteca para auxilio de aprendizado na questão da visão computacional.

### 4.1.2 Estudo do Estado da Arte

De posse dos requisitos do projeto, o próximo passo foi realizar uma pesquisa sobre as principais tecnologias e projetos já existentes, tanto no Brasil quanto no mundo que cumpriam parcialmente ou totalmente com os requisitos levantados. Os principais envolvidos encontrados foram

### 4.1.3 Estudo das Metodologias de Ensino

## 4.2 Projeto Detalhado

### 4.2.1 Definição

Após a realização das etapas descritas anteriormente, pôde-se de fato escrever uma solução proposta. A solução proposta foi dividida em duas partes, o Kit Físico e os Tutoriais, como descrito a seguir.

Kit Físico: Utilização da Raspberry Pi como controlador central, utilização dos dynamixels mx-28 como atuadores, kit modulado com módulos integrados e sequenciais para montagem de um robô reconhecedor de marcos fiduciais. A finalização do Kit culminará em um robô com movimentação diferencial e capacidade de visão com a utilização de uma câmera RGB. Todos os componentes podem ser visto na tabela 4.2:

Tutoriais: Linguagem simples e acessível, metodologia intuitiva, presença de desafios. Conteúdos a serem abordados: Breve histórico da robótica, partes de um robô,

funcionalidades encontradas em robôs completos, introdução a áreas da robótica, abordagem prática do framework ROS em compatibilidade com a Raspberry Pi, abordagem prática de conceitos de programação em Python com a utilização de programas modelos acompanhados de tutoriais de mudança e proposição de desafios, programação de atuação dos servos para movimentação diferencial simples, abordando conceitos facilitados de cinemática diferencial e seu funcionamento. Introdução à visão computacional com introdução a biblioteca do OpenCV e tratamentos simples de imagens. Implementação de uma integração da movimentação com a visão computacional.

#### *4.2.1.1 Metodologia de ensino*

A partir da análise das metodologias de ensino préviamente apresentadas, a equipe pensou em uma proposta metodológica que contivesse dois pilares filosófico, teoria e prática. A figura 4.1 representa graficamente a proposta metodologica, evidenciando como os pilares se relacionam. Os dois pilares filosoficos são subdivididos da seguinte

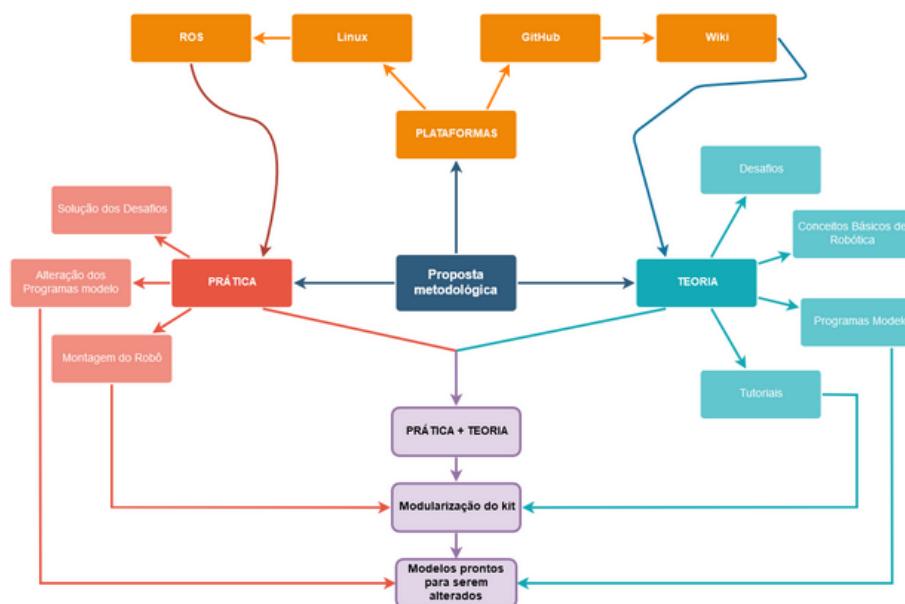


Figura 4.1: Representação Gráfica da Metodologia

Fonte: Autores, 2019

maneira: Na parte teórica serão apresentados ao estudante conceitos básicos de robótica, baseados nas principais bibliografias e documentos que são normalmente utilizados pela comunidade de robótica.

Do ponto de vista teórico, um exemplo do que será disponibilizado são os tutoriais do Framework ROS (do inglês Robot Operating System), que são elaborados pela própria comunidade do ROS. Todavia, não existem versões escritas em português, ou em uma

Tabela 4.2: Componentes constituintes do kit físico.

| Componentes          | Quantidade |
|----------------------|------------|
| Raspberry Pi3B       | 1          |
| Dynamixel MX-28      | 2          |
| Câmera RGB           | 1          |
| Rodas embrorrachadas | 2          |
| Roda boba            | 1          |
| Cabos e conexões     | x          |
| Bateria              | 1          |
| Conversores DCDC     | 2          |

linguagem que se preocupe em ser simplificada, o que dificulta o acesso à essas informações. Assim, a proposta é de utilizar estes tutoriais como inspiração e referência de conteúdo para produção de material escrito em linguagem mais acessível e em português.

Além da produção de tutoriais, há ainda a proposta de apresentar scripts modelo, escritos em python, que servirão como base para explicações dos conceitos. O foco destes, será mostrar aos alunos como utilizar métodos e funções próprias do framework. Estes scripts estarão envolvidos diretamente com outro item, que é o aprendizado prático. A parte prática tem como foco o estudo e a alteração dos scripts, proporcionando assim o desenvolvimento do estudante em programação.

Cada script modelo estará atrelado a um desafio. Para que o estudante solucione estes desafios, a proposta é que ele leia, interprete e altere o programa para realizar uma tarefa específica que vai um pouco além da apresentada pelo script original.

Visando dar forma e visual à conceitos muitas vezes abstratos, o que é interessante na abordagem, é que, atrelado a essas alterações haverão dispositivos reais para demonstrar se houve ou não êxito. Alguns exemplos de dispositivos com os quais os estudantes poderão interagir são servomotores e uma câmera, o que facilitará uma absorção dos conceitos apresentados.

O pilar filosófico da teoria é suportado pela plataforma Github, mais precisamente as páginas contidas nela. Esta plataforma é considerada *OpenSource*, ou seja, toda informação disposta nela é aberta para o público, cumprindo assim o desejo da equipe de democratizar o conhecimento. Ao todo existem 24 páginas com conteúdos diversos nesta plataforma, além de 12 programas modelos.

Paralelo à isso, na parte física, o estudante também terá um kit físico para montagem gradual de um robô com movimentação diferencial. Esta montagem será modular e será regida pelo seu andamento nos tutoriais. O quadro 4.2 apresenta os componentes presentes no kit.

A escolha da Raspberry Pi 3.0B se deve por conta da alta disponibilidade no mercado, por apresentar um custo baixo se comparado com outros computadores que serviriam para a mesma finalidade, e principalmente por apresentar poder computacional suficiente para o funcionamento do ROS e das bibliotecas de processamento de imagens que serão utilizadas.

Na Raspberry Pi será utilizado o sistema operacional Raspbian por ser o mais otimizado para a plataforma, por ser derivado de um sistema Linux, e por funcionar aliado ao ROS Kinetic, que é hoje a distribuição do ROS mais utilizada pela comunidade da robótica.

O estudante irá receber a Raspberry com todas as bibliotecas necessárias para funcionamento e alteração dos scripts já instaladas, assim como o framework também já instalado, poupando assim o desestímulo inicial que tende a ocorrer no primeiro contato com estas ferramentas.

Serão apresentados os servomotores Dynamixel, por serem amplamente utilizados em projetos robóticos de inovação. Isso ocorre por conta da maior facilidade de integrar estes servos com o ROS, sem precisar utilizar ferramentas mais complexas, como desenvolvimento de drivers e controle PWM (do inglês, Pulse Width Modulation). Em um dos scripts modelo, por exemplo, irá ser apresentada a forma de se comunicar com os servos, juntamente à introdução da cinemática de robôs diferenciais.

A câmera RGB será utilizada para facilitar a introdução de conceitos de visão computacional e suas ferramentas, como a biblioteca do OpenCV (do inglês, Open Computer Vision). Haverão scripts modelo apresentando a integração entre ROS e OpenCV, além da proposição de desafios utilizando conceitos básicos de visão computacional.

A figura 4.2 apresenta o fluxograma da proposta de aprendizagem de robótica feita pela equipe. Ela representa como o aluno irá aprender a robótica utilizando os materiais dispostos, de forma modular e progressiva. Este quesito de ser progressivo e modular é representado nos passos da figura 4.2, já que inicialmente o aluno irá aprender os conceitos básicos dispostos na wiki. Cada conceito básico tem um programa modelo para exemplificar e demonstrar como este conceito é aplicado na robótica. Após a apresentação do programa modelo, é proposto um desafio ao aluno envolvendo o conceito abordado. Para o comprimento deste desafio, o estudante necessita montar uma parte do kit físico a fim de propiciar a parte prática e o contato com o hardware. Com a teoria que foi apresentada anteriormente, programa modelo e pesquisa em textos base, o aluno será capaz de solucionar o desafio proposto anteriormente. Com a assimilação do conteúdo, o usuário será apto para passar para um conceito mais complexo da área da robótica.



Figura 4.2: Fluxograma da Metodologia

Fonte: Autores, 2019

#### 4.2.2 Planejamento

### 4.3 Confecção

#### 4.3.1 Protótipo Físico

O Kit Físico foi pensado para ser uma forma de concretização dos conceitos abstratos que são abordados ao longo dos tutoriais. A ideia foi de criar um robô que funcionaria a partir de movimentação diferencial e que fosse capaz de trabalhar com os conceitos de cinematica e visão computacional em conjunto.

De forma a otimizar o design do robô, algumas considerações iniciais foram levantadas anteriormente ao inicio do design:

- O robô deve ser compacto;
- O robô deve ser apresentar boa resistência mecânica em geral;

- O robô será majoritariamente fabricado por manufatura aditiva;
- O robô deve ser composto por peças para montagem gradual;

A partir destes detalhes iniciou-se o design do robô. Utilizou-se o software SOLIDWORKS 2019 para criar o design de forma interativa. As geometrias buscadas tem características modernas e foram pensadas também para serem eficazes no que concerne a fabricação por manufatura aditiva.

Tomando como base o componente de maior peso e volume do sistema, a bateria, foi criada a peça "Chassi 1" para mantê-la na região central e deixar o motor equilibrado com um centro de gravidade centralizado e baixo. A imagem 4.3 abaixo representa essa peça.

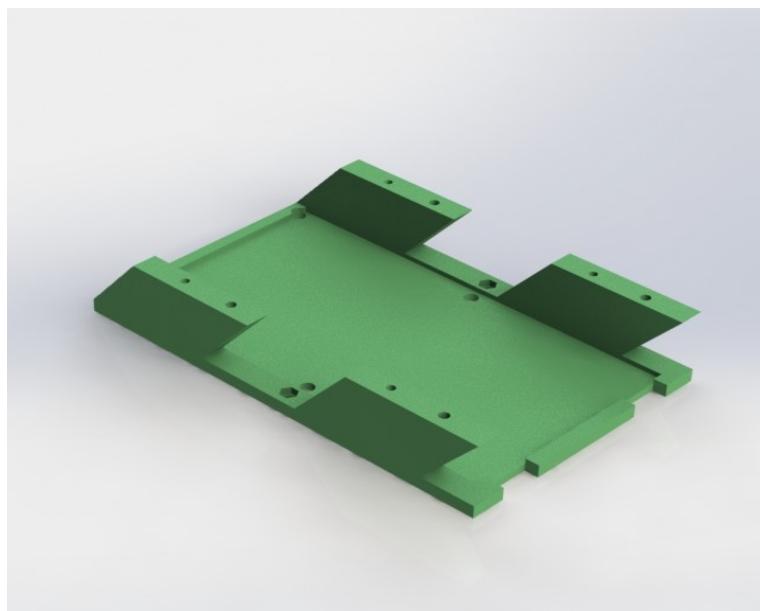


Figura 4.3: Peça Chassi 1

Fonte: Autores, 2019

O rebaixamento feito no principal chassi foi feito para manter a bateria encaixada e evitar seu movimento durante o deslocamento do sistema. Além disso, em diversas partes do design do robô, utilizou-se o conceito de Poka Yoke para que o encaixe das peças seja intuitivo e erros sejam prevenidos no momento da montagem. Isso pode ser visto nos quatro furos cilíndricos no chassi que servirão unicamente para encaixar os pinos de peças que se encaixam ao chassi. Na parte frontal do Chassi também existem entradas para que o Chassi 2 se acople a ele.

O segundo componente a ser criado foi o suporte do Dynamixel, que será responsável por fixar os servomotores ao chassi principal. Este componente é simples e foi feito para se encaixar perfeitamente no Dynamixel, com furo para passagem do eixo e pinos para encaixe, como demonstrado na figura 4.4 abaixo.



Figura 4.4: Peça Suporte Dynamixel  
Fonte: Autores, 2019

Em seguida, foram criadas as rodas traseiras do robô, como demonstradas na figura 4.5 abaixo, responsáveis por transmitir a tração dos motores e movimentar a estrutura. Sua geometria foi pensada de forma em que sejam encaixadas no flange do Dynamixel com quatro parafusos para a fixação. Um parafuso adicional será utilizado para conectar a roda ao eixo.



Figura 4.5: Peça Roda Traseira  
Fonte: Autores, 2019

Com as duas rodas traseiras sendo as únicas responsáveis pela tração, foi necessário criar um sistema de roda boba na parte frontal do robô, para que este consiga se deslocar em qualquer direção com a devida sustentação. Para isso, foi criado uma peça a ser fixada no chassi principal que terá a função de segurar uma esfera, que servirá de roda boba. Uma peça menor será responsável por manter a esfera sempre em contato com o chão, empurrando-a de cima para baixo. Essas peças estão demonstradas na figura 4.6 abaixo,

e o esquema para montar esse subsistema está demonstrado na imagem [4.7](#) abaixo.

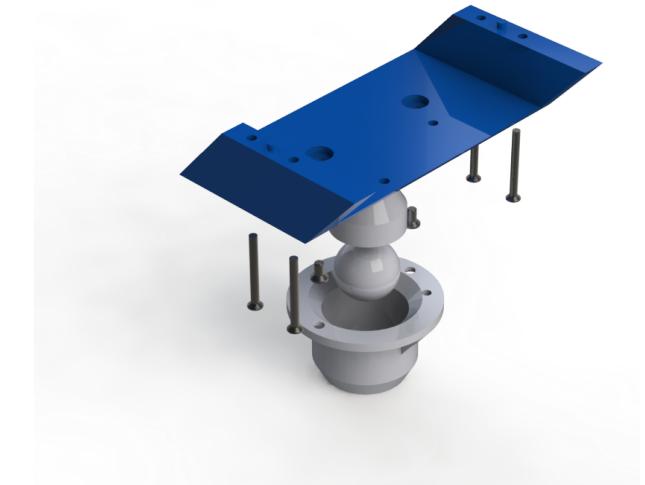


Figura 4.6: Peças da Roda Boba  
Fonte: Autores, 2019

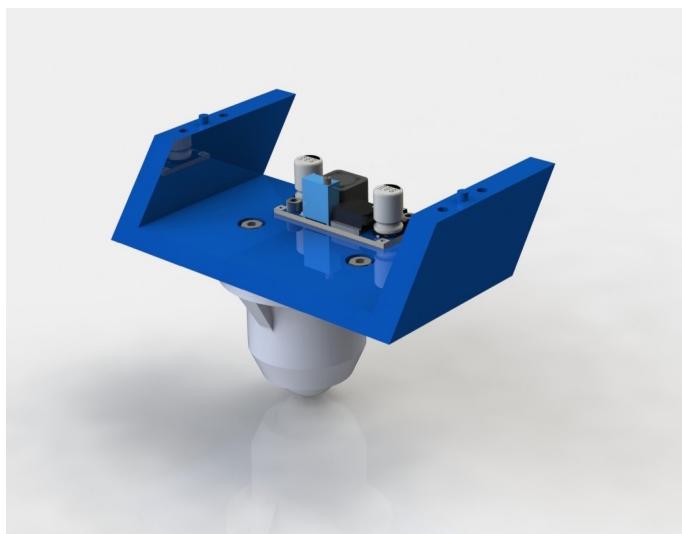


Figura 4.7: Montagem da Roda Boba  
Fonte: Autores, 2019

Todo esse conjunto será fixado primeiramente no Chassi 3, que tem como função conectar o conjunto da roda boba ao chassi principal e servir de base para o primeiro conversor DC-DC. O conversor DC-DC tem a função de regular a tensão da bateria que sai a 14,4V e precisa chegar ao Raspberry com 5V.

Com a parte inferior do robô finalizada, deu-se início a construção da parte superior, onde fica o cérebro do robô, o Raspberry Pi. Para servir de base para o Raspberry e de cobertura para a bateria, o Chassi 2 foi criado, como mostrado na figura [4.8](#).

Foram alocados quatro furos para segurar a Raspberry, dois furos para o segundo

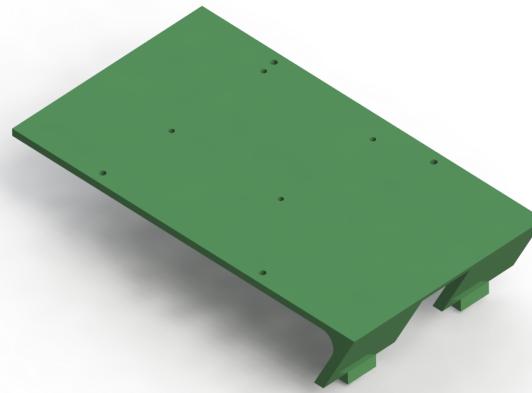


Figura 4.8: Peça Chassi 2

Fonte: Autores, 2019

conversor DC-DC e mais quatro furos para a fixação no chassi principal. O Raspberry Pi funciona como um mini computador, o qual terá os códigos e informações necessárias para acionar os motores.

Por fim, uma capa foi criada para proteger a Raspberry e o conversor da parte superior, além de dar um aspecto moderno ao robô, com linhas diagonais simulando uma seta para frente, como demonstrado na figura 4.9 abaixo. Em frente a capa foi deixado um espaço para a Webcam, que fará as filmagens e auxiliará o sistema a interpretar as imagens com a visão computacional. Ao lado foi feito um corte para permitir a passagem dos conectores HDMI e Micro USB ao Raspberry Pi.

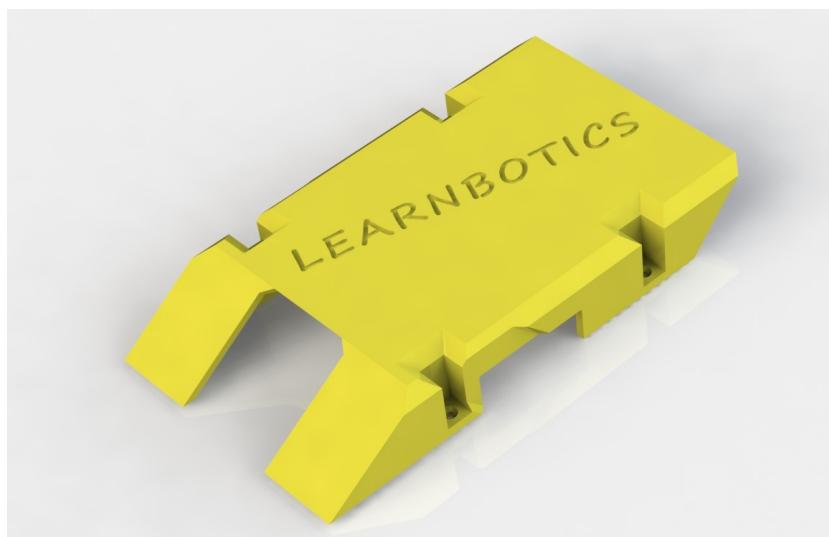


Figura 4.9: Peça Capa Superior

Fonte: Autores, 2019

Como mencionado anteriormente, o robô foi pensado para que em sua grande mai-

oria, com exceção de componentes já prontos e peças de fixação como parafusos e porcas, fosse fabricado através de manufatura aditiva.

Essa decisão se justifica devido ao fato de que o proposto por essa abordagem de ensino tem como finalidade ser democrática e abrangente para diversos públicos. A utilização de Impressoras 3D para fabricação das peças do robô é fundamental para essa questão, uma vez que possibilita que qualquer pessoa que possua uma impressora, seja capaz de fabricar as peças e utilizar o kit.

Após fabricação concluída, disponibilização dos componentes de fixação, disponibilização dos componentes eletrônicos e dos dispositivos utilizados no kit, todos os componentes que se tem no robô estão listados abaixo:

- 2 Servomotores Dynamixel MX-28
- 2 Chassis (1 e 2)
- 1 Capa do robô
- 2 Suporte para os Servomotores
- 2 Rodas traseiras
- 2 Flanges Dynamixel
- 1 Esfera de 15mm
- 1 ”EmpurraEsfera”
- 1 ”SeguraEsfera”
- 1 Raspberry Pi 3 b+
- 1 Webcam
- 1 Bateria Inspired Energy
- 2 Conversores DC-DC
- 12 Porcas M2.5
- 2 Porcas M3
- 16 Parafusos de cabeça escareada M2.5 de 12mm
- 4 Parafusos de cabeça escareada M2.5 de 25mm
- 8 Parafusos Allen de cabeça cilíndrica 3-48 1/2”
- 2 Parafusos Allen de cabeça cilíndrica 3-48 7/16”

- 2 Parafusos Allen de cabeça escareada M3 de 6mm
- 8 Parafusos Allen de cabeça cilíndrica M2.5 de 4mm

Com todos os componentes em mãos, o estudante pode proceder para a montagem acompanhando o passo a passo disponibilizado no tutorial de montagem do robô. O resultado da montagem do robô pode ser visualizado na figura [4.10](#) a seguir.

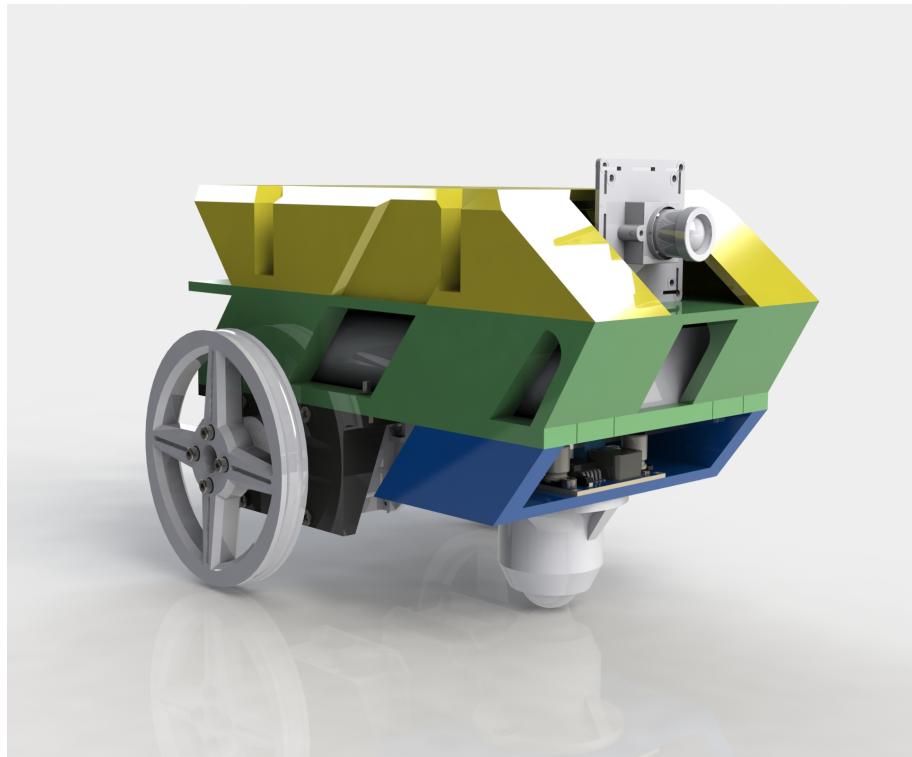


Figura 4.10: Robô Completo  
Fonte: Autores, 2019

#### 4.3.2 Raspberry e o SO

Muito dos componentes apresentados na tabela [4.2](#) são comumente utilizados, tendo uma alta qualidade atrelada, porém, somente quando atreladas à um uso comum. Como o projeto deste trabalho envolvia o uso de uma raspberry, tornou-se necessário o teste de integração entre os componentes e a raspberry.

Para a utilização dos ROS e OpenCV é preferível que estes estejam instalados em um SO (Sistema Operacional) com base em LINUX e com suporte ao ROS e OpenCV. Inicialmente foi testado o Ubuntu 16.04 server. Este SO é um derivativo do Ubuntu 16.04, a única diferença é que este não compõe a parte gráfica. Teoricamente, o Ubuntu server seria o Sistema operacional perfeito para a aplicação deste trabalho, por ser um sistema

sólido, amplamente testado e que tem um dos melhores suportes às ferramentas utilizadas. Com tudo, há um pequeno problema na utilização dele, que não há suporte gráfico, ou seja, o aluno de cara teria um grande estranhamento de apenas utilizar o terminal para conseguir fazer as aplicações e desafios compostos no kit.

Com isso, foi preferível instalar o SO Raspbian, uma derivação do Debian. O Raspbian é um sistema operacional otimizado e próprio para a Raspberry, tendo suporte para ROS e OpenCV. Não é possível instalar o SO Ubuntu 16.04 com gráficos pois, a Raspberry não consegue comportar ele, já que ela conta com uma memória gráfica limitada.

O que é interessante neste SO que ele é disponibilizado pela própria Raspberry e mantido por ela. Com isso, este sistema vem com diversas aplicações educacionais, e possíveis projetos que se o aluno quiser explorar, poderá encontrar infinitas finalidades.

Para instalação do SO na Raspberry, foram utilizados os seguintes materiais, mostrados na figura 4.11:

1. Raspberry PI 3B+
2. Cartão SD 32 GB
3. Imagem do Sistema Operacional

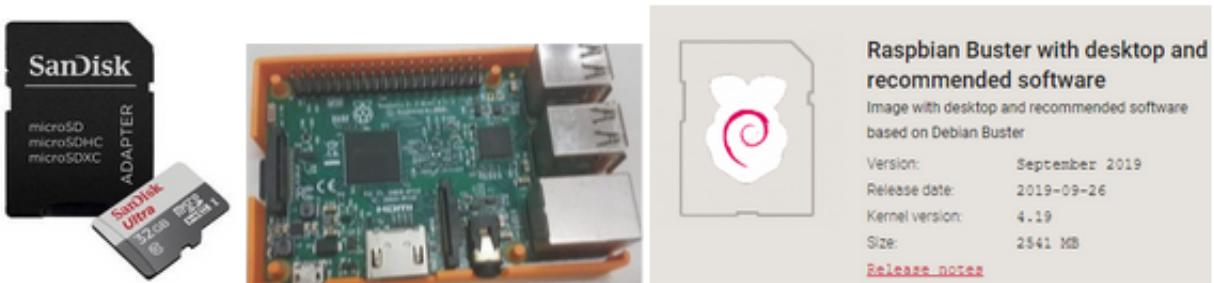


Figura 4.11: Componentes necessários para instalar o SO

Fonte: Autores modificado, 2019

A instalação do SO em si foi seguindo o tutorial disposto no próprio site da ([RASPBERRY, 2019](#)), o raspberrypi.org. Lá contém tudo que é necessário para instalar, os passos a serem seguidos e como otimizar a Raspberry.

#### *4.3.2.1 ROS para Raspberry*

Para o cumprimento dos requisitos funcionais do kit, faz-se necessário a instalação do framework de robótica ROS. Este passo normalmente é fácil e intuitivo, porém, quando se trata de uma ARM (Advanced RISC Machine) a instalação de frameworks como este tornam-se mais complexo. Esta dificuldade é consequência por dois fatores:

1. A arquitetura é mais simples se comparado com processadores utilizados em computadores pessoais;
2. O Sistema Operacional (SO) utilizado é o Raspbian, um SO baseado em Linux próprio para a Raspberry.

Por conta destes dois fatores, a instalação do framework não pode ser feita da mesma forma que é em um computador normal. Felizmente, há diversos tutoriais disponíveis na Internet para o auxílio desta tarefa, porém, isso não fez diminuir o nível esforço para o cumprimento dela.

Tendo em vista esta complexidade, a equipe repensou como iria entregar o kit, mudando assim o requisito que o aluno deveria instalar o ROS na Raspberry. O que é interessante analisar é que o intuito deste trabalho é apresentar de forma fácil e prática o mundo da robótica aplicada para os alunos, então, para que não houvessem desistências prematuras do curso, foi preferido entregar o ROS já incluso.

#### *4.3.2.2 Instalação do ROS na Raspberry*

Inicialmente, foi utilizado o SO Ubuntu 16.04 server. Neste sistema a instalação do framework ROS foi simples, já que este sistema é amplamente utilizado pela comunidade, sendo assim, tem uma maior suporte.

Para ele, foi feito uma conexão via SSH, utilizando as entradas TX-RX da raspberry. Este tipo de conexão facilita a instalação, já que, pela raspberry somente havia o terminal, já que não havia a parte gráfica. A imagem 4.12 abaixo, mostra os componentes utilizados para a instalação.

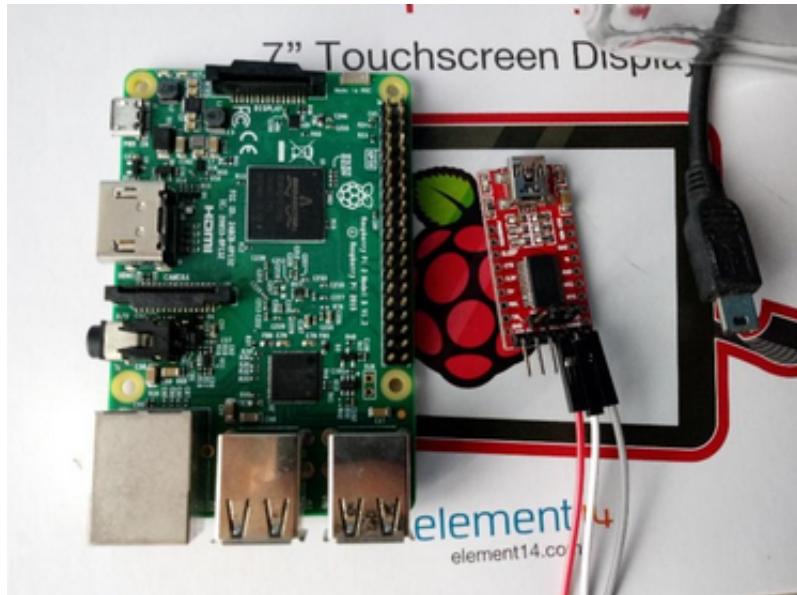


Figura 4.12: Componentes necessários para instalar o ROS

Fonte: Autores, 2019

Como previamente comentado, foi feito a mudança do Ubuntu para o Raspbian. Com isso, não se fez necessário a conexão por via TX-RX, já que neste caso, havia o componente gráfico no SO.

Para a instalação do ROS no Raspbian, foi seguido o tutorial disponível no próprio site do ROS, o ROS.org. Porém, houveram alguns problemas com a instalação do Framework neste SO, desde problemas com dependências, com o próprio ROS etc. Estes percalços ocasionaram em um atraso de alguns dias no projeto, já que até então, não eram conhecidos e mapeados.

#### 4.3.2.3 Instalação do OPENCV na Raspberry

Para as aplicações de visão computacional, deve-se utilizar o OpenCV. Este contém inúmeras bibliotecas que viabilizam e possibilitam a identificação de cores, marcos fiduciais etc. Com isso, faz-se necessário a instalação desta ferramenta na Raspberry a fim de possibilitar ao aluno trabalhar com os princípios da visão computacional.

Há inúmeros tutoriais dispostos na internet para a instalação do OpenCV no sistema da Raspberry, especialmente com o Raspbian. Porém, a complexidade é tão alta quanto a instalação do ROS, por isso, a equipe concluiu que tanto o ROS quanto o OpenCV iriam ser entregues instalados na Raspberry.

Para testar se o OpenCV foi instalado corretamente, foi testado um algoritmo simples de identificação de Arucos, o resultado pode ser visto na figura 4.13 logo abaixo. Este mesmo algoritmo está disposto na WIKI no Github do ([LEARNBOTICS, 2019f](#)).

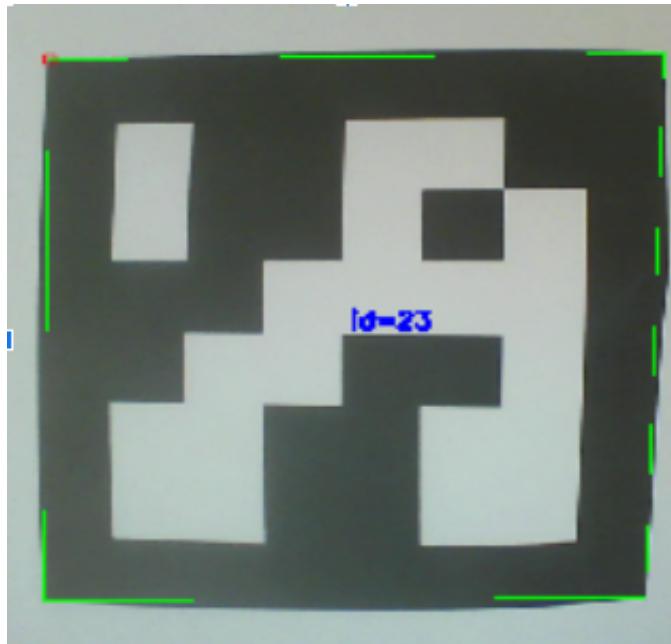


Figura 4.13: Aruco de teste

Fonte: Autores, 2019

#### 4.3.2.4 Hardware

Como citado na anteriormente neste trabalho, para que o kit didático seja utilizado de forma modularizada e sem necessidade de uma fonte de tensão variável, foi pensado a utilização de uma bateria para alimentar a Raspberry e os motores. Abaixo, a figura 4.14 demonstra um diagrama elétrico simplificado do robô.

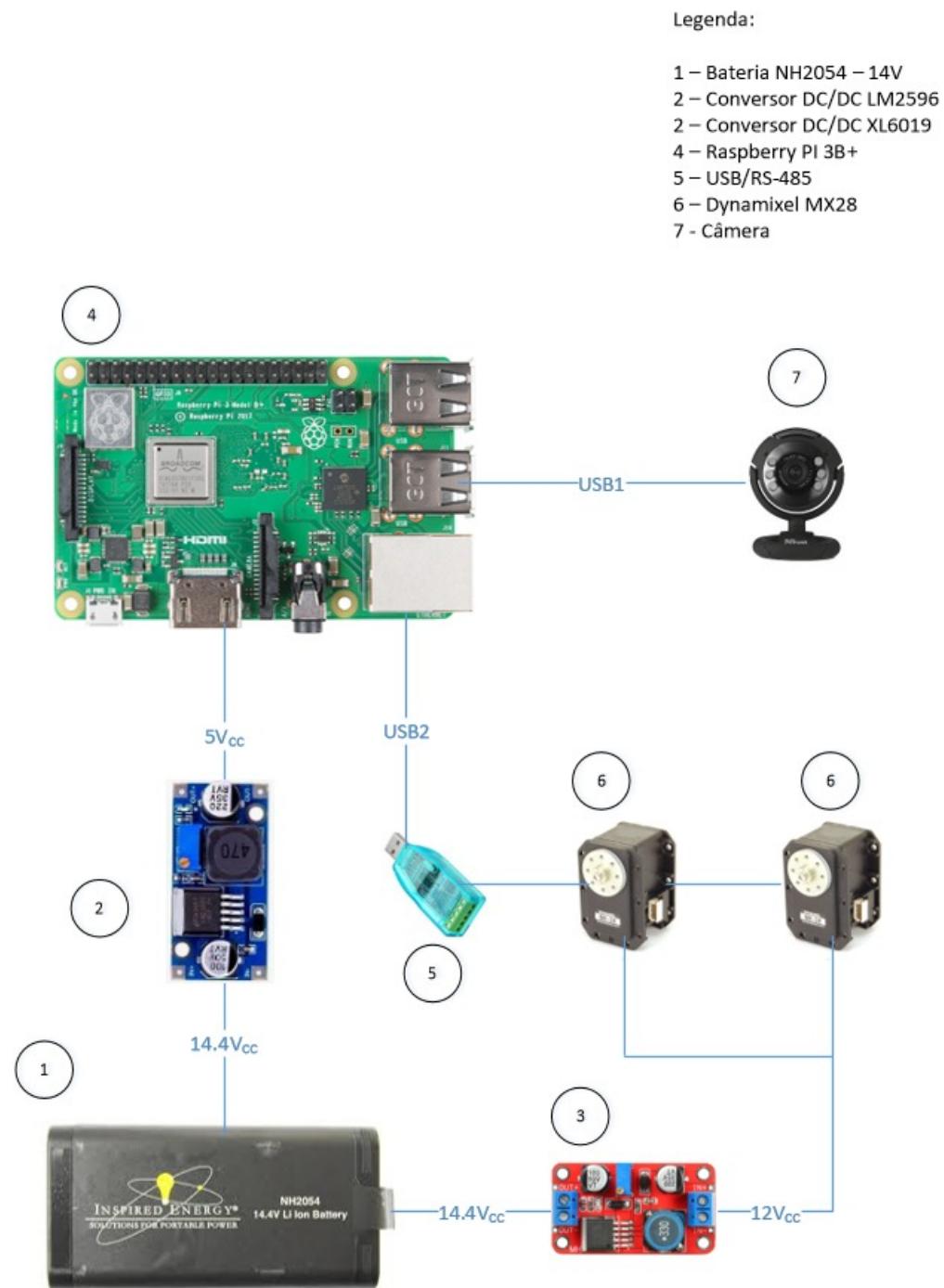


Figura 4.14: Esquema elétrico

Fonte: Autores, 2019

A bateria NH2054, tendo o número 1 na figura 4.14, contém oito células do tamanho de íon de lítio 18650 em um formato de 4 séries e 2 paralelas, dispondo de uma tensão nominal de 14.4V. Entretanto, a tensão pode variar de 16.8 V, quando totalmente carregada e 9.6 V em *cut-off*. Esta variação pode vir a queimar os dynamixels, já que a tensão de trabalho deles é de 10 a 14.8 V, sendo recomendada 12 V, como pode ser visto na figura

## 4.15.

| Item                   | Specifications   |
|------------------------|--|
| MCU                    | ARM CORTEX-M3 (72 [MHz], 32Bit)  |
| Position Sensor        | Contactless absolute encoder (12Bit, 360 [°])<br>Maker : ams(www.ams.com), Part No : AS5045          |
| Motor                  | Coreless(Maxon)  |
| Baud Rate              | 8,000 [bps] ~ 4.5 [Mbps]   |
| Control Algorithm      | PID control  |
| Resolution             | 4096 [pulse/rev]   |
| Backlash               | 20 [arcmin] (0.33 [°])   |
| Operating Mode         | Joint Mode (0 ~ 360 [°])<br>Wheel Mode (Endless Turn)  |
| Weight                 | MX-28AR/AT : 77 [g], MX-28R/T : 72 [g]   |
| Dimensions (W x H x D) | 35.6 x 50.6 x 35.5 [mm]  |
| Gear Ratio             | 193 : 1  |
| Stall Torque           | 2.3 [Nm] (at 11.1 [V], 1.3 [A])<br>2.5) [Nm] (at 12 [V], 1.4 [A])<br>3.1 [Nm] (at 14.8 [V], 1.7 [A]) |
| No Load Speed          | 50 [rev/min] (at 11.1 [V])<br>55 [rev/min] (at 12 [V])<br>67 [rev/min] (at 14.8 [V])                 |
| Radial Load            | 30 [N] (10 [mm] away from the horn)  |
| Axial Load             | 15 [N]   |
| Operating Temperature  | -5 ~ +80 [°C]  |
| Input Voltage          | 10.0 ~ 14.8 [V] (Recommended : 12.0 [V])   |

Figura 4.15: Esquema elétrico

Fonte: Robotis

Tendo isso em vista, foi pensado a utilização do conversor DC DC XL6019 (Número 03), ele é um *stepdown* *BUST*, o que significa que mesmo a bateria alcançando tensões menores que 12 V, o conversor irá suprir os dynamixels sempre com 12 V, o inverso é verdadeiro, quando ocorrer tensões acima de 12 V, o conversor irá energizar os motores com 12V. A figura 4.16 apresenta as informações sobre o XL6019 e suas tensões máximas de entrada e saída. A figura 4.17 apresenta a corrente máxima que o DC DC pode fornecer, isso foi uma preocupação já que ele irá suprir os dois dynamixels.

**Absolute Maximum Ratings (Note1)**

| Parameter   | Symbol              | Value                   | Unit |
|---|---------------------|-------------------------|------|
| Input Voltage   | V <sub>in</sub>     | -0.3 to 45              | V    |
| Feedback Pin Voltage  | V <sub>FB</sub>     | -0.3 to V <sub>in</sub> | V    |
| EN Pin Voltage  | V <sub>EN</sub>     | -0.3 to V <sub>in</sub> | V    |
| Output Switch Pin Voltage   | V <sub>Output</sub> | -0.3 to 60              | V    |
| Power Dissipation   | P <sub>D</sub>      | Internally limited      | mW   |
| Thermal Resistance (TO263-5L)<br>(Junction to Ambient, No Heatsink, Free Air) | R <sub>JA</sub>     | 30                      | °C/W |
| Maximum Junction Temperature  | T <sub>J</sub>      | -40 to 150              | °C   |
| Operating Junction Temperature  | T <sub>J</sub>      | -40 to 125              | °C   |
| Storage Temperature   | T <sub>STG</sub>    | -65 to 150              | °C   |
| Lead Temperature (Soldering, 10 sec)  | T <sub>LEAD</sub>   | 260                     | °C   |
| ESD (HBM)   |                     | >2000                   | V    |

Figura 4.16: Informações sobre o conversor NH2054

Fonte: Inspired Energy

**Electrical Characteristics (DC Parameters)**

V<sub>in</sub> = 12V, GND=0V, Vin & GND parallel connect a 100μF/50V capacitor; I<sub>out</sub>=0.5A, T<sub>a</sub> = 25°C; the others floating unless otherwise specified.

| Parameters                   | Symbol            | Test Condition   | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|------------------------------|-------------------|--|------|------|------|------|
| Input operation voltage      | V <sub>in</sub>   |  | 5    |      | 40   | V    |
| Shutdown Supply Current      | I <sub>STBY</sub> | V <sub>EN</sub> =0V                                      |      | 70   | 100  | uA   |
| Quiescent Supply Current     | I <sub>q</sub>    | V <sub>EN</sub> =2V,<br>V <sub>FB</sub> =V <sub>in</sub> |      | 2.5  | 5    | mA   |
| Oscillator Frequency         | F <sub>osc</sub>  |  | 144  | 180  | 253  | KHz  |
| SW OVP                       | V <sub>SW</sub>   | V <sub>FB</sub> =0V                                      |      | 60   |      | V    |
| Switch Current Limit         | I <sub>L</sub>    | V <sub>FB</sub> =0V                                      |      | 5    |      | A    |
| Output Power NMOS            | R <sub>dson</sub> | V <sub>in</sub> =12V,<br>I <sub>sw</sub> =5A             |      | 110  | 120  | mohm |
| EN Pin Threshold             | V <sub>EN</sub>   | High (Regulator ON)                                      |      | 1.4  |      | V    |
|                              |                   | Low (Regulator OFF)                                      |      | 0.8  |      | V    |
| EN Pin Input Leakage Current | I <sub>H</sub>    | V <sub>EN</sub> =2V (ON)                                 |      | 3    | 10   | uA   |
|                              | I <sub>L</sub>    | V <sub>EN</sub> =0V (OFF)                                |      | 3    | 10   | uA   |
| Max. Duty Cycle              | D <sub>MAX</sub>  | V <sub>FB</sub> =0V                                      |      | 90   |      | %    |

Figura 4.17: Informações sobre o conversor NH2054

Fonte: Inspired Energy

A figura 4.15 apresentam que um dynamixel mx28 alto torque necessita de 1.7 A, como são dois em série, o total necessário do conjunto é 3.4 A. Como pode ser visto na figura 4.17, a corrente máxima que o conversor pode oferecer é 5 A, logo, o requisito de corrente é cumprido com este conversor.

Percebe-se pela imagem 4.14 que há o conversor LM2596 (número 02). Este conver-

sor tem como intuito alimentar a Raspberry com a tensão de 5v. Ele é um *Stepdown*, o que significa que ele só trabalha para reduzir a tensão de operação.

#### 4.3.2.5 Calibração dos conversores

Como citado anteriormente, há a necessidade de uma tensão fixa de alimentação para os motores e a raspberry, tendo isso em vista, foi feita a calibração dos conversores para obter estas tensões de saída.

Para a calibração, foram utilizados os seguintes materiais:

- Voltímetro
- Fonte variável
- Conversor LM2596
- Conversor XL6019

A calibração foi feita da seguinte maneira:

1. Ajustar a fonte para ter uma tensão de saída de 14.4 V (tensão nominal da bateria)
2. Conectar a fonte com o conversor;
3. Medir a tensão de saída do conversor com o voltímetro;
4. Ajustar a tensão de saída de acordo com o desejado.

O passo quatro é por tentativa e erro, ou seja, para variar a tensão de saída dos conversores, deve-se girar um potenciômetro instalado nos conversores, com isso, o ajuste é feito manualmente.

A figura 4.18 apresenta o resultado da calibração do xl6019 e a figura 4.19 o LM2596.

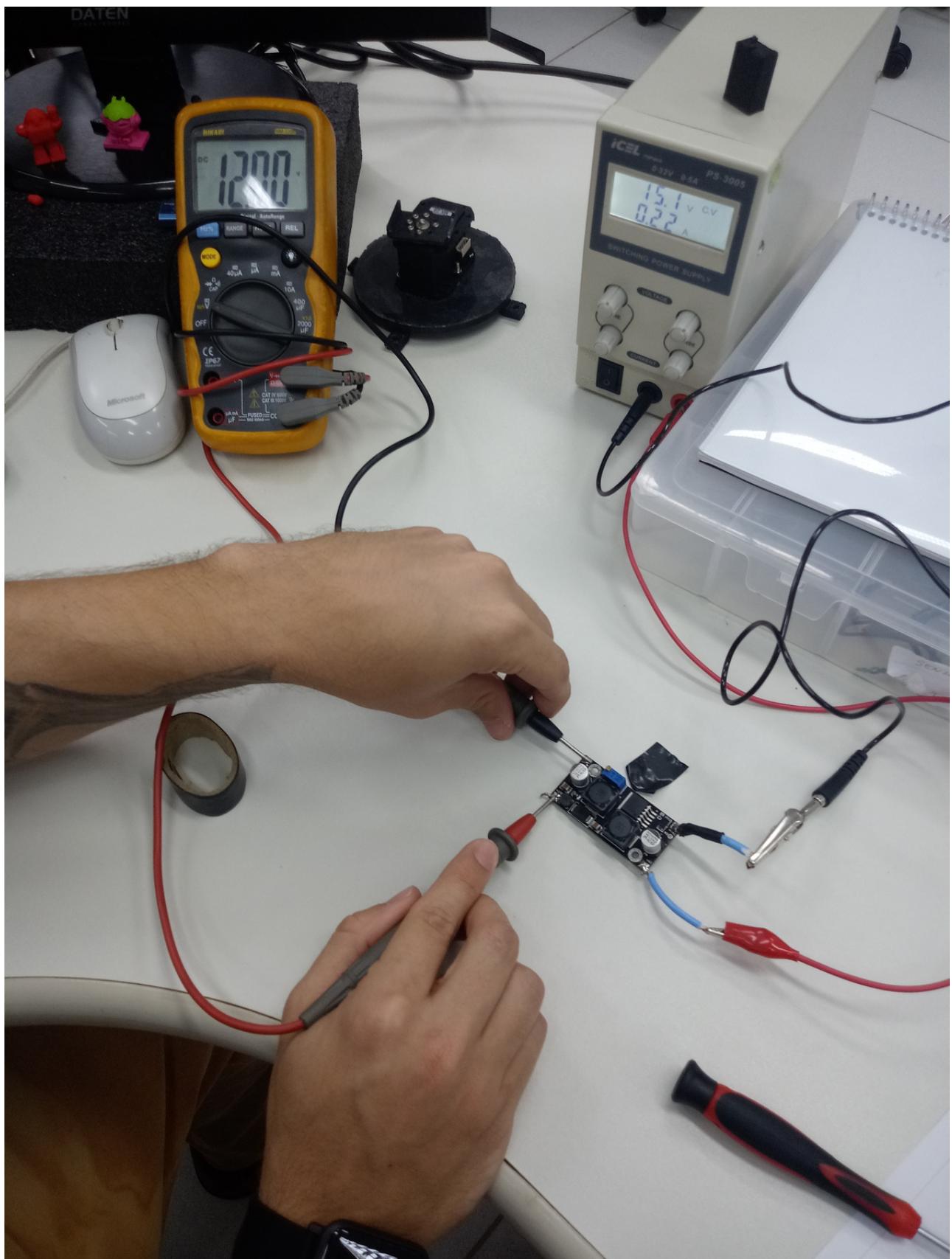


Figura 4.18: Calibração do conversor XL6019

Fonte: Autores, 2019

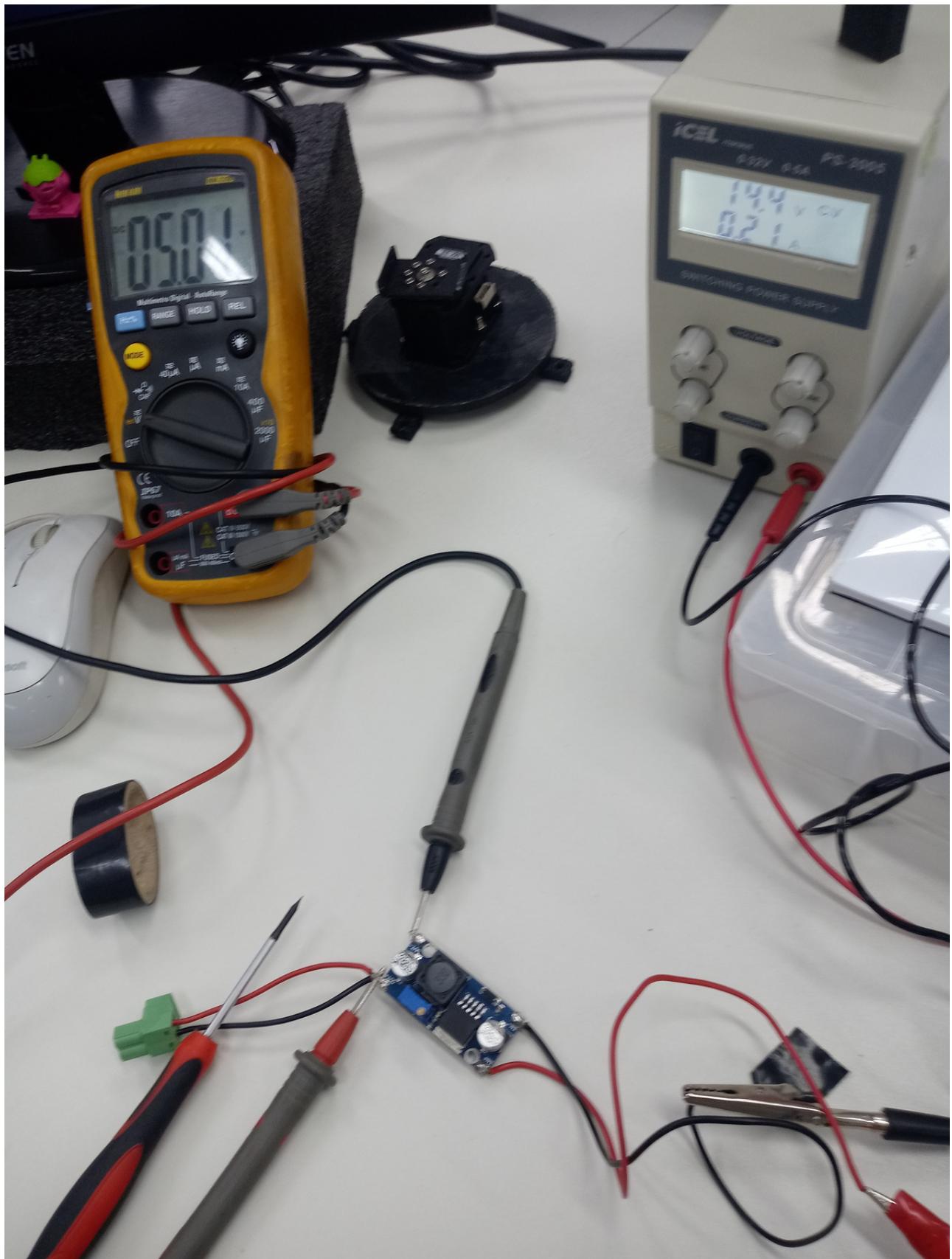


Figura 4.19: Calibração do conversor LM2596

Fonte: Autores, 2019

#### 4.3.2.6 Testes dos Dynamixels na Raspberry

Os dynamixels tem como principal diferencial a sua conexão com o ROS proveniente da Robotis, a empresa que comercializa estes servos motores. Entretanto, como o ROS para o sistema da Raspberry é limitado e conta com alguns erros de compilação, fez-se necessário o teste dos dynamixels em conexão com a Raspberry. Os seguintes passos foram planejados para serem seguidos:

1. Identificação da baudrate dos dynamixels;
2. Download e compilação do pacote DynamixelSDK para a Raspberry;
3. Construção dos algoritmos de configuração e launchers;
4. Teste de conexão via ROS

Estes quatro passos são a metodologia padrão quando há a necessidade de configurar um dynamixel, porém, ao decorrer dos passos, a equipe se deparou com alguns empecilhos:

- O pacote DynamixelSDK não era compilado pelo sistema por falta de memória;
- A identificação da baudrate não pode ser no sistema do mini computador, já que os programas disponíveis para a identificação não eram otimizados para uma ARM.

Para solucionar estes problemas, a configuração dos baudrates dos dynamixels foram feitos em um computador externo utilizando o (??). O pacote DynamixelSDK é de suma importância para a comunicação entre os servo motores e o ROS, com isso, para solucionar o problema de não compilação foi feito um procedimento de compilação em um computador externo com conexão SSH. Portanto, após a identificação destes problemas, a equipe concluiu que os dynamixels já deveriam estar configurados na entrega do kit, diminuindo assim possíveis problemas.

Para os testes foram utilizados os seguintes materiais:

- 02 Dynamixels MX28;
- Conector RS-232
- Fonte variável

A figura 4.20 demonstra como foi feita a conexão entre os dynamixels, fonte e o computador.

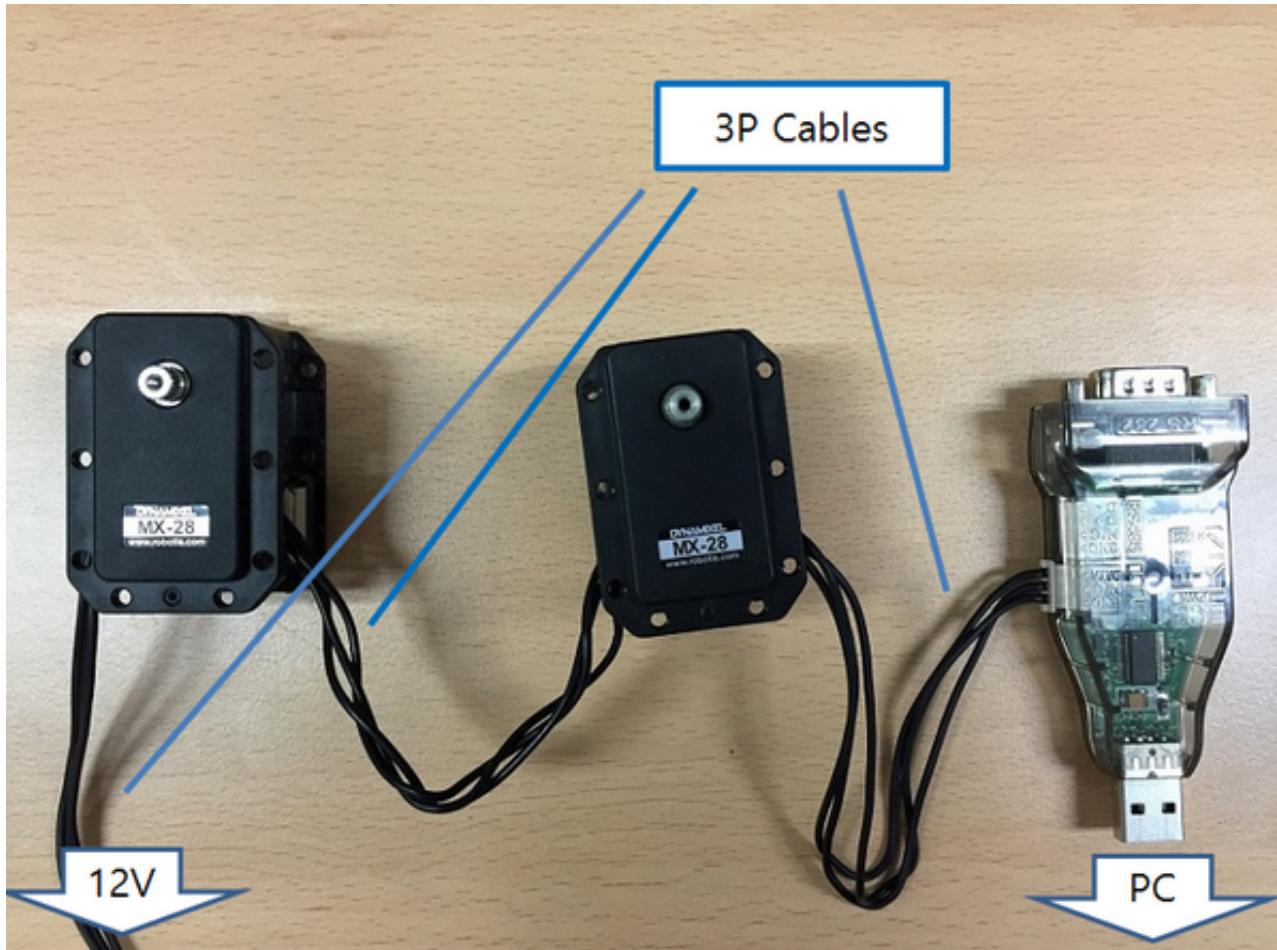
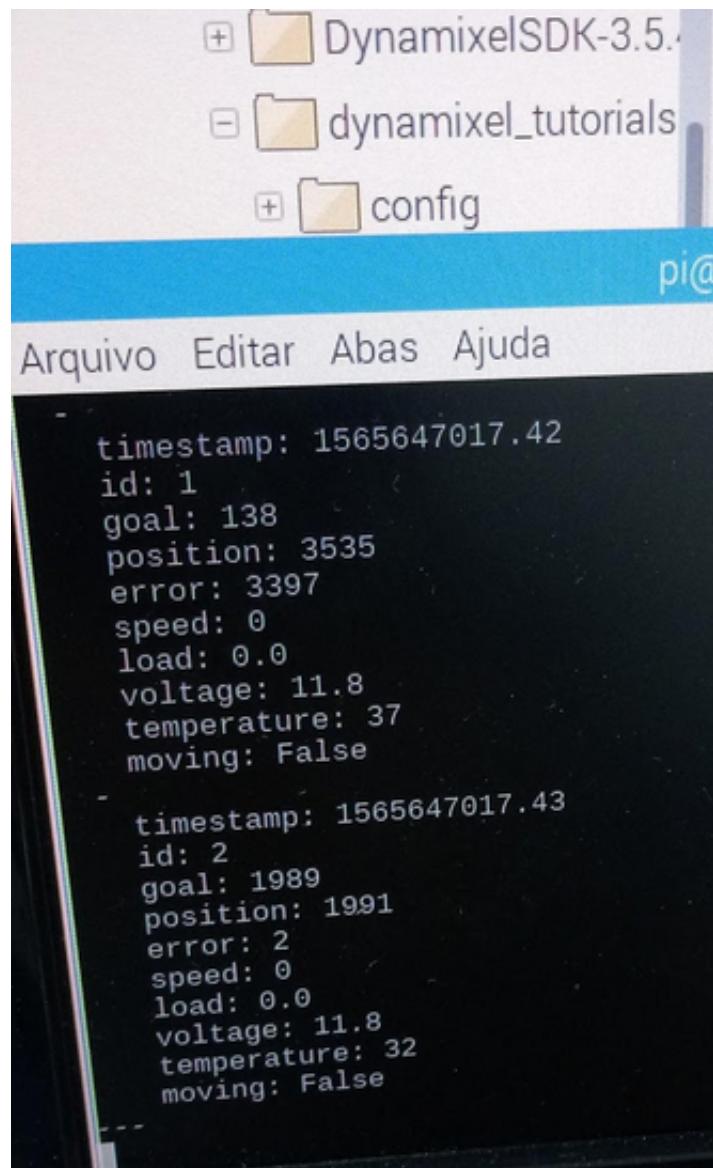


Figura 4.20: Conexão para os dynamixels

Fonte: Robotis

A figura 4.21 mostra a validação do teste de integração entre o servo-motor e o ROS. Ela mostra os motores dando o feedback de posição, speed etc por via de tópicos do ROS.



A screenshot of a terminal window titled "pi@". The window shows a file tree at the top with folders "DynamixelSDK-3.5.", "dynamixel\_tutorials", and "config". Below the tree is a menu bar with "Arquivo", "Editar", "Abas", and "Ajuda". The main area of the terminal displays two sets of sensor data for two dynamixels. The first set (id: 1) has a timestamp of 1565647017.42, goal of 138, position of 3535, error of 3397, speed of 0, load of 0.0, voltage of 11.8, temperature of 37, and is not moving. The second set (id: 2) has a timestamp of 1565647017.43, goal of 1989, position of 1991, error of 2, speed of 0, load of 0.0, voltage of 11.8, temperature of 32, and is not moving.

```
timestamp: 1565647017.42
id: 1
goal: 138
position: 3535
error: 3397
speed: 0
load: 0.0
voltage: 11.8
temperature: 37
moving: False

timestamp: 1565647017.43
id: 2
goal: 1989
position: 1991
error: 2
speed: 0
load: 0.0
voltage: 11.8
temperature: 32
moving: False
```

Figura 4.21: Conexão para os dynamixels

Fonte: Autores, 2019

### 4.3.3 Material Escrito

De forma a melhor organizar a elaboração do conteúdo dos tutoriais, uma divisão dos mesmos foi feita de acordo com o assunto abordado, ocasionando assim uma menor abrangência de assuntos a serem pesquisados, de conteúdos a serem concentrados e de novas interpretações a serem elaboradas.

A primeira sessão dos tutoriais conta com os tutoriais de conceitos básicos, e seguiu o processo de elaboração como detalhado a seguir.

Para contextualizar o estudante sobre o que será aprendido no decorrer do kit foi feita uma breve introdução sobre a história dos robôs, de como surgiu a palavra robô até a construção do primeiro sistema robótico, o UNIMATE. Além desta introdução também foi introduzido, de forma simplificada, o funcionamento de um sistema robótico.

Antes do estudante se aprofundar nos estudos da robótica, deverá ter noções básicas acerca dos conceitos a ser apresentados no decorrer do kit. Para isto, foram apresentados os conceitos superficiais da robótica atual: percepção, visão computacional e navegação e mapeamento. Desta forma, já estará familiarizado com os conceitos quando forem aprofundados.

Um outro conceito básico que o estudante deve assimilar é o conceito de algoritmo e programação. Pois a comunicação entre os computadores e os seres humanos se dá através de linguagens de programação, que se utilizam do conceito de algoritmo para desenvolver suas lógicas. Já os robôs são mecanismos gerenciados por sistemas computacionais para resolução de problemas - auxiliam os seres humanos em tarefas complexas ou repetitivas. Portanto é essencial que o aluno desenvolva conhecimentos sobre algoritmo para que assim seja possível alcançar, através dos algoritmos, o desenvolvimento de comandos que o robô executará.

Após essa parte, deu-se início a confecção dos tutoriais sobre conceitos técnicos que o aluno deverá aprender. O primeiro passo, respeito a modularização proposta, foi falar sobre atuação.

Para que o estudante possa compreender de uma forma mais aprofundada o que está fazendo, antes de começar a mexer com os Dynamixels, uma pequena introdução a atuação foi elaborada.

Essa Introdução trata de uma forma simplificada do conceito de atuadores, de tipos de atuadores, de conversão de energia, e apresenta exemplos cotidianos de atuadores explicando seu funcionamento e aprofundando um pouco mais os conceitos de conversão de energia. ([LEARNBOTICS, 2019d](#))

Após ter tido contato com o conceito de atuadores, o estudante irá encontrar também um tutorial que faz uma introdução aos servo-motores inteligentes Dynamixel<sup>TM</sup>.

Neste tutorial são apresentados os servo-motores inteligentes, suas diferenças para servo-motores comuns, suas vantagens sobre os comuns, qual o papel destes servo-motores no robô e no kit físico e mais precisamente porquê escolhemos utilizar os Dynamixels, e não servo-motores comuns. ([LEARNBOTICS, 2019a](#))

Após ter sido apresentado aos dynamixels e ter tido condições de ligá-los, o próximo passo para começar a utilizá-los depende antes dos conceitos e da utilização do framework ROS.

Tendo em vista a ídeia de apresentar ao estudante ferramentas que são de fato utilizadas por profissionais da área, buscamos realizar um material completo sobre as partes iniciais de utilização do framework ROS.

Devido ao nível de conteúdo que é abordado nos tutoriais nativos do ROS, foi feita uma análise de relevância dos conteúdos e uma reescrita completa do conteúdo abordado, trazendo novas abordagens para passar esse conhecimento para o estudante.

Este tutorial foi dividido em quatro partes, sendo elas, em ordem:

- Introdução: O que é o ROS e como funciona;
- Conceitos Básicos: Apresentação de terminologia e conceitos base utilizados pela comunidade do ROS.
- Entendendo como Funciona o ROS: Apresentação de conteúdo novo que foi elaborado com base em analogias para facilitar o entendimento do estudante sobre a ferramenta.
- Tutoriais do ROS: Os Tutoriais de fato, onde o aluno irá aprender a configurar e utilizar o ROS.

A parte quatro, ou parte dos tutoriais de fato, aborda todos os conceitos de nível iniciante apresentados nos tutoriais oficiais do ROS. Porém estes conceitos foram demonstrados de forma mais simplificada, com linguagem mais simples e de forma acompanhada passo a passo para uma melhor assimilação do estudante.

Todos os tutoriais foram traduzidos do inglês para o português, visando assim facilitar o acesso à uma amostragem maior de estudantes. ([LEARNBOTICS, 2019c](#))

Após ter obtido o conhecimento básico sobre o framework ROS em associação com o que foi passado nos tutoriais sobre os servo-motores a sequência foi de apresentar os tutoriais sobre os scripts de cinemática utilizados.

Nesta parte dos tutoriais o estudante terá acesso ao programa que fará com que o seu robô ande. Além disso será ensinado também como o estudante deve proceder para que transforme seu código em um código executável e para rodá-lo.

De forma a estimular o estudante, uma análise mais minuciosa do código, com comentários parte a parte também foi feita. A partir da explicação do que os comandos

do programa fazem o estudante terá condições de alterá-lo para concluir etapas e descobrir coisas por si só.

Para finalizar, o tutorial apresenta um desafio para que o estudante de fato assimile o que lhe está sendo proposto, alterando o código e vendo na prática o que isso ocasiona. ([LEARNBOTICS, 2019b](#))

Após concluída toda a seção de movimentação do robô, passou-se a elaborar a sessão que trata dos conceitos e utilização da visão computacional.

Para o ensino de visão computacional apresentado na wiki do Github do Learnbotics ([LEARNBOTICS, 2019f](#)), foi-se pensado na explanação dos conceitos de forma branda e intuitiva, já que, conceitos que se relacionam com visão computacional podem tornar-se um tanto rebuscados quando buscados na bibliografia. Os principais conceitos abordados foram:

- O uso da visão computacional;
- Características (*Features*)
- Cantos, arestas e linhas (*Corners, edges e lines*)
- OpenCV
- Segmentação e identificação de cores
- Marcos fiduciais
- Pose
- Identificação de arucos

Os conceitos apresentados são suficientes para o objetivo do trabalho. Após a construção destes textos na wiki ([LEARNBOTICS, 2019e](#)), a equipe disponibilizou para uma pequena amostragem de pessoas a fim de receber feedbacks. Dentro desta amostra, haviam pessoas que trabalhavam com o assunto, que conheciam o uso e que não havia conhecimento prévio de visão computacional. Os principais tópicos abordados nos feedbacks foram:

- Boa didática;
- Maior número de exemplos nos conteúdos abordados
- Conceitos apresentados de forma correta e correlacionando com exemplos do cotidiano

- Pequenos erros de digitação e ortografia

Os feedbacks, em resumo, foram positivos dos três grupos, tendo como consequência o auxílio a equipe a alcançar de forma satisfatória o intuito de explanar satisfatoriamente a área da visão computacional.

Como previamente abordado neste trabalho, um dos métodos de ensino proposto pela equipe foi a apresentação de desafios. Nos tutoriais foram apresentados os conceitos atrelados à desafios. Estes desafios tinham como intuito a validação dos temas abordados. Um exemplo de desafio proposto, foi o de segmentação de cores, no qual o usuário deve segmentar a cor azul. Para que o aluno conseguisse ter êxito neste desafio, a equipe apresentou um algoritmo de segmentação da cor vermelha, previamente testado. O resultado pode ser observado na figura 4.22 abaixo:

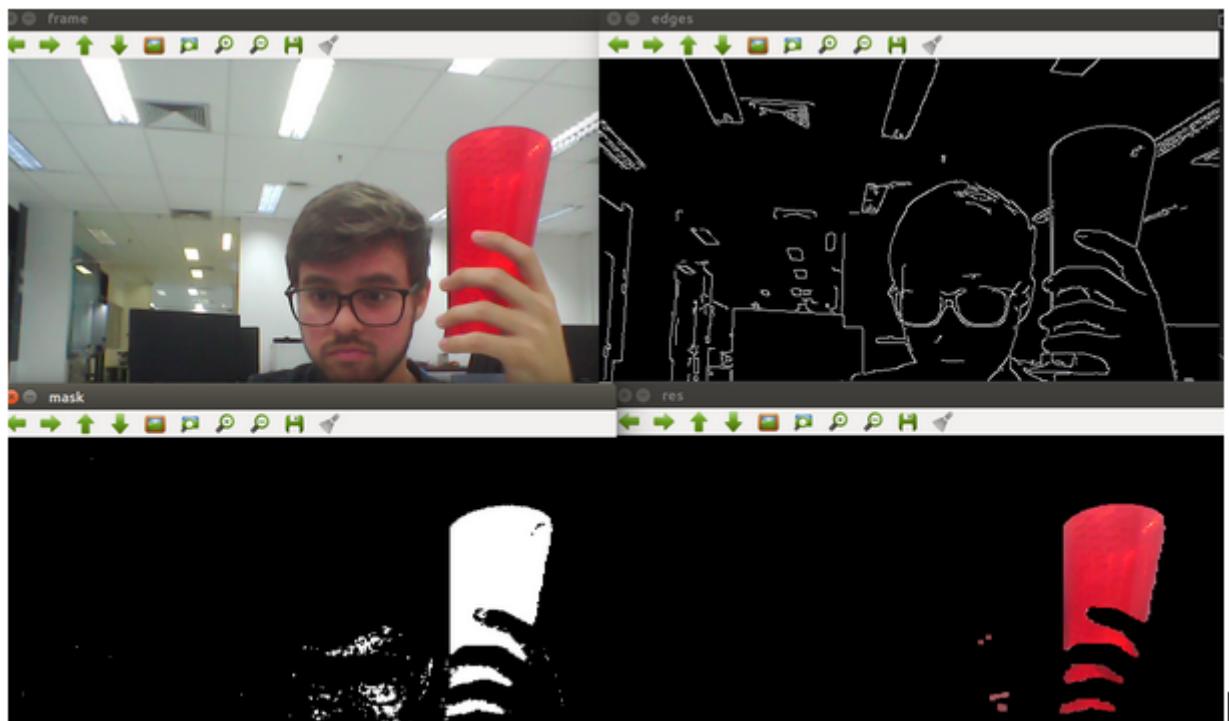


Figura 4.22: Exemplo de segmentação de cores

Fonte: Autores, 2019

O último passo foi a elaboração de um tutorial de montagem do robô, uma vez que não é interessante apenas fornecer as peças para o aluno e sua ordem de montagem, mas também fornecer uma linha de raciocínio para que o mesmo não se frustrre diante da montagem do robô. O tutorial conta ainda com a sugestão das ferramentas que devem ser utilizadas juntamente com as peças específicas.

#### 4.3.4 Desafios

Ao longo do desenvolvimento dos tutoriais, efetuou-se esforços para pensar e configurar desafios que serviriam como marcos para cada etapa em que o estudante conseguisse avançar.

Nos tutorias de cinemática por exemplo, após o estudante ter contato com os scripts que fazem seus motores andarem para frente, foi proposto como desafio que o estudante fizesse com que os motores fizessem o robô dar uma meia-volta. Esses desafios foram pensados de uma forma que caso o estudante tenha obtido um certo nível básico de proficiência a partir das análises dos programas modelos, ele conseguiria realizá-los com uma simples mudança no código.

Um outro exemplo desses desafios é o desafio contido na parte introdutória de visão computacional. Foi apresentado para o aluno como seria um script para isolamento e segmentação da cor vermelha em uma imagem [4.22](#), e o desafio proposto foi que ele implementasse o mesmo para a cor azul.

O único desafio que teve um tratamento separado, com uma página própria e explicações próprias foi o desafio final, que devido ao fato de englobar todos os conceitos abordados anteriormente, apresenta uma maior complexidade.

Essa complexidade vai além dos conceitos apresentados, mas também por todos os hardwares estarem em funcionamento ao mesmo tempo. Por isso, para o teste deste algoritmo, foi proposto a seguinte metodologia:

1. O primeiro teste foi feito apenas em nível de software, a fim de validar a lógica e encontrar possíveis erros;
2. A próxima etapa foi testar os dynamixels e a webcam utilizando um computador como “cérebro” .
3. A última etapa foi utilizar todos os componentes: Raspberry, dynamixels, webcam, bateria e conversores DCDC. A figura [4.23](#) apresenta como o teste foi feito.



Figura 4.23: Mockup de integração

Fonte: Autores, 2019

A figura 4.24 apresenta como os componentes do kit se comunicam entre si. Inicialmente, a câmera “enxerga” o aruco e o OpenCV segmenta e identifica o aruco. Após a identificação, o algoritmo envia uma mensagem para o ROS com a informação que ali existe um aruco de ID x. Caso o ID do aruco seja o estipulado para que o robô tenha que ir para frente, o ROS envia uma mensagem para o servo-motor Dynamixel para ir para tal posição. Por sua vez, o dynamixel assim que chegar para a posição determinada, enviará uma mensagem para o ROS com a informação da posição.

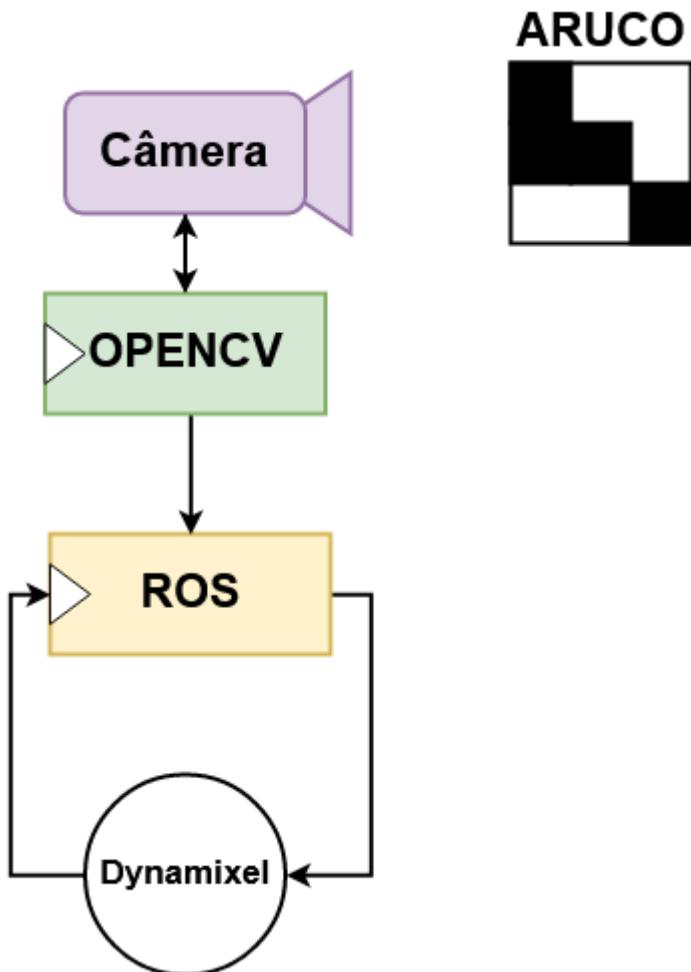


Figura 4.24: Diagrama do desafio final

Fonte: Autores, 2019

O que é interessante descrever sobre este último desafio é que a partir da apresentação e o comprimento dele, o aluno tem capacidade suficiente para começar a aprender e assimilar novos conteúdos da área da robótica por si só. Isso pode ser afirmado pois por trás do problema proposto há diversos conceitos, que se assimilados, propicia ao estudante conteúdo suficiente para adentrar outras áreas da robótica.

---

## Conclusão

---

”Só sei que nada sei.”

(Sócrates)

Este trabalho apresentou as prerrogativas e decisões envolvidas na proposição de uma nova abordagem para o ensino da robótica nos níveis não graduados, tal como as metodologias utilizadas, as soluções desenvolvidas e os resultados alcançados durante a execução deste projeto.

Pode-se concluir que o projeto foi finalizado apresentando todos os entregáveis discutidos com o cliente, uma vez que todos os assuntos foram abordados e dispostos no github, além de todas as ferramentas requisitadas terem sido incluídas nas soluções apresentadas.

O conteúdo teórico foi escrito em linguagem acessível, e disposto em formato de tutoriais e apostilas disponíveis em domínio virtual. O foco destes tutoriais é apresentar conceitos de uma forma simples, direta e utilizando uma linguagem informal, porém apresentando termos técnicos utilizados no mundo da robótica. Ademais, todos os tutoriais estarão disponíveis no Github, em formato de wiki, em repositório aberto, escritos em português, de forma a promover a acessibilidade do conteúdo à comunidades lusófonas em geral. Vale salientar que atualmente há 24 páginas no github do Learnbotics, apresentando conteúdos diversos como: Visão computacional, cinematática, o que é a robótica etc. Nas páginas, pode-se encontrar 10 programas modelos que ajudarão aos futuros alunos a assimilarem melhor o conteúdo.

O kit físico foi dividido em módulos complementares de montagem, resultando em um robô com movimentação diferencial. Por se tratar de um robô simples, que foi pensado para ser fabricado através de manufatura aditiva, apresenta fácil montagem englobando todos os componentes do kit físico e tangenciando conceitos de poka yoke, a fim de proporcionar ao usuário um aprendizado mais amigável. Este kit se torna um diferencial quando estimula o aluno a buscar uma maior interação com a robótica ao passo em que exercita a sua criatividade através de objetos físicos que interagem com conceitos abstratos.

Esta modularização será atrelada à progressão do aluno. Na primeira parte ele terá acesso, principalmente ao computador, aprendendo seu funcionamento básico. Na segunda parte terá acesso aos servomotores e aprenderá a conectá-los ao computador e a enviar

comandos a partir de scripts. O próximo passo será adicionar a webcam e aprender a utilizar ferramentas de visão computacional. O estudante continuará tendo acesso a módulos complementares passo a passo a medida que vai avançando nos conceitos, até que chegue ao desafio final que irá integrar todos os passos apresentados anteriormente.

Ao combinar metodologias de ensino diferentes, focando principalmente na parte prática do aprendizado e visando dar forma e visualização a conceitos muitas vezes estreitamente abstratos, essa nova abordagem de aprendizado apresenta características apelativas à um público mais jovem. Algumas dessas características que podem ser identificadas são a utilização de uma linguagem mais acessível, e um estímulo à criatividade e ao desenvolvimento de habilidades práticas.

Ao aplicar ferramentas que são utilizadas por profissionais da área, como por exemplo um sistema operacional baseado em Linux, o framework ROS e plataforma de versionamento como o Github, o estudante terá desde cedo contato com conceitos e habilidades requisitadas pelas funções desempenhadas por um profissional da área de robótica.

---

## Referências Bibliográficas

---

LEARNBOTICS. *Dynamixels*. 2019. Disponível em: [⟨https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Dynamixels-%232⟩](https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Dynamixels-%232). 4.3.3

LEARNBOTICS. *Mãos a Obra!* 2019. Disponível em: [⟨https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Dynamixels-%233⟩](https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Dynamixels-%233). 4.3.3

LEARNBOTICS. *Uma Conversa Sobre o ROS*. 2019. Disponível em: [⟨https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Uma-Conversa-Sobre-o-ROS⟩](https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Uma-Conversa-Sobre-o-ROS). 4.3.3

LEARNBOTICS. *Uma Rápida Conversa Sobre Atuadores*. 2019. Disponível em: [⟨https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Dynamixels-%231⟩](https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Dynamixels-%231). 4.3.3

LEARNBOTICS. *Uma rápida conversa sobre visão computacional*. 2019. Disponível em: [⟨https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Vis%C3%A3o-computacional-%231#uma-r%C3%A1pida-conversa-sobre-vis%C3%A3o-computacional⟩](https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki/Vis%C3%A3o-computacional-%231#uma-r%C3%A1pida-conversa-sobre-vis%C3%A3o-computacional). 4.3.3

LEARNBOTICS. *Wiki do Github*. 2019. Disponível em: [⟨https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki⟩](https://github.com/leo5on/Learnbotics/wiki). 4.3.2.3, 4.3.3

RASBERRY. *Site RaspberryPi*. 2019. Disponível em: [⟨https://www.raspberrypi.org/⟩](https://www.raspberrypi.org/). 4.3.2