

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO
“ADIB MOISÉS DIB”**

**MARCOS BONIFÁCIO ALEXANDRE PEREIRA
MICHAEL TEIXEIRA DA SILVA
PEDRO HENRIQUE ZADRA DE JESUS**

ROBÔ PARA INSPEÇÃO E MONITORAMENTO TELEGUIADO (ROBIMOT)

São Bernardo do Campo - SP
Dezembro/2016

**MARCOS BONIFÁCIO ALEXANDRE PEREIRA
MICHAEL TEIXEIRA DA SILVA
PEDRO HENRIQUE ZADRA DE JESUS**

ROBÔ PARA INSPEÇÃO E MONITORAMENTO TELEGUIADO (ROBIMOT)

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Bernardo do Campo “Adib Moisés
Dib” como requisito parcial para a
obtenção do título de Tecnólogo em
Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Batista de
Sousa

São Bernardo do Campo - SP
Dezembro/2016

**MARCOS BONIFÁCIO ALEXANDRE PEREIRA
MICHAEL TEIXEIRA DA SILVA
PEDRO HENRIQUE ZADRA DE JESUS**

ROBÔ PARA INSPEÇÃO E MONITORAMENTO TELEGUIADO (ROBIMOT)

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia
de São Bernardo do Campo “Adib Moisés
Dib” como requisito parcial para a
obtenção do título de Tecnólogo em
Automação Industrial.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em:
26 / 11 / 2016

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Wellington Batista de Sousa, FATEC SBC - Orientador

Prof. Me. Odair Furlanetto, FATEC SBC - Avaliador

Prof. Esp. Antônio Hernandes Gonçalves, FATEC SBC - Avaliador

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais e esposas, e a todos os professores, especialmente aqueles que nos ajudaram e aos colegas que de alguma forma também ajudaram.

Agradecemos ao Prof. Dr. Wellington Batista de Sousa pelo auxílio na orientação durante a elaboração deste trabalho.

RESUMO

O emprego de robôs móveis em ações que substituam o homem vem ganhando uma proporção cada vez maior em diversos segmentos, dentre eles, aquele onde o homem é exposto a algum perigo. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo integrar diferentes tecnologias na construção de um robô móvel, capaz de auxiliar um operador humano em ambientes remotos, em atividades de monitoramento e ações de exploração. Para isso, foi desenvolvido um protótipo controlado remotamente por meio de um smartphone alocado em um óculos de realidade aumentada do tipo cardboard, capaz de oferecer uma experiência imersiva, sendo que tal conjunto também é responsável pela movimentação de um sistema de câmera. Um joystick é responsável pela movimentação do robô e solicitação de informações. Tal protótipo permite a visualização das imagens e dados obtidos a partir dos sensores embarcados. A estrutura do robô móvel está centrada no uso do Arduino e do Raspberry pi, procurando integrá-los em um único *hardware* e *software*. Com isso, espera-se conseguir um robô móvel que empregue elementos de robótica e realidade aumentada na execução de tarefas que possam trazer algum tipo de risco ao homem.

Palavras-chave: Arduino. Exploração. Imersão. Raspberry pi. Robótica.

ABSTRACT

The use of mobile robots in actions that replace the man is gaining an increasing proportion in several segments, among them, the one where the man is exposed to some hazard. Therefore, this term paper aims to integrate different technologies in the construction of a mobile robot capable of helping a human operator in remote environments, in activities like monitoring and exploration. To do this, we developed a prototype remotely controlled through a smartphone allocated in an augmented reality glass cardboard type, able to provide an immersive experience, and this set is also responsible for the movement of a camera system. A joystick is responsible for moving the robot and for requiring information. This prototype allows the viewing of images and data from the embedded sensors. The structure of the mobile robot is centered on the use of Arduino and Raspberry pi, seeking to integrate in a single hardware and software. Thus, it is expected to create a robot that uses robotic elements and augmented reality to perform tasks that bring some sort of risk to man.

Key words: Arduino. Exploration. Immersion. Raspberry pi. Robotics.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
1.1 A história da robótica.....	14
1.1.1 O conceito de robôs manipuladores	16
1.1.2 O conceito de robôs móveis	18
1.1.3 Tipos de controle	18
1.1.3.1 Sistemas não autônomos	19
1.1.3.2 Sistemas semi autônomos.....	19
1.1.3.3 Sistemas autônomos	20
1.2 Comparações entre robôs móveis e robôs manipuladores.....	21
1.3 Tipos de robôs e suas aplicações	23
1.3.1 Robôs terrestres e suas aplicações.....	24
1.3.2 Robôs aquáticos e suas aplicações	26
1.3.3 Robôs aéreos e suas aplicações.....	29
1.3.4 Robôs espaciais e suas aplicações.....	31
1.4 Morfologia dos robôs móveis.....	33
1.4.1 Principais ambientes para aplicação de robôs móveis	34
1.4.2 Técnicas de locomoção	36
1.4.3 Tração e direção por meio de pernas.....	36
1.4.4 Tração e direção por meio de rodas.....	37
1.4.4.1 Disposição das rodas	38
1.4.4.2 Sistema omnidirecional	39
1.4.4.3 Sistema auto-equilibrante.....	40
1.4.4.4 Sistema uniclo.....	40
1.4.4.5 Triciclo	41
1.4.4.6 Quadriciclo.....	41
1.5 Sistemas de sensoriamento de um robô móvel	42
1.5.1 Sensores e transdutores	43
1.5.2 Conversores D/A ou A/D	44

1.5.2.1	Saída digital ou saída analógica de um sensor	45
1.5.3	Característica gerais de sensores e trasdutores	46
1.5.4	Tipos de sensores	47
1.5.4.1	Telêmetro ultrassônico (sonar)	47
1.5.4.2	Sensor de pressão e temperatura	48
1.6	Realidade virtual e aumentada	49
1.6.1	Realidade virtual imersiva e não imersiva	50
1.6.2	Realidade aumentada	53
1.6.2.1	Tipos de componentes do sistema de realidade aumentada	54
1.6.3	Sistemas de tele operação em robótica	55
1.6.4	Sistemas de tele presença em robótica.....	58
1.7	Sistemas embarcados.....	61
1.7.1	Processador e controlador.....	61
1.7.2	Memória.....	62
1.7.3	Entradas e saídas.....	62
1.7.4	Placas de desenvolvimento de sistemas embarcados	62
1.7.4.1	Arduino	63
1.7.4.2	Raspberry Pi.....	63
1.8	Tecnologias de comunicação sem fio em robótica.....	64
1.8.1	Tecnologia Bluetooth	66
1.8.1.1	Funcionamento.....	66
2	METODOLOGIA	68
2.1	Elaboração do trabalho científico e conceitos	68
2.2	Tema e justificativa do projeto	68
2.3	Viabilidade do projeto	71
2.4	Cronogramas de desenvolvimento do projeto	72
2.5	Esboço do projeto.....	74
3	CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO	76
3.1	Projeto mecânico e construção	76
3.2	Montagem dos subsistemas eletrônicos.....	81
3.3	Desenvolvimento de <i>softwares</i>	93
3.4	Testes e resultados obtidos.....	100

CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
-----------------------------------	------------

REFERÊNCIAS.....	112
-------------------------	------------

INTRODUÇÃO

A automação presente nos processos de fabricação acabou levantando discussões acerca da possibilidade de as máquinas retirarem do homem a função de ator principal nas relações de trabalho, porém a história tem mostrado que os avanços científicos que impulsionaram o desenvolvimento industrial, possibilitaram o surgimento de novas atividades nos diversos ramos do conhecimento, motivando o surgimento de novas profissões.

Na área da automação, por exemplo, existem diversos ramos tecnológicos como a eletroeletrônica, hidráulica e pneumática, comandos elétricos, programação, entre outras, que são combinados de maneira interdisciplinar para o desenvolvimento de diversas tecnologias, nas quais se incluem a robótica industrial, sendo esse um fator bem relevante para a eficiência nos diversos processos produtivos.

Historicamente, os primeiros robôs criados eram capazes de executar sequências de comandos codificados mecanicamente. Inicialmente, esses autômatos reproduziam movimentos ou funções de alguns animais e imitavam movimentos humanos, com o objetivo de entreter as pessoas em certos eventos.

Com o tempo, o advento da eletrônica permitiu a criação de autômatos mais sofisticados, capazes de reagir a certos estímulos externos, como por exemplo, comandos sonoros, luz, entre outros. Isso se tornou possível graças à tecnologia dos sensores, componentes essenciais de um sistema de controle automático.

A revolução da automação e, conseqüentemente, da robótica, se estabeleceu definitivamente com o advento das máquinas controladas por computador na metade do século 20. Nesse período, a automação aliada à microeletrônica acabou trazendo grande desenvolvimento à manufatura industrial.

Com isso, instituiu-se um novo paradigma, ou seja, o conceito de automação flexível para atender as novas exigências de mercado.

Na indústria atual, pode-se dizer que os dois tipos mais comuns de tecnologia empregados são os braços manipuladores e os veículos automatizados *AGV (automated guided vehicles)*. Considera-se um manipulador industrial um mecanismo reprogramável e multifuncional designado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais. A ênfase do projeto do manipulador industrial está centrada na possibilidade de programá-lo para realizar uma tarefa repetidamente e com alto grau de precisão e velocidade, garantindo ao processo flexibilidade e agilidade, substituindo ou auxiliando o ser humano nas atividades maçantes e insalubres.

Todavia, apesar de todas essas vantagens, os robôs industriais do tipo manipulador são deficientes em mobilidade. Um manipulador possui uma abrangência de movimentos limitada ao seu espaço de trabalho, ou seja, não podem se movimentar na extensão da planta industrial onde se localizam. Porém, em contrapartida, robôs móveis são capazes de se locomover através de um espaço mais amplo, desde uma planta industrial até ambientes adversos. Contudo, para se locomoverem em certos locais, com certo grau de autonomia, é necessário um sistema de sensoriamento integrado ao planejamento de trajetória.

A implementação dos chamados robôs móveis abrange um vasto campo de aplicações. Esses robôs permitem localizar e desativar artefatos explosivos, patrulhar áreas determinadas, usando técnicas de telemetria e controle à distância, realizar intervenções militares, exploração submarina ou espacial, inspecionar a integridade de tubulações em instalações perigosas como locais que possuam calor excessivo, gases tóxicos ou radioatividade. Tais aplicações exigem uma perfeita integração entre sensores, atuadores e *softwares*, de maneira a permitir uma operação segura através de comandos à distância. A robustez do sistema deve contribuir para que o propósito do uso desses robôs seja alcançado de maneira a trazer informações confiáveis à missão.

Diante disso, esse trabalho tem como objetivo pesquisar e aplicar conceitos de robótica móvel a uma situação peculiar. A proposta aborda o projeto e construção de uma unidade robótica capaz de auxiliar um operador humano em ambientes remotos com atividades de inspeção, monitoramento e até mesmo exploração.

O mecanismo terá como sistema supervisorio um dispositivo de imersão (óculos de realidade aumentada - cardboard¹), elemento este responsável pela movimentação do sistema de câmera e de interação com controles do tipo joystick para ações de movimento. O operador terá disponibilidade em tempo real de imagens e informações dos sensores montados na plataforma, capazes de monitorar temperatura, pressão atmosférica, podendo receber informações a respeito da própria máquina, dentre elas, a autonomia do sistema. Logo, considerou-se investigar os benefícios do uso de recentes técnicas de controle por imersão, sendo esperado inicialmente um efetivo desempenho das funções, possibilitando uma maneira para a análise dos benefícios ao se implantar recursos de imersão e telepresença em um robô móvel.

Para isso, o trabalho é organizado da seguinte maneira:

- **Introdução:** aborda de forma geral o tema do trabalho, procurando contextualizá-lo, destacando também sua relevância para a área da automação industrial;
- **Fundamentação teórica:** parte do trabalho onde se encontram todas as pesquisas que dão embasamento ao tema, trazendo elementos suficientes para a construção do protótipo (Unidade Robótica para inspeção e monitoramento Teleguiada), além de um breve histórico sobre a robótica móvel, os primórdios do seu desenvolvimento, as variadas aplicações de robôs móveis, nos diversos ambientes, perspectivas de desenvolvimentos futuros, princípios de funcionamento e, finalmente, a robótica móvel aplicada na situação problema em questão;

¹ Koller (2014) aponta que cardboard é um dispositivo ocular que utiliza smartphones para interações com ambientes virtuais. Consiste de um invólucro com suporte para o celular, lentes especiais e um simulador de atuação do operador (simulando um toque na tela).

- **Desenvolvimento do projeto:** parte do trabalho onde é apresentada a metodologia empregada em seu desenvolvimento. Nela são demonstradas as técnicas e soluções desenvolvidas para a concepção do robô. Trata-se de uma listagem contendo todas as etapas seguidas no desenvolvimento do protótipo. Nesta parte é apresentada a construção do dispositivo, atentando para as etapas de sua construção, como a estrutura mecânica (chassi e sistemas de acionamentos), eletrônica embarcada (Sistemas de alimentação, circuitos de potência, placas de controle e processamento, circuitos de comunicação e aquisição de dados), o conjunto de *softwares* desenvolvidos, os testes intermediários e finais.
- Finalmente, nas **Considerações Finais** são verificados se os objetivos traçados inicialmente foram realmente alcançados, bem como suas justificativas. Também são acrescentadas propostas de melhorias futuras e outros estudos que o mesmo tema pode ainda propiciar.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, as principais teorias e pesquisas de autores renomados da área são apresentadas, de forma fornecer um corpo de conhecimentos que permita o desenvolvimento do projeto intitulado como Robô para Inspeção e Monitoramento Teleguiado (ROBIMOT).

1.1 A história da robótica

Segundo Wise (2004), o termo “robô”, derivada de uma palavra tcheca “*robota*” (cujo significado é “trabalho forçado” ou “escravo”), foi primeiramente usada por Karel Capek em 1921, em sua obra de ficção *Rossum’s Universal Robots*². Algo parecido com o conceito de robô interpretado por Capek em seu trabalho, era o *golem*, uma estátua de argila que ganhou vida a partir de um sopro místico, encontrado em lendas hebraicas. No mesmo segmento de algo inanimado que ganha vida, também cita-se um clássico conhecido por todos, o monstro criado pelo Dr. Frankenstein, um ser “montado” de pedaços de cadáveres, que ganha vida. Entretanto, o interesse histórico não é em ficções, e sim em robôs que desenvolvem suas tarefas automaticamente ou com um mínimo de intervenção humana. Uma máquina inteligente.

Segundo Ottoni (2010), foi somente no início do século 20 que a ideia de construção de robôs começou a crescer, diante, principalmente da necessidade do aumento de produtividade e melhoria de qualidade em produtos e serviços. Os primeiros robôs reais surgiram somente na década de 60, como consequência do desenvolvimento dos transistores e dos circuitos integrados.

Na década de 1980, com o avanço das linguagens de programação e com o uso de microprocessadores, os braços industriais³ (ou manipuladores robóticos)

² Peça teatral que abordava a história de um homem que criava máquinas com forma e semelhanças humanas, para que servissem com escravos. Ele as designava de *robots*.

³ São manipuladores que se assemelham a um braço humano por geralmente possuir juntas. Operam frequentemente em tarefas repetitivas como a alimentação de máquinas pertencentes a uma célula de fabricação de um produto.

aumentaram sua capacidade de desempenho, gerando uma maior aplicabilidade da máquina na indústria. Tais avanços foram obtidos, em parte, graças aos grandes investimentos das empresas automobilísticas (SOUZA, 2005).

Entretanto, o robô fixo possuía uma deficiência em relação à mobilidade, pois operava apenas em seu volume de trabalho, que é definido pela máxima extensão de suas articulações. Em princípio foi desenvolvido um veículo móvel que percorria trilhos, de forma a proporcionar um transporte mais eficaz de materiais e/ou produtos entre os diferentes setores de produção. Após uma melhoria em relação ao veículo anterior, surgiu o AGV (*Automated Guided Vehicle*⁴), baseando-se na substituição dos trilhos como referência guia na navegação pelos cabos enterrados, reduzindo então, custos de instalação.

A possibilidade de alteração do ambiente onde o AGV atuava permitia que o mesmo possuísse o mínimo de capacidades sensoriais e uma programação básica. Assim, por possuir uma programação básica, após uma sequência de determinadas ações, o robô presumia que havia alcançado seu objetivo, porém, qualquer mudança inesperada na rota por onde o robô passasse, deixava-o impossibilitado de executar ações alternativas como retorno ao local de partida ou até mesmo desvio de algum obstáculo projetado em sua rota. Atualmente, os AGV's chegam a executar logísticas de transportes inteiras automaticamente.

Com o intuito de se obter veículos de aplicações gerais que possuíssem uma mobilidade semelhante ou maior que os AGV's, que atendessem ambientes fora do âmbito industrial onde existe dificuldade de alteração ou mapeamento do ambiente, foram desenvolvidos nos anos 90 os robôs móveis (SECCHI, 2008).

“Uma definição correta de robô móvel propõe um conhecimento incerto, mediante a interpretação da informação fornecida através de seus sensores e do estado atual do veículo” (SECCHI, 2008, p. 02, grifo nosso).

⁴ Veículos Guiados Automaticamente.

A concepção mecânica, sensorial e racional dos robôs móveis não foi exata, já que ao longo da história os desenvolvimentos foram executados sem finalidades específicas, possibilitando um avanço nas tecnologias e aplicações dos robôs móveis⁵ (SECCHI, 2008).

De acordo com Ottoni (2010, p. 1) a robótica “[...] atravessa uma época de contínuo crescimento que permitirá, em um curto espaço de tempo, o desenvolvimento de robôs inteligentes fazendo assim a ficção do homem antigo se tornar a realidade do homem atual”.

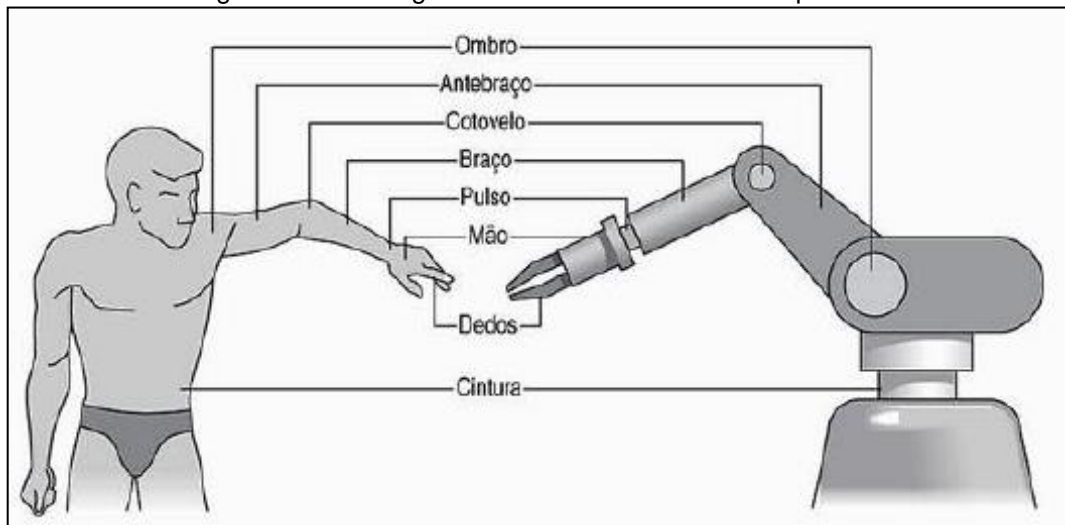
Segundo a RIA (*Robotic Industries Association* – Associação de Indústrias de Robótica), “Robô é um manipulador reprogramável e multi-funcional projectado para mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos variáveis programados para desempenhar uma variedade de tarefas”.

1.1.1 O conceito de robôs manipuladores

Segundo Rosário (2005), um robô do tipo manipulador (braço mecânico) é um mecanismo motorizado e programável, que possui características antropomórficas, ou seja, que possui certo grau de semelhança ao movimento humano, conforme apresentado na Figura 1.1.

⁵ Existem registros de um robô humanóide de Leonardo Da Vinci, datado do século XV, bem como, robôs mais atuais como, por exemplo, a “*Machina Speculatrix*”(se trata de um pequeno robô triciclo, com um conjunto de sensores) de W. Walter Grey nos anos 50 e “*Shakey*”(um robô de grande porte que possuía além de um sistema de sensores, inteligência artificial) do Instituto de pesquisa de Stanford (*Stanford Research Institute*) nos anos 70.

Figura 1.1 – Analogia entre o ser humano e o manipulador



Fonte: ROSÁRIO, 2005, p.148

O manipulador possui um “cérebro”, que na verdade é um computador que controla todas as ações dele. Uma vez programado o robô pelo ser humano, ou seja, o responsável pela determinação da rota do braço mecânico, o computador grava em sua memória os passos a serem seguidos, como exemplo, sua rota, além dos pontos que deve alcançar no espaço⁶. Quando o programa está em execução, o computador envia sinais para ativação dos motores que movem o braço e a carga que ele está submetido, podendo ser ou não, cargas de elevado peso (levando em consideração também, a carga máxima que o manipulador suporta), bem como ferramentas para certos tipos de aplicações (garra, ventosa, terminal de solda, pistola de pintura, etc.).

Para realizar certas tarefas, os robôs possuem um sistema de sensoramento e, mesmo os modelos de braços mais avançados, possuem limitações, dentre elas, a capacidade de movimento, pois ficam fixos a um local ou possuem espaço restrito de movimentação. Geralmente, seu controle é feito por programação de um computador, que deve possuir as seguintes características: memória para armazenamento dos programas, conexões para controle e entradas e saídas e uma unidade de comunicação controlada por humano (ROSÁRIO, 2005).

⁶ Todo robô manipulador possui limites mecânicos, e quando instalados em plantas industriais, também podem adquirir novos limites, esses relacionados ao seu espaço de trabalho. Portanto o programador deve possuir tal visão, para que o seu programa funcione da maneira mais eficaz.

1.1.2 O conceito de robôs móveis

Segundo Secchi (2008), os robôs móveis são dotados de um sistema que permite sua locomoção com pouca ou nenhuma intervenção humana. São indicados para tarefas de alto risco ao operador ou que não possam ser realizadas devido a fatores de insalubridade. Dentre as tarefas à que podem ser empregados podemos listar alguns exemplos: Manipulação e transportes de artefatos explosivos ou radioativos, transporte de grandes cargas em portos, exploração de ambientes subterrâneos, aquáticos, espacial ou áreas classificadas.

Os robôs móveis, do tipo autônomo, lidam com condições dinâmicas de campo, como orientação, posicionamentos, bem como, trabalham com um processo de realimentação, geralmente são usados em aplicações que necessitam de rápidas tomadas de decisões seguidas de um deslocamento rápido e preciso (dentro do ambiente, nos quais são empregados).

Secchi (2008) também conceitua os robôs que não são totalmente autônomos, cujo operador se coloca numa posição de supervisão, traçando diretivas para que o sistema tome algumas decisões de forma limitada⁷, sendo para isso necessárias informações íntegras dos sensores.

1.1.3 Tipos de controle

De acordo com Jacobo (2001), a robótica sofreu grande contribuição em seu avanço com a Segunda Revolução Industrial, já que Henry Ford implementou um novo tipo estruturação no processo de fabricação chamado linha de montagem, aumentando a produtividade e a relação custo/benefício. Esta atitude contribuiu para que além da área industrial a área científica avançasse em seus estudos de inteligência artificial, controle motor, percepção sensorial e outros.

⁷ Isso ocorre devido à distância entre o operador e a máquina, que provoca um atraso significativo nas comunicações, como por exemplo, explorações interplanetárias.

1.1.3.1 Sistemas não autônomos

Este tipo de sistema faz parte da primeira geração de robôs. São robôs sequenciais projetados para executarem uma sequência operacional pré-estabelecida pelo fabricante, sendo que em alguns casos, esta sequência pode ser reprogramada pelo usuário e em outros não. Um exemplo está ilustrado na Figura 1.2.

Estes robôs possuem as seguintes características:

- necessidade de um ambiente bem estruturado para o funcionamento correto;
- presença de sensores internos;
- dotados de pequenos poderes computacionais, como lógicas sequenciais e interpretações numéricas em movimentos ordenados.

Figura 1.2 – Robô Unimate de 1960



Fonte: www.files.choquetecnologico.webnode.pt/, 2016

1.1.3.2 Sistemas semi autônomos

Estes sistemas fazem parte da segunda geração de robôs. São programáveis por linguagem ou por aprendizagem e reproduzem a sequência memorizada ou podem interagir com a intervenção do usuário. Este tipo de sistema permite que os robôs sejam tanto fixos quanto móveis.

Suas principais características são:

- possuem sensores externos e internos;
- não necessitam de um ambiente bem estruturado para locomoção e;
- podem possuir atuadores elétricos, pneumáticos ou hidráulicos.

Como exemplo deste tipo de sistema é possível citar os manipuladores e veículos teleguiados, Figura 1.3.

Figura 1.3 – Drone - Veículo Teleguiado



Fonte: www.doctordrone.com.br, 2016

1.1.3.3 Sistemas autônomos

São máquinas inteligentes que podem agir e interagir com o ambiente em que estão localizadas sem a ação explícita ou contínua do homem por um longo período, evitando ações ou situações que provoquem algum tipo de dano a pessoas, objetos ou a ele mesmo.

Fazem, geralmente, parte da terceira geração de robôs e, em sua grande parte, são considerados robôs móveis, uma vez que é possível a interação com o ambiente a sua volta. Contudo, para atender a esta classificação um sistema completamente autônomo deve possuir as seguintes características:

- atuadores;
- estratégia de controle (reativo, deliberativo ou híbrido);
- sensores de proximidade;

- sensores de direção;
- sensores proprioceptivos e exteroceptivos e;
- sensores de percepção.

Como exemplos desse sistema são citados os robôs humanoides e robôs exploradores de ambientes, conforme ilustra a Figura 1.4.

Figura 1.4 – Robôs jogadores de futebol (autônomos)



Fonte: www.pedrogarcia.com.br, 2016

Este tipo de sistema é o mais completo até o momento e novas pesquisas não param de ser feitas garantindo o avanço nos protótipos criados, principalmente na área de inteligência artificial com os robôs humanoides.

1.2 Comparações entre robôs móveis e robôs manipuladores

Segundo autores como Osório e Pessin (2008), os robôs e suas correspondentes diferenças se devem a diversos fatores, dentre eles:

- tipos de mobilidade (base fixa, base móvel com restrição ou sem restrição - no caso de robôs móveis);
- tipos de mecanismos de locomoção (pernas, rodas, esteiras, entre outros.);
- locais de atuação (*indoor*⁸ ou *outdoor*⁹ - estruturados¹⁰ ou não);

⁸ Ambientes fechados, internos, por exemplo: uma casa ou uma fábrica.

⁹ Ambientes abertos, externos, por exemplo: um campo ou uma floresta.

- tipos de autonomia (controle e ações pré-definidas, tele operados – ações por telecomando; semiautônomos – ações por telecomando e ações independentes; e autônomo – sem intervenção humana durante a operação).

Encontramos ainda autores como Passold (2004), que chamam a atenção para a questão dos manipuladores, pois estes possuem movimentos conhecidos, espaços conhecidos e possuem um ambiente de trabalho limitado.

Já em relação aos robôs móveis, eles podem perder suas orientações facilmente (apesar da sua grande capacidade de mobilidade), devido a problemas relacionados a derrapagens, patinação, etc. além da existência de problemas de incertezas¹¹.

De acordo com Souza (2005) e com a empresa Roboeduc (2009), os robôs de base fixa são geralmente os manipuladores que encontramos nas indústrias (cerca de 90% dos robôs atuais, são do tipo manipulador), sendo muito comum a sua existência na indústria automotiva, principalmente pelo fato de que esse tipo de robô é usado em diversas aplicações na construção e montagem de um automóvel. Apenas com uma alteração em seu elemento terminal é que se pode aplicar o manipulador de diversas maneiras. Segundo esse autor, metade dos manipuladores existentes no mundo, estão empregados em indústrias automotivas, ou seja, estão empregados em ambientes fechados e conhecidos.

Apesar dos manipuladores dominarem o segmento industrial, robôs móveis também são encontrados na indústria, porém suas funções são complementares às funções dos robôs fixos. São usados para transportes e para armazenamento de materiais dentro da fábrica. Ao contrário dos manipuladores que têm base fixa, os AGV's se deslocam pela fábrica por meio de rodas e possuem certo grau de autonomia, sendo diferenciados por suas aplicações, afinal, alguns AGV's apenas seguem linhas ao longo da fábrica, enquanto outros já possuem um sistema de

¹⁰ "Ambientes estruturados: é o ambiente onde os parâmetros necessários à operacionalidade do sistema robótico podem ser identificados e quantificados" (HERMINI, 2003, p. 01).

¹¹ Os problemas de incerteza estão relacionados a fontes de erro, que são dificuldades de determinação relacionadas à própria localização de robôs autônomos ou semiautônomos (PASSOLD, 2004).

sensoriamento que permite criar um caminho mais curto, além de também prever colisões e alterar rotas (SOUZA, 2005).

1.3 Tipos de robôs e suas aplicações

A literatura específica da área aponta que o desenvolvimento de um robô e a sua especificação, desde sua concepção inicial até a sua fase final de montagem, tem relação direta com as necessidades que emergem do projeto. Assim, quanto aos robôs móveis, autores como Wolf et al. definem que

Os Robôs Móveis [...] possuem diferentes configurações de dispositivos de hardware embarcados, de acordo com a função e as tarefas para as quais são projetados. Os principais dispositivos de Hardware de um robô são seus sensores e atuadores (WOLF et al., 2009, p. 5).

Ainda de acordo com esses autores, a aplicação prática de robôs móveis junto a diferentes atividades em nossa sociedade vem demonstrando que o futuro da área é grandioso, já que as aplicações são diversas. Como exemplo, podem ser citadas as aplicações domésticas (aspiradores de pó ou cortadores de grama), aplicações urbanas (transportes individuais¹² ou cadeira de roda robotizadas), aplicações militares (sistemas de monitoramento aéreo remoto ou transporte de suprimentos e de armazenamentos em locais de conflito armado), aplicações industriais (transporte autônomo para reposição de suprimentos ou transporte de cargas).

A vasta gama de aplicação dos robôs móveis permite notar que existem interesses não só científico envolvido no desenvolvimento de novas tecnologias robóticas, mas também existem interesses econômicos.

Para todos os tipos de robôs móveis deve ser levada em conta a questão da autonomia, afinal eles necessitam de sistemas de sensoriamentos adequados à demanda. Alguns aspectos de autonomia são alcançados apenas quando o robô passar a integrar capacidades novas e mais apuradas, dentre elas, capacidade de

¹² Como é o caso do Segway, que é uma plataforma composta por duas rodas, que necessita equilibrar-se para que o Segway se mova, para frente, para trás e inclinando para direita e esquerda, você controla a direção e movimento.

percepção (sensores que o permitiram uma navegação mais segura e precisa), capacidade de agir (atuadores que deslocaram o robô no ambiente, seja aéreo, terreno, aquático etc.), robustez e inteligência (programações ou algoritmos integrados à programação do robô, capazes de lidar com diversas situações, de modo a resolvê-las).

Dessa forma, existem diversos tipos de robôs móveis. Dentre os diversos tipos, são citados apenas quatro com algumas variações dentro de cada tipo, e também as aplicações mais comuns:

- robôs terrestres;
- robôs aquáticos;
- robôs aéreos e;
- robôs espaciais.

1.3.1 Robôs terrestres e suas aplicações

Em um passado não muito distante, o assunto do momento foram os robôs manipuladores, braços mecânicos, e, ao passo que a tecnologia evoluiu, outras necessidades apareceram, fazendo com que os robôs móveis ganhassem mais espaço na mídia, trazendo consigo a capacidade que robôs manipuladores não possuíam: a capacidade de se deslocar no ambiente em que se encontram. Os RMAs¹³ são um claro exemplo disso, pois possuem como características fundamentais capacidade de locomoção, modo de operação autônomo ou semi autônomo (WOLF et al., 2009).

De acordo com Secchi (2008) as aplicações dos robôs móveis terrestres são muito variadas e estão sempre associadas a tarefas que geralmente são arriscadas ou nocivas para o ser humano. As áreas de atuação dos robôs móveis englobam desde a agricultura, transporte de cargas perigosas, tarefas de exploração, transporte de cargas pesadas em ambiente fabril, limpeza de casa, estudo de

¹³ RMAs: Robôs Móveis Autônomos - Capazes de realizar sua locomoção sem a intervenção (ou parte dela) direta do ser humano.

projeto de robôs educacionais, entre outras diversas aplicações, exemplos nas Figura 1.5a e Figura 1.5b.

Figura 1.5a – Robô aspirador de pó



Fonte: <http://img.ibxk.com.br/>, 2016

Figura 1.5b – PackBot, robô desarmador de bombas à distância



Fonte: <http://icdn4.digitaltrends.com/>, 2016

Outras aplicações podem ser vistas nas ilustrações a seguir, Figura 1.6a e Figura 1.6b. Robôs de porte maior e visivelmente mais robustos.

Figura 1.6a – Robô agricultor



Fonte: <http://radioalo.com.br/>, 2016

Figura 1.6b – Big Dog, robô militar



Fonte: <https://i.ytimg.com/>, 2016

Jácomo (2001) também aponta outra aplicação para robôs do tipo terrestre: os robôs cirúrgicos. Na verdade não são móveis, porém sua aplicação é tão importante e necessária nos dias de hoje, que citaremos apenas um tipo.

O robô Da Vinci visto na Figura 1.7 a seguir, possui um sistema único no mundo, que permite cirurgias menos invasivas, utilizando instrumentos cirúrgicos já

utilizados antigamente junto a sistemas de visualização em três dimensões, fazendo com que cirurgias minúsculas se tornem mais fáceis de serem realizadas.

Figura 1.7 – Robô Da Vinci



Fonte: <http://www.gazetadopovo.com.br/>, 2016

1.3.2 Robôs aquáticos e suas aplicações

De acordo com a Revista Piscina e Afins (2014), a necessidade de robôs subaquáticos se faz necessária, frente a dificuldades como: ambientes desconhecidos, contaminados e em profundidades de difícil acesso ao ser humano. Atualmente utilizam-se robôs de apoio às atividades dos mergulhadores, principalmente na realização de tarefas pesadas e de alto risco ao ser humano.

Logo, os ROVs¹⁴ são por definição “[...] um veículo subaquático não tripulado, controlado remotamente por um piloto” (REVISTA PISCINA E AFINS, 2014, p. 1).

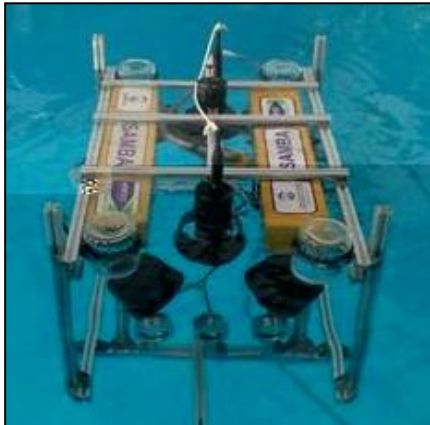
Com um robô subaquático é possível observar remotamente o fundo do mar, explorar novas espécies, bem como corpos hídricos e estruturas submersas. A vantagem do uso do ROV, ao invés do profissional mergulhador, está na possibilidade de operação em profundidades elevadas e por períodos de tempos

¹⁴ ROV (*Remotely Operated Vehicle*) – Veículo Operado Remotamente, robôs com uma série de sensores e atuadores, que podem ser substituídos conforme a necessidade da missão.

maiores, o que é impossível até para a estrutura óssea de um mergulhador, dada a pressão crescente, quanto mais profundo se vai.

O surgimento dos ROVs tem como objetivo a possibilidade do exercício da exploração científica. Logo, nessa linha, as aplicações mais comuns desse tipo de robô estão relacionadas à exploração e produção de gás e petróleo em águas profundas, como mostra a Figura 1.8, auxiliando os mergulhadores, por exemplo, na inspeção de cascos e hélices de embarcações, além da garantia da segurança portuária e monitoramento. Pode-se ser citar também as aplicações relacionadas aos estudos da fauna e da flora no ambiente aquático e a própria arqueologia marítima relacionada a esse estudo, Figura 1.9.

Figura 1.8 – Dragão do Mar



Fonte: <http://www.tecmundo.com.br/>, 2016

Figura 1.9 – LUMA



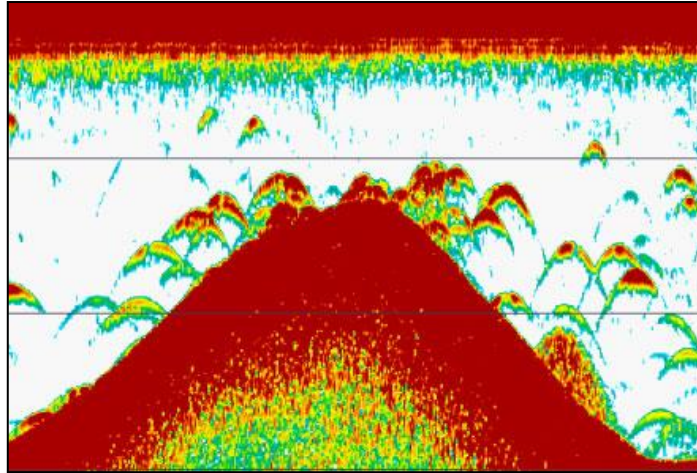
Fonte: <http://www.tecmundo.com.br/>, 2016

Dessa forma, os robôs aquáticos contam com sistema de alimentação para os propulsores e para os circuitos eletrônicos que é fornecida através de um cabo “umbilical”, o mesmo que possibilita o resgate do ROV, caso haja algum problema não previsto ou alguma falha de operação. Contam também com sistemas de direção para que consigam navegar submersos, sendo pelos próprios propulsores, por pás ou semelhantes, além de câmeras para visualização do ambiente, outros tipos ainda podem possuir garras, dependendo da missão e, geralmente, uma luz auxiliar.

Nas navegações em ambientes onde a visibilidade é considerada baixa, o operador não pode ser auxiliado por câmeras de vídeo. Entretanto, existem sistemas

de sonar de duas e três dimensões que o auxiliam nesse momento, como mostrado na Figura 1.10, que apresenta uma imagem de sonar em apenas duas dimensões.

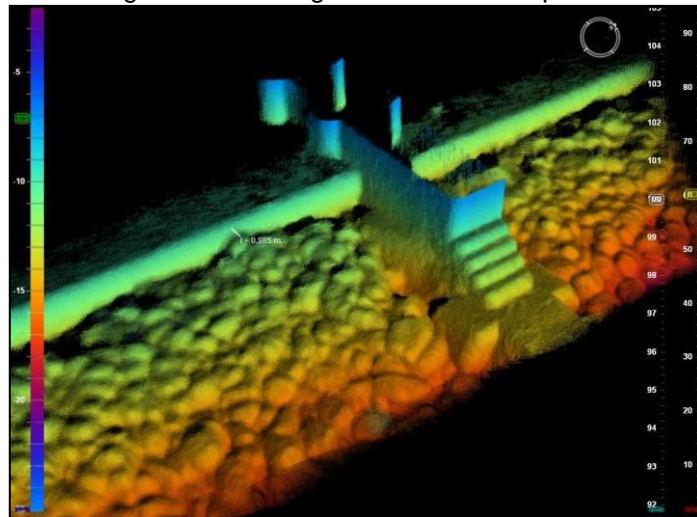
Figura 1.10 – Imagem de um Sonar tipo 2D



Fonte: <http://marineelectronicshq.com/>, 2016

Em locais onde a imagem em duas dimensões não é suficiente, como no exemplo de uma tubulação submersa, são usados os sonares de três dimensões, para maior riqueza de detalhes. Abaixo está um exemplo de imagem captada por um Sonar de três dimensões, mostrado na Figura 1.11.

Figura 1.11 – Imagem de um Sonar tipo 3D



Fonte: <http://www.dredgingtoday.com/>, 2016

1.3.3 Robôs aéreos e suas aplicações

Autores como Becker e Sampaio (2013), relembram que a ideia de voar sempre esteve presente nos pensamentos do ser humano, apontando que, de certa forma, com os avanços atuais estamos cada vez mais próximos da possibilidade de voar. Os avanços são tão notórios que desde o início do século passado, inventores – como o brasileiro Alberto Santos Dumont (1873-1932) – acabaram estabelecendo marcos importantes na ciência do voo. Anos mais tarde, o avião seria tão determinante para o processo de crescimento e modelagem da sociedade em todos os cantos do mundo, que tomou realmente a escala global, transportando pessoas, cargas, e até armamentos de guerra.

A corrida armamentista de fato trouxe diversos avanços na tecnologia, apesar de todos os conflitos que se desencadeavam na época. Um exemplo de avanço tecnológico militar que está ligado diretamente à aviação, é a navegação autônoma aérea. O voo automático de mísseis de longo alcance e de aeronaves de espionagem foram as ferramentas que mais contribuíram para o desenvolvimento da automação do transporte aéreo, sendo que estas influenciaram diretamente o desenvolvimento de aeronaves robóticas ou robôs aéreos autônomos.

A robótica aérea é um segmento crescente não somente na área da engenharia aeroespacial. Esse tipo de robô móvel, acaba por adicionar um outro nível de aplicação (atender requisitos aéreos, que o robô terrestre não poderia fazê-lo), sendo uma fusão de estudos de diversas áreas (matemática, física, eletrônica, etc). Segundo Becker e Sampaio (2013, p. 22) “A versatilidade do voo robótico já desperta a atenção dos setores industriais e governamentais, mas , por enquanto, grande parcela dos avanços nessa área ainda vem de universidades”.

A morfologia desse tipo de robô, assim como os outros tipos, depende muito de sua aplicação, e assim, existe uma vasta gama de robôs aéreos, como os

VANTs¹⁵, muitas vezes chamados de drones, ilustrado na Figura 1.12 ou os VTOLs¹⁶ (os helicópteros se enquadram nesse grupo), exemplificado na Figura 1.13.

Figura 1.12 – VANT Brasileiro



Fonte: <http://www.aereo.jor.br/>, 2016

O VTOL mostrado a seguir, na verdade se trata de um sistema robótico, pois é um veículo tripulado.

Figura 1.13 – VTOL com apenas duas hélices



Fonte: <http://payload187.cargocollective.com/>, 2016

As aplicações dessa classe de robô móvel são enormes, como se pode observar a seguir na Figura 1.14. Dentre elas destacam-se, as patrulhas realizadas nas fronteiras, as inspeções em linhas de transmissão de energia, além da realização de espionagem em situações de combate.

¹⁵ Veículos Aéreos Não Tripulados.

¹⁶ *Vertical Take-Off and Landing* (Veículos aéreos que decolam e pousam de forma vertical).

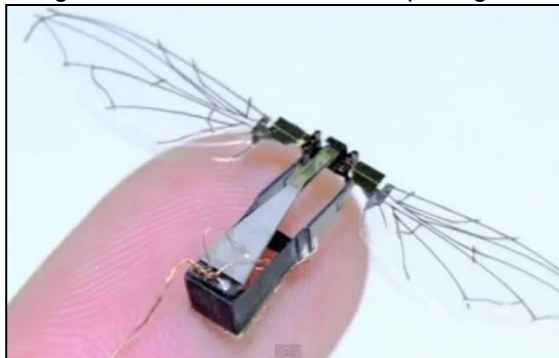
Figura 1.14 – Robô aéreo em resgate



Fonte: <http://thewatchers.adorraeli.com/>, 2016

Outra aplicação para os robôs aéreos é a robótica de espionagem, ou simplesmente a micro robótica aérea, como ilustrado na Figura 1.15.

Figura 1.15 – Robô aéreo de espionagem



Fonte: <http://img1.olhardigital.uol.com.br/>, 2016

1.3.4 Robôs espaciais e suas aplicações

Segundo o Laboratório de Sistemas Inteligentes (LASI) (2016), pesquisas vêm sendo realizadas direcionadas a manipuladores para aplicações espaciais, bem como transporte de materiais, inspeção e manutenção de estações espaciais e de satélites, com o objetivo de substituir astronautas em trabalhos extra-veiculares.

Para que tais tecnologias possam ser tangíveis, alguns problemas técnicos ainda devem ser solucionados, e a área mais crítica a ser analisada, é a de dinâmica

e controle. Devido à dinâmica complexa e distinta encontrada nas aplicações desses robôs móveis, onde a massa e a inércia do manipulador são significativas em comparação à massa e inércia da base (nave espacial, estação espacial ou até mesmo um satélite), os pesquisadores estão em contínua pesquisa para resolver tais complicações. Nesse caso, a característica principal dos manipuladores espaciais é a influência dos movimentos do braço no movimento da base, e vice-versa, devido ao acoplamento dinâmico existente.

Segundo Souza (2005), as aplicações dos robôs espaciais são mais restritas em relação aos outros tipos, afinal os conhecimentos em relação ao espaço ainda são poucos e estamos em constante evolução nesta área. Pode-se citar algumas aplicações dos robôs no espaço, dentre elas: os *space shuttle*¹⁷ (embarcações espaciais), os braços robóticos (põe satélites em órbita e faz manutenção neles), o robô explorador (o *Curiosity*¹⁸), sondas espaciais (que já foram e que ainda irão para outros planetas), entre outros.

Acoplados aos *space shuttles*, estão os braços robóticos que geralmente possuem seis graus de liberdade. Eles têm como função principal a colocação de satélites em órbitas e a manutenção de objetos no espaço. Seu controle é feito por um ser humano (astronauta) com auxílio de câmeras externas que filmam os movimentos realizados pelo braço, de dentro da cabine de comando na nave.

As sondas espaciais já sobrevoaram e, algumas, já pousaram em planetas como Marte, Mercúrio e Vênus, enviando informações importantes, como condições atmosféricas e da superfície, para a central de comando na Terra. Um exemplo de braço robótico espacial pode ser visto a seguir na Figura 1.16.

¹⁷ São aeronaves que não voam normalmente em nossa atmosfera, seu propósito são viagens ao espaço, contam com um foguete para a partida, e um paraquedas para o pouso (devido a grande velocidade).

¹⁸ *Curiosity* é um robô explorador que está em Marte, captando imagens e realizando pesquisas contínuas.

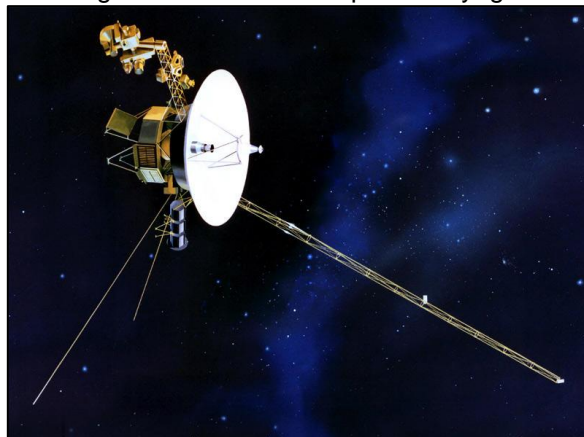
Figura 1.16 – Braço robótico espacial, levando um satélite para a órbita



Fonte: <http://msalx.veja.abril.com.br/>, 2016

Outro exemplo pode ser observado na Figura 1.17 a seguir. Ele trata de uma sonda espacial, que embora sua comunicação já tenha se perdido, ainda continua vagando pelo espaço.

Figura 1.17 – Sonda espacial Voyager



Fonte: <http://hypescience.com/>, 2016

1.4 Morfologia dos robôs móveis

Os robôs móveis possuem características específicas que os permitem realizar determinadas tarefas. A própria tarefa que o robô está incumbido determina sua estrutura particular em uma primeira etapa, ou seja, o seu meio de locomoção (pernas, roda, esteira, turbinas, etc.), o sistema de tração e direção, disposição das rodas (caso o robô as possua) até mesmo a forma física dele.

Em uma segunda etapa, a tarefa irá determinar as características sensoriais do robô. A maioria dos robôs móveis possuem rodas como seu sistema de locomoção. Geralmente, seus sistemas de tração e direção são distribuídos sobre os eixos de suas rodas, de acordo com exigências de velocidade, manobrabilidade e características do ambiente onde ele irá atuar. Levando em consideração a precisão e rapidez que o robô deve alcançar seu destino, pode-se encontrar o melhor sistema de tração e direção, para que seja adicionado ao robô.

A confiabilidade e manobrabilidade determinam as características do sistema de direção e de tração, não só em relação à técnica que deve ser utilizada para o controle do robô, mas também para a construção de uma estrutura mecânica estável (número de rodas, tipos de rodas ou esteiras, disposição das rodas, etc.) (SECCHI, 2008).

1.4.1 Principais ambientes para aplicação de robôs móveis

O tipo de ambiente de trabalho do robô, é o que mais impõe restrições a ele, fazendo com que um certo robô móvel, seja útil apenas em um ambiente específico. Dentro do ambiente, podemos analisar a área de trabalho e os objetos presentes no entorno.

Segundo a área de trabalho, o ambiente pode ser interior ou exterior. Interior é quando a área de atuação do robô está claramente definida por paredes e teto, além da iluminação ser principalmente artificial. Já o ambiente exterior, a área de atuação não está claramente delimitada e a iluminação é principalmente natural.

Em relação aos objetos presentes no ambiente do robô, podemos classificá-los como estruturados ou não estruturados. Estruturado é quando os objetos presentes no ambiente, são estáticos (não apresentam mudanças de forma e nem de posição), possuem características físicas bem definidas (cor, formato, etc.) que permite uma fácil associação com formas geométricas, para diferencia-los de outros objetos (cadeiras, mesas de trabalho, portas abertas, etc).

No caso de ambientes não estruturados, ou seja, em um ambiente dinâmico onde ocorrem mudanças com o decorrer do tempo, tais mudanças são imprevisíveis, ou quando a associação entre os objetos do local não é viável ou quando as características físicas dos objetos são complexas para serem associadas (SECCHI, 2008).

A Figura 1.18 apresenta um exemplo de ambiente estruturado, constituído de um estoque de componentes eletrônicos, onde as prateleiras estão sempre na mesma posição e não há muita movimentação de pessoas.

Figura 1.18 — Exemplo de ambiente estruturado



Fonte: www.servnews.com.br, 2016

O exemplo a seguir, na Figura 1.19, exemplifica um ambiente não estruturado (setor de expedição ou recebimento de uma empresa), pois os *pallets* não são sempre da mesma medida, as caixas que estão sobre os *pallets* também não são sempre iguais e a rotatividade do setor, é outra característica que o torna um ambiente não estruturado.

Figura 1.19 – Exemplo de ambiente não estruturado



Fonte: www.redesolutions.com.br, 2016

1.4.2 Técnicas de locomoção

De acordo com Secchi (2008), o sistema de locomoção do robô é umas das primeiras características dele, estando ligada ao seu ambiente de trabalho e sua tarefa. Levando em conta o ambiente, o robô pode ser:

- terrestre: com rodas, com esteiras ou com pernas;
- aquático: submarino ou flutuante e;
- aéreo: com hélices ou com asas.

1.4.3 Tração e direção por meio de pernas

Robôs movidos por pernas são caracterizados por possuir uma série de pontos de contato com o solo. As vantagens principais desse tipo de sistema de locomoção são a fácil adaptação e a manobrabilidade em terrenos acidentados ou irregulares. Sabendo que apenas alguns pontos de contato entre o robô e o solo se fazem necessários para garantir a estabilidade, a qualidade do solo entre esses

pontos é irrelevante. Outra vantagem é o grande potencial de manipular objetos em ambientes, com certa destreza. As desvantagens em relação as técnicas de locomoção por pernas, estão na complexidade mecânica. A perna, que possui diversos graus de liberdade, deve ser capaz de suportar o peso do robô, e em muitos casos, deve ser capaz de abaixar e levantar. Além disso, a manobrabilidade do robô somente será efetivamente útil, caso os graus de liberdade das pernas o permitam realizar forças num certo número de direções diferentes.

A disposição das pernas do robô pode ocorrer de três formas: duas ou quatro pernas ao estilo dos mamíferos, quatro pernas ao estilo dos répteis ou seis pernas ao estilo dos insetos (NOURBAKHSH; SIEGWARD, 2004).

Robôs que são estaticamente estáveis, geralmente são mais fáceis de implementar técnicas de locomoção do que robôs que são dinamicamente estáveis. O método utilizado para mover as pernas dos robôs do grupo que são estaticamente estáveis, podem se associar o movimento das diplópodes¹⁹, ou das aranhas (dependendo do número de pernas que o robô possuir). A técnica de locomoção baseado nos animais de quatro, seis ou oito patas, está na locomoção de grupos de membros alternadamente, para certas velocidades e movimentos. Já com a técnica de locomoção baseado-se em humanos, o conceito torna-se mais simples. Um movimento seguido do outro, é o tipo de movimento mais eficaz para robôs móveis com pernas (SANDIN, 2003).

1.4.4 Tração e direção por meio de rodas

De acordo com Sandin (2003) o formato mais comum de robôs móveis, são os que possuem quatro rodas com um controle frontal de direção. Esse sistema é descendente das carroças puxadas a cavalo, que sofreram muitas mudanças ao longo dos anos, sendo que a retirada dos cavalos e inserção de motores a combustão interna, foi a maior delas. Outras grandes mudanças ocorreram nas suspensões e nos sistemas de direção.

¹⁹ Uma espécie de inseto que possui muitas patas (cada segmento do seu corpo, possui duas patas).

Segundo Nourbakhsh e Siegward (2004), pode-se conseguir bons ganhos de eficiência e, isso, com uma aplicação mecânica relativamente simples. Além disso, o equilíbrio não é um problema grande para projetos de robôs com rodas, porque de modo geral, os robôs são construídos de modo que todas as rodas estejam em contato com o solo. Três rodas são o suficiente para garantir um equilíbrio estável.

Caso existam mais rodas e a aplicação do robô seja aplicada a um ambiente externo (não estruturado e com irregularidades), se faz necessário um sistema de suspensão, para que todas as rodas mantenham contato com o solo. O foco das pesquisas de robôs com rodas, não é na questão de equilíbrio, mas sim, em outras variáveis, como tração, estabilidade, manobrabilidade e controle, e a união destes estudos que permitam chegar a uma conclusão para o propósito do seu robô. O fornecimento de tração com a estabilidade necessária, juntamente com o poder de manobra adequado, para o tipo de terreno onde o robô irá atuar, e tudo isso, levando em conta, configurações das rodas, controle e velocidade, são decisões primordiais para que o seu robô tenha sucesso em seu propósito.

1.4.4.1 Disposição das rodas

De acordo com Secchi (2008) a mobilidade do robô está relacionada a dois fatores principais, sendo eles, os tipos das rodas e a disposição das mesmas. Basicamente existem dois tipos de rodas: a convencional e a roda sueca (*swedish wheel*²⁰). Por sua vez, as rodas convencionais, podem ser inseridas no robô móvel em três diferentes formas:

- **Roda fixa:** o eixo da roda está fixado à estrutura do robô, sendo que geralmente essa forma de inserção ao robô está relacionada à tração;
- **Roda orientável centralizada:** é uma forma onde existe o movimento de rotação da roda em relação a estrutura, sendo geralmente utilizado na direção do robô;

²⁰ A própria roda possui três graus de liberdade, rotação ao redor do eixo da roda (motorizado), ao redor dos rolos e ao redor do ponto de contato.

- **Roda orientável não centralizada (roda louca):** também conhecida como roda castor, ela possui a característica de rotação em relação a estrutura, porém, geralmente, não possui controle para a direção ou mesmo tração. Sua principal função é dar estabilidade a estrutura mecânica do robô.

A combinação dos diversos tipos de rodas permite, entre outras coisas, uma grande variedade de construção de robôs móveis e que se diferenciam por seu grau de manobrabilidade. Na sequência, serão apresentados breves conceitos e as principais características de disposições das rodas em um robô móvel.

1.4.4.2 Sistema omnidirecional

Segundo Secchi (2008), robôs que possuem esse tipo de sistema têm uma maior manobrabilidade no plano, o que significa que seus movimentos podem ocorrer em quaisquer direções e sem que haja a necessidade de reorientação.

De acordo com a rotação de cada uma das rodas, o robô pode realizar diversos tipos de trajetórias como, por exemplo, andar em linha reta, girar, movimentar-se lateralmente, sendo que todos os movimentos podem acontecer sem a necessidade de alteração de sua orientação.

Robôs que possuem rodas orientáveis centralizadas também podem estar presentes no grupo de configuração de sistemas omnidirecional. Nesse caso, basta alterar a orientação do conjunto de rodas para que o robô mude de direção e, portanto, mude seu movimento. A orientação do conjunto de rodas pode ser realizada por conjuntos mecânicos ou por métodos de controle eletrônico.

As desvantagens da adoção desse tipo de sistema estão relacionadas às complexidades mecânicas e/ou eletrônicas, porém necessárias para se obter uma boa coordenação entre os acionamentos dos motores de direção das rodas. Tal escolha permite evitar perdas de controle em relação a posicionamento e orientação.

1.4.4.3 Sistema auto-equilibrante

De acordo com Santos (2015), o modelo de pêndulo invertido móvel está sendo aplicado em diversos problemas, dentre eles, caminhada por marcha para robôs humanoides, cadeiras de rodas robotizadas e sistemas de transporte pessoal como é o caso do Segway. Robôs dotados deste tipo de sistema de auto-equilíbrio vêm sendo desenvolvidos e controlados por uma série de algoritmos de controle, que envolvem técnicas de controle PID²¹, como, por exemplo, o robô BallBot (I e II).

Tecnicamente, os robôs da série BallBot possuem uma estrutura simples, constituída de uma haste delgada para o pêndulo com um mecanismo de equilíbrio de duas rodas.

1.4.4.4 Sistema unicycle

O robô do tipo unicycle possui uma cinemática simples e considerada ideal para experiências de controle. Esse sistema chega a ser o mais usado por pesquisadores, pois permite a realização de testes de novas estratégias de controle.

Esse sistema possui uma estrutura composta por duas rodas fixas convencionais, sobre o mesmo eixo, e que são controladas de maneira independente. Sua estrutura também possui uma roda louca e que, geralmente, apresenta orientação frontal do robô, de forma a garantir melhor estabilidade. Assim, o sistema de tração e direção desse robô permite um controle de forma independente das suas velocidades linear e angular, geralmente realizada por circuitos eletrônicos.

Logo, as vantagens desse tipo de sistema é a facilidade de aplicação mecânica da estrutura do robô, bem como, a implementação de circuitos de

²¹ Proporcional Integral Derivativo (PID): corresponde a uma técnica de controle de processos onde existe a combinação das ações proporcionais, integrais e derivativas. Ao utilizar esta técnica, o erro gerado por ruídos diminui de tal forma que o sistema em si é seja afetado.

acionamento e controle dos motores, fazendo com que esses robôs sejam muito utilizados em laboratório (SECCHI, 2008).

1.4.4.5 Triciclo

Como o próprio nome sugere, tal sistema é composto por três rodas convencionais, fixadas a base, duas delas estão no mesmo eixo, e a outra é centralizada e orientável, e possui as funções de direção e tração, ou apenas direção, deixando a tração por conta do par de rodas traseiro. Tal sistema é semelhante ao unicycle, porém existe apenas o controle em duas rodas.

A estrutura mecânica e eletrônica desse sistema é considerada simples, sendo então, um modelo bastante indicado para uso específico em controle de robôs móveis na indústria, pois tal configuração permite o transporte de cargas pesadas, como aponta Secchi (2008). Outros autores, como Sandin (2004), acabam destacando que esse layout de três rodas é o mais complicado, porém o mais eficiente em relação à mobilidade.

1.4.4.6 Quadriciclo

Algo incômodo nos sistemas de três rodas está relacionado ao seu centro de gravidade, que, em alguns casos, estabelece limites da base estrutural do robô, limites estes relacionados aos limites de equilíbrio da superfície. Logo, tal aspecto pode ocasionar perda de tração momentânea e que pode provocar um erro quando se deseja estimar a posição do robô.

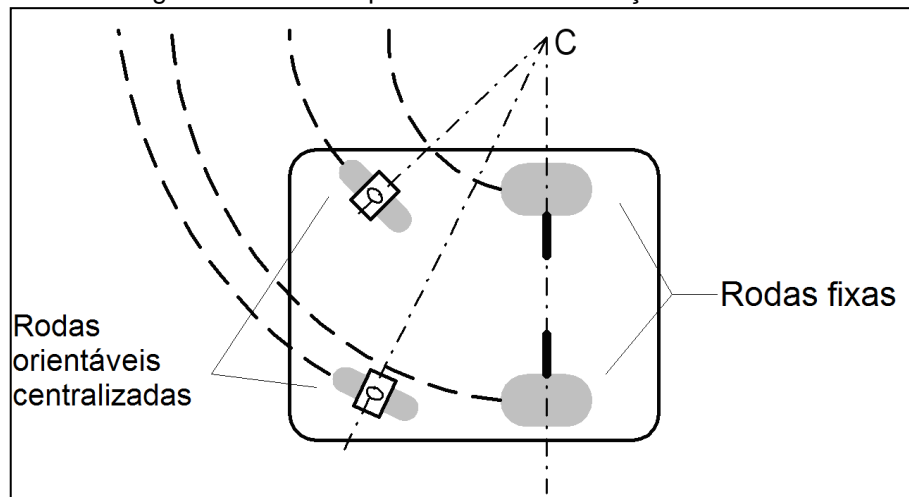
Diante disso, a estrutura com quatro rodas é uma estrutura mais indicada e considerada estável. Porém, para técnicas de posicionamento de robôs é necessário o uso de um sistema de direção Ackerman²², uma vez que esse sistema irá prover

²² Desenvolvido e patenteado pelo inventor alemão Rudolf Ackerman em 1818. Seu sistema descreve o movimento das rodas enquanto o carro realiza uma curva, sendo que as suas rodas devem descrever segmentos de círculos concêntricos. Se uma roda descrever uma trajetória diferente, tenderá a derrapar o

maior estabilidade, evitando o deslizamento nas rodas e, portanto, reduzindo erros de odometria.

O sistema de direção Ackerman é baseado no alinhamento dos eixos, durante as curvas, em um ponto “c”, que pertence ao eixo comum das rodas traseiras como será visto a seguir na Figura 1.20. O lugar geométrico dos pontos no plano traçados por cada roda ao redor do ponto “c”, forma um conjunto de arcos concêntricos, sendo todos os vetores de velocidade instantânea, tangentes a esses arcos criados, como destaca Secchi (2008).

Figura 1.20 – Exemplo do sistema de direção Ackerman



Fonte: SECCHI, 2008, p. 23

O autor ainda afirma que embora a cinemática, a estrutura mecânica e o controle eletrônico desse tipo de sistema não sejam tão simples, tal configuração é muito usada em desenvolvimentos de robôs *off-road*, pois a maioria dos desenvolvimentos desse tipo de robô está voltada para aspectos de sensoriamento.

1.5 Sistemas de sensoriamento de um robô móvel

Quanto aos sistemas de sensoriamento, autores como Secchi (2008), apontam que um robô móvel deve possuir um nível de sensoriamento que permita um monitoramento das variáveis externas, pois no campo existem muitas interações

correspondente à diferença das trajetórias, resultando no desgaste do pneu por arraste e perda de atrito na roda que desliza.

que não podem ser previstas e/ou mapeadas, como, por exemplo, obstáculos no trajeto que acabam influenciando diretamente nas tomadas de decisão do sistema de controle do robô.

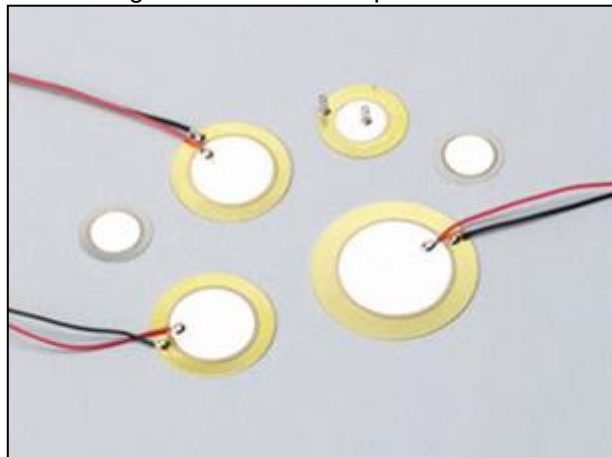
Portanto, o emprego de sensores se torna fundamental nesta aplicação. A seguir são apresentados esses dispositivos e seus principais tipos.

1.5.1 Sensores e Transdutores

Segundo Albuquerque e Thomazini (2012), sensor é um termo empregado a um dispositivo que é sensível a alguma forma de energia do ambiente como, luminosa, térmica, cinética, entre outras que são relacionadas a uma grandeza física que se deseja medir, dentre elas, temperatura, pressão, vazão, velocidade, corrente, aceleração e posição.

O exemplo de um sensor pode ser visto na Figura 1.21 a seguir. Trata-se de um sensor piezoelétrico.

Figura 1.21 – Pastilha piezoelétrica



Fonte: www.e.cdn-hardware.com.br/, 2016

Os sensores nem sempre atendem as características elétricas do circuito ou malha de controle, por isso deve-se empregar um circuito que realize a conversão desses sinais para padrões elétricos que permitam sua interpretação, esse circuito é considerado um transdutor. Podem, portanto, ser empregados controles analógicos

ou digitas, que se diferem entre si fundamentalmente pela forma de sinal entregue em sua saída em relação à variação da energia da entrada.

Um exemplo de transdutor que utiliza o mesmo tipo de sensor citado é o transdutor piezoelétrico de ultrassom, ilustrado na Figura 1.22.

Figura 1.22 – Sensor piezoelétrico de ultrassom



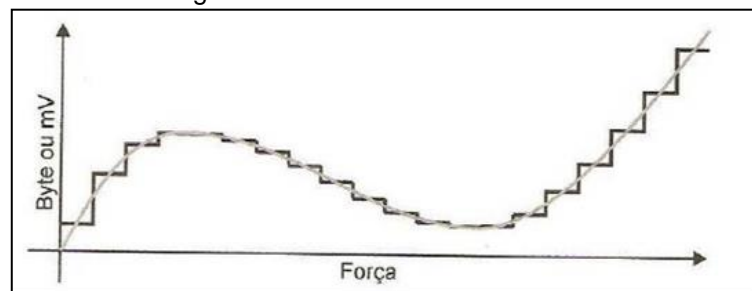
Fonte: www.g02.a.alicdn.com/, 2016

1.5.2 Conversores D/A ou A/D

Albuquerque e Thomazini (2012) ainda descrevem que os conversores, enquanto circuitos eletrônicos, têm por finalidade a conversão do sinal elétrico em outro, integrando o tipo de variável utilizada no sensor/transdutor à malha de controle, sendo essa conversão do tipo analógico para digital ou, vice-versa como mostra a Figura 1.23.

Quanto à escolha de um sensor, esta passa por diversos critérios, mas, fundamentalmente, deve atender às exigências que foram destacadas no projeto do robô (ALBUQUERQUE E THOMAZINI, 2012).

Figura 1.23 – Conversor D/A ou A/D

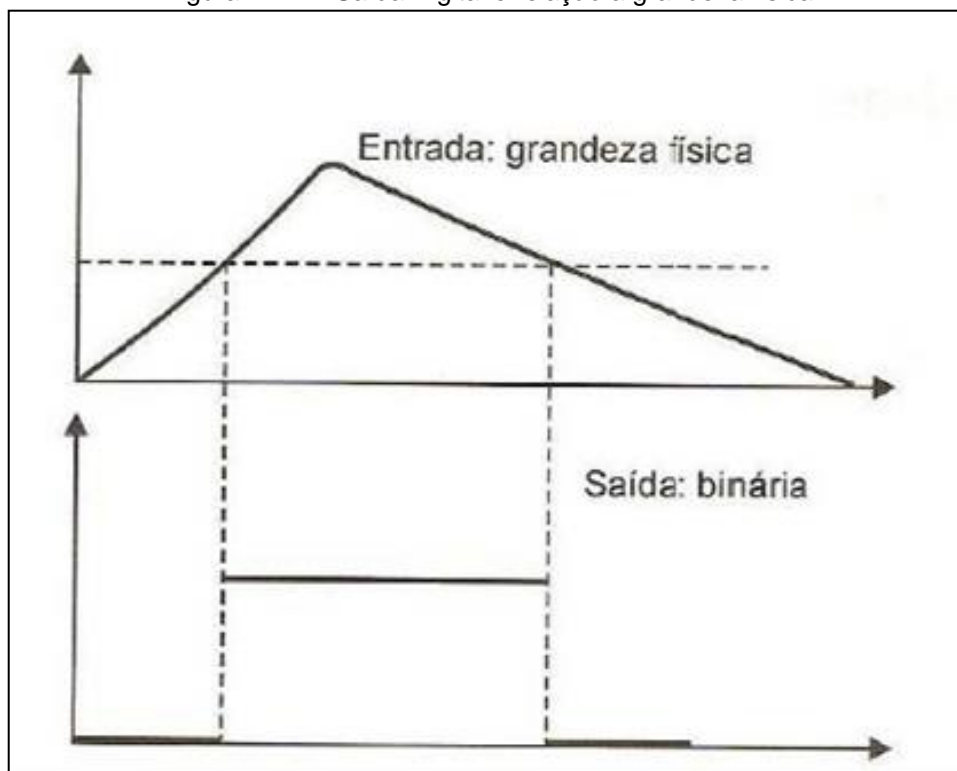


Fonte: ALBUQUERQUE; THOMAZINI, 2012, p. 19

1.5.2.1 Saída digital e saída analógica de um sensor

Em um sensor pode-se encontrar uma saída digital e uma saída analógica. A saída digital é aquela que assume apenas dois estados lógicos "0" ou "1", que indicam, respectivamente, duas situações distintas da variável do campo, uma representação digital de níveis estabilizados da variável monitorada (ligado ou desligado, aberto ou fechado, aceso ou apagado, etc.), na Figura 1.24, representado.

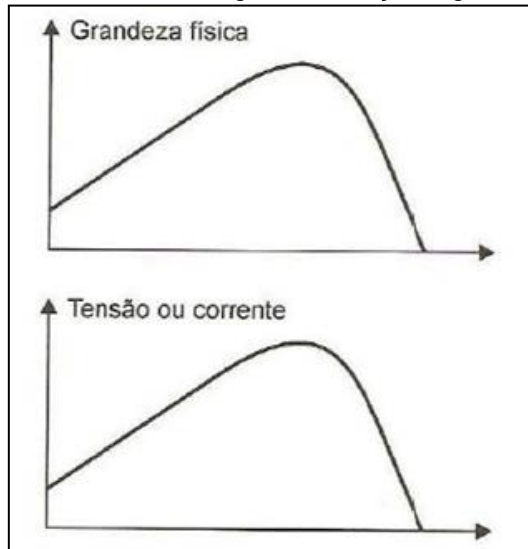
Figura 1.24 – Saída Digital e relação a grandeza física



Fonte: ALBUQUERQUE; THOMAZINI, 2012, p. 21

Já a saída analógica pode gerar qualquer valor de forma contínua, representando com fidelidade a grandeza física de entrada ao longo do tempo, conforme ilustrado na Figura 1.25.

Figura 1.25 – Saída Analógica em relação a grandeza física



Fonte: ALBUQUERQUE; THOMAZINI, 2012, p. 21

1.5.3 Características gerais de sensores e transdutores

Todos os sensores e transdutores possuem características gerais que necessitam de certa análise antes da aquisição de tais equipamentos, pois estas, influenciarão diretamente na sua medição ou no seu processo. Citando algumas das características mais importantes, vemos a seguir a sensibilidade, exatidão, precisão, linearidade, alcance e velocidade de resposta, sendo que Albuquerque e Thomazini definem:

- sensibilidade como uma grandeza nos sensores que estabelece a razão entre o sinal de saída e o sinal de entrada. Por exemplo, em sensores analógicos a sensibilidade é dada pela variação de saída em relação a uma variação de entrada;
- a exatidão como uma grandeza relacionada ao erro de medição de um sensor em relação a um medidor padrão;

- a precisão, como uma característica relativa ao grau de receptibilidade do valor medido por um sensor;
- a linearidade, relacionada com a curva obtida através dos valores medidos por um sensor em relação a valores obtidos por um medidor padrão;
- o alcance como uma característica determinada pela faixa mínima e máxima de operação do sensor, comumente vista em sensores/transdutores que são acionados mesmo com certa distância e;
- velocidade de resposta, como uma característica que procura relacionar o tempo que o transdutor lê a variável entrada e fornece o sinal elétrico proporcionalmente em sua saída.

1.5.4 Tipos de sensores

De acordo com Albuquerque e Thomazini (2012), cada sensor tem suas características construtivas que podem ser aplicadas de acordo com a variável que se pretende monitorar.

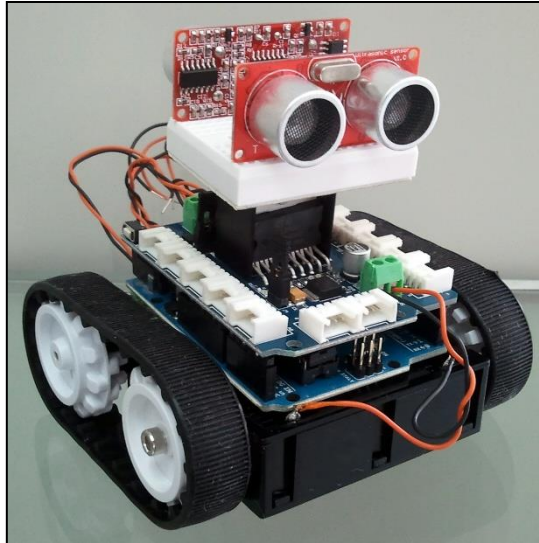
Logo, diante das características deste trabalho, foram identificados os sensores que atendem as exigências do projeto. A seguir, os sensores são apresentados com as suas respectivas definições e características.

1.5.4.1 Telêmetro ultrassônico (sonar)

Os Telêmetros ultrassônicos são sensores ultrassônicos referidos como sonar (uma abreviatura) por Roberts (2011). Eles utilizam conceitos definidos por Albuquerque e Thomazini (2012), ou seja, são sensores que utilizam ondas sonoras inaudíveis como base para seu funcionamento, portanto, a faixa de som utilizada consiste em uma frequência acima da perceptível pelo ouvido humano. Seu

funcionamento está baseado em um emissor e um receptor ultrassônico que, em conjunto, permitem a medição de presença, velocidade, distância e direção de deslocamento de um determinado objeto. Neste trabalho, por exemplo, será utilizado um sensor do tipo HC-SR04, cuja aplicação pode ser observada no robô móvel da Figura 1.26.

Figura 1.26 – Robô com Telêmetro ultrassônico



Fonte: <http://nossosrobos.blogspot.com.br/>, 2016

1.5.4.2 Sensor de pressão e temperatura

De acordo com Albuquerque e Thomazini (2012), os sensores de pressão são geralmente construídos com materiais sensíveis a pressões mecânicas. Logo, permitem transformar a variação de pressão com auxílio de recursos mecânicos, como êmbolos ou alavancas para pressionar um elemento piezo-resistivo, em uma variação elétrica.

Já os sensores de temperatura são construídos com elementos que variam suas características elétricas de acordo com a diferença de temperatura em que estão submetidos, podendo ser constituídos, por exemplo, por termoresistências (PT-100) ou semicondutores (LM-35).

Neste trabalho será utilizado o transdutor, modelo BMP085, que tem em seu encapsulamento único, o sensor de temperatura e pressão, que permite com essa integração a determinação da altitude dos locais, através de cálculos internos. A imagem do mesmo se observa na Figura 1.27.

Figura 1.27 – Sensor de pressão e temperatura BMP085



Fonte: BMP085_DataSheet_rev.1.0, 2008, p. 01

1.6 Realidade virtual e aumentada

No trabalho ainda serão aplicados conhecimentos e técnicas de realidade virtual e aumentada. Na visão de autores como Kirner e Kirner (2011), a realidade virtual e a realidade aumentada consistem em técnicas de interfaces computacionais baseadas no espaço tridimensional, no qual o usuário atua de maneira multissensorial, realizando a exploração do espaço por meio dos sentidos da visão, audição e tato. De acordo com a tecnologia disponível, poderão ser aplicadas variantes que usam olfato e paladar. Podem, ainda, ser incluídas percepções como frio, calor e pressão.

Antes do surgimento dos conceitos realidade virtual e aumentada, as interfaces computacionais eram restritas ao espaço bidimensional de um monitor, tornando possível apenas, implementações multimídias de textos, sons, imagens, vídeos e certas animações.

De acordo com Tori e Kirner (2006), a realidade virtual consiste em “interfaces avançadas do usuário” que tornam possíveis os acessos a aplicações

executadas em sistemas computacionais. Tais características permitem a visualização de elementos em ambientes tridimensionais, bem como a movimentação desses elementos e a interação com os mesmos, em tempo real. Além da visualização e interação, a experiência do usuário pode ser enriquecida através do estímulo aos demais sentidos tais como tato e audição, através de dispositivos multissensoriais.

Assim, a realidade virtual trabalha na ponta do desenvolvimento científico e tecnológico buscando as interfaces que sejam mais próximas aos sentidos humanos. Atualmente, o que se considera como realidade virtual pode, futuramente, se tornar a interface padrão para os computadores diante das suas características inovadoras, pois nesse sistema alguns objetos podem ter animação e comportamentos próprios e/ou podem ser influenciados por eventos.

1.6.1 Realidade virtual imersiva e não imersiva

Kirner e Tori (2006), dividem os sistemas de realidade virtual, de acordo com a sensação de presença do usuário, em imersiva e não imersiva. Nos sistemas imersivos, o usuário é transportado para dentro da aplicação, por meio do uso de dispositivos multissensoriais que capturam os movimentos e comportamentos e permitem reagir diante dos mesmos, conforme demonstra a Figura 1.28.

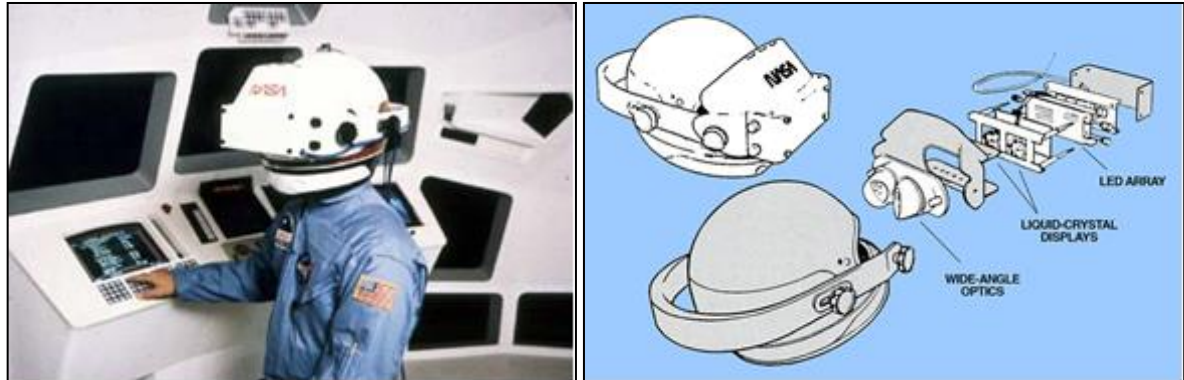
Figura 1.28 – Aplicação de Realidade Virtual imersiva em um console de videogame



Fonte: <http://cienciasecognicao.org/neuroemdebate/?p=1748>, 2016

No caso do sistema de imersão, do tipo capacete, Figura 1.29, o usuário poderá ver o cenário digital, através dos movimentos de cabeça. Nesse dispositivo, um sensor de movimento, sinaliza ao computador para que este mostre as imagens condizentes com o campo de visão escolhido e o sistema óptico manipula as imagens garantindo profundidade de visão.

Figura 1.29 – Capacete de realidade virtual



Fonte: <https://www.aivanet.com/>, 2016

As características estereoscópicas e o som espacial propiciam, nesse caso, um bom realismo no cenário virtual, favorecendo, por exemplo, a imersão. A estereoscopia²³, recurso gerador da noção de profundidade, pode ser construída no capacete, disponibilizando uma imagem para cada olho. Além da visão estereoscópica e do som espacial, a imersão pode ser incrementada com recursos multissensoriais, provendo reação de tato e força, trazendo sensações de calor, frio, vento, como mostrado na Figura 1.30.

²³ Segundo o Dicionário Aurélio, estereoscopia é o processo fotográfico que produz efeito tridimensional graças à utilização de dois registros simultâneos, em duas perspectivas diferentes, do mesmo assunto.

Figura 1.30 – Especialistas da NASA usando Realidade Virtual para ensaios de missão



Fonte: www.nasa.gov/, 2016

Ainda segundo os autores, a realidade virtual é classificada como não imersiva, quando o usuário é colocado em um ambiente virtual por meio de um monitor ou projeção, mas continua tendo sensações do mundo físico em que se encontra, como pode ser observado na Figura 1.31.

Contudo, ainda que a realidade virtual imersiva apresente sensações mais precisas e realistas, tendo espaço em aplicações, principalmente na indústria, a realidade virtual não imersiva é mais usada pelo fato de ter um custo menor e ser demasiadamente simples.

Figura 1.31 – Simulador de direção usado em auto escolas



Fonte: <https://www.detran.mg.gov.br/>, 2016

1.6.2 Realidade aumentada

De acordo com Kirner e Tori (2006), os avanços da multimídia e da realidade virtual, juntamente com o aumento da capacidade de processamento dos computadores, permitiu uma melhor integração em tempo real, de imagens e ambientes virtuais interativos. Simultaneamente, o aumento da banda das redes de computadores tem influenciado positivamente na transferência de imagens e outros fluxos de informação de forma eficiente.

Diferente da realidade virtual, a realidade aumentada mantém o usuário no seu ambiente físico e posiciona o ambiente virtual em seu espaço de trabalho, permitindo a interação com elementos virtuais, de maneira natural, não necessitando para isso de adaptações nem treinamentos. Existe uma série de interfaces multimodais²⁴ que estão em desenvolvimento para facilitar a manipulação de objetos virtuais no espaço em que o usuário se encontra, por meio do uso das mãos ou de mecanismos de interação mais simples.

Com o uso de rastreamento óptico é possível colocar elementos reais, como as mãos do usuário, para interagir com elementos virtuais, sem a necessidade de aparatos tecnológicos. Também é possível trazer elementos virtuais interativos para cenas reais, capturadas por uma câmera de vídeo.

Nessa aplicação, o usuário pode fazer uso de um capacete equipado com uma câmera de vídeo, que disponibiliza suas imagens enriquecidas com elementos visuais virtuais posicionados de maneira adequada, por um sistema de computador. Os elementos virtuais posicionados permanecem de forma ajustada à imagem de vídeo, independente da movimentação do usuário em seu ambiente real. A Figura 1.32 mostra o que o usuário pode visualizar com o auxílio um dispositivo de realidade aumentada.

²⁴ Interfaces que permitem a interação do usuário de diversas maneiras, como gestos, voz, ações tangíveis etc.

Figura 1.32 – Óculos de realidade aumentada Holo Lens da Microsoft



Fonte: www.microsoft.com/, 2016

1.6.2.1 Tipos e componentes do sistema de realidade aumentada

Segundo Kirner e Tori (2006), os sistemas de realidade aumentada podem ser classificados como visão direta imersiva e não imersiva, levando-se em consideração a maneira pela qual o usuário vê os elementos sobrepostos.

Na Visão direta imersiva, a percepção dos elementos misturados na imagem é realizada através do direcionamento dos olhos em qualquer posição desejada, nesse caso, usando algum dispositivo óptico dedicado. A Figura 1.33, exemplifica uma aplicação na qual o usuário interage com um objeto virtual.

Figura 1.33 – Realidade aumentada com Visão direta imersiva



Fonte: www.microsoft.com/, 2016.

No caso da visão indireta não imersiva, o usuário vê os elementos sobrepostos ao vídeo, por meio de um monitor ou projetor, não havendo correção em relação às posições reais do usuário, mas sim do dispositivo. Como pode ser observado na Figura 1.34, o *software* do sistema de realidade aumentada em um computador portátil do tipo tablet, ancora uma imagem virtual sobre a imagem capturada pela câmera.

Figura 1.34 – Realidade aumentada com Visão direta não imersiva

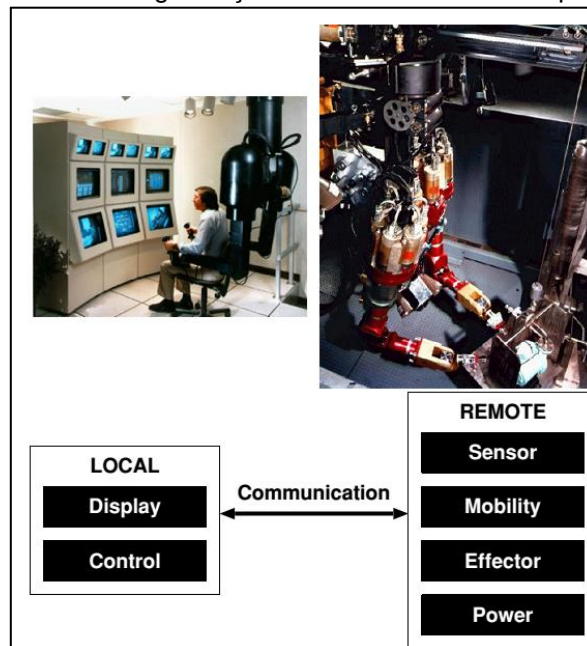


Fonte: www.eng.com.br/, 2016

1.6.3 Sistemas de teleoperação em robótica

A teleoperação, segundo Murphy (2000), é o processo pelo qual um operador controla um robô à distância. Esse tipo de operação é caracterizado por algum tipo de relação mestre-escravo. Na maioria dos casos, o operador se posiciona em uma estação de trabalho na qual dirige o robô por meio de interfaces. Na Figura 1.35, encontra-se esquematizado o funcionamento do sistema de teleoperação, onde é enfatizado o link de comunicação entre os elementos extremos.

Figura 1.35 – Organização de um sistema de teleoperação



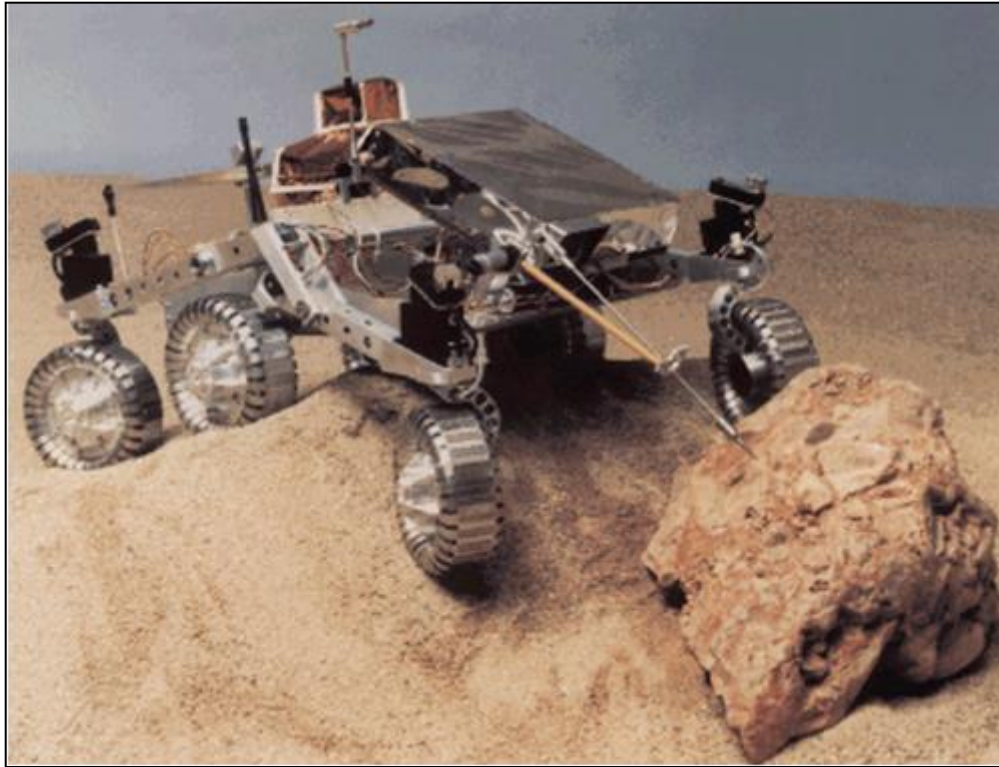
Fonte: MURPHY, 2000, p. 29

As interfaces de controle mais comuns são as baseadas em *joystick*, sistemas de realidade virtual, entre outras interfaces. O operador humano local deve ter a sua disposição um meio de visualização, como alguns tipos de monitores, mecanismos de controle e a parte remota (robô), além de possuir sensores, atuadores, sistemas de energia e mobilidade.

Isso se deve em razão de o operador não conseguir ver diretamente o que o robô está fazendo, muitas vezes pelo fato de ele estar em uma localização remota ou inacessível, como por exemplo, missões em outro planeta ou em uma usina termonuclear. Por esse motivo, os sensores são responsáveis pela obtenção das informações remotas para que o operador possa visualizá-las por meio de um *link* de comunicação entre a parte remota e os componentes do sistema de teleoperação.

A tecnologia de teleoperação é uma solução prática em vista da deficiência que os sistemas de inteligência artificial apresentam, principalmente quando comparadas com a competência que o operador humano possui em termos de percepção e tomadas de decisões. Isso pode ser exemplificado por meio da missão marciana *Mars Pathfinder* e o emprego do robô Sojourner, em 1997, Figura 1.36.

Figura 1.36 – Robô Sojourner da Missão Mars Pathfinder



Fonte: nssdc.gsfc.nasa.gov/, 2016

Nesses cenários, existe uma grande dificuldade em desenvolver algoritmos e sensores que possam controlar o robô. No caso da missão Mars Pathfinder houve um problema com o sistema de abertura dos *airbags* que não funcionou adequadamente, sendo necessário enviar comandos da base na Terra para que o problema fosse sanado. Esse é um exemplo típico de situação que apenas pode ser tratado pelo fator humano, afinal ele tem a capacidade de perceber padrões, detectar anomalias e resolver problemas.

Uma das desvantagens da teleoperação é que ela não é a solução ideal para todas as situações. Muitas tarefas podem ser repetitivas e cansativas, podendo trazer dificuldades para que o operador que, na maioria dos casos, possui apenas uma câmera como elemento visualizador. A tarefa se torna difícil por conta do campo de visão limitado e da ausência de visão periférica. Além disso, as imagens de vídeo podem não estar sendo transmitidas de forma rápida, devido ao link de comunicação que pode possuir uma largura de banda estreita, causando a chamada fadiga cognitiva, quando a atenção se torna vaga, chegando a sintomas como dor de cabeça e estresse.

Por outro lado, se a visão remota oferece boas imagens, o operador do sistema de telecomando pode experimentar o que é chamado de doença do simulador, ou seja, quando o sistema de visualização mostra que o operador está se movendo quando o seu ouvido (sensor interno biológico) mostra que o mesmo se encontra estacionário. Outra desvantagem em um sistema de teleoperação é a sua ineficiência em lugares distantes, devido ao tempo que leva para que o comando chegue à aplicação remota²⁵.

1.6.4 Sistemas de telepresença em robótica

Segundo Murphy (2000), uma tentativa de reduzir o problema da fadiga cognitiva consiste em acrescentar câmeras com taxas rápidas de atualização, permitindo a ampliação do campo de visão, tornando-o mais consistente com a maneira pela qual o ser humano visualiza o mundo. No entanto, isso pode ser impraticável devido à pequena largura de banda das telecomunicações.

A telepresença é uma área de pesquisa atual e que tem como objetivo reduzir a chamada doença do simulador e a fadiga cognitiva, tornando as interfaces humano-robô mais naturais. Nessas interfaces, o operador experimenta uma condição de *feedback*, sentindo como se estivesse no lugar do robô, Figura 1.37.

Exemplificando, quando o operador olhar para uma determinada direção, a visão do robô irá acompanhar esse movimento. Se o operador enviar um comando para que o robô se mova em determinada direção, por meio de um joystick e as rodas sofrerem deslizamento, o operador poderá perceber essa condição por meio de um sistema de audição, percebendo que os motores estão submetidos a esforços e não é observada nenhuma mudança no campo visual.

Entretanto, a interface de comando por telepresença é mais cara em termos de equipamento, necessitando de uma grande largura de banda de comunicação.

²⁵ Exemplificando esse paradigma, uma tarefa de teleoperação que em uma aplicação remota na terra levaria 1 minuto, se ela estivesse na lua demoraria 2,5 minutos e em Marte, o controle dessa aplicação demoraria 140 minutos. Nesse caso, o operador não tem certeza se o comando enviado pode levar a uma situação perigosa. Para contornar esse problema, ocorreram progressos como a chamada visualização preditiva, que de maneira imediata, mostra o resultado da simulação de um comando a ser enviado.

Apesar de ser mais eficiente que a teleoperação, o recurso da telepresença somente permite um operador para cada robô.

Figura 1.37 — Sistema de telepresença com imersão Robonaut NASA



Fonte: robonaut.jsc.nasa.gov/, 2016

De acordo com LaValle (2016), a interação com robôs por meio de telepresença pode se realizar por meio da captura de vídeos panorâmico, dessa forma é possível a movimentação do usuário no ambiente remoto. O projeto DORA da universidade da Pensilvânia, propicia interação remota com o auxílio de um robô, Figura 1.38.

Figura 1.38 – Visualização remota imersiva com óculos de realidade aumentada



Fonte: www.nbcnews.com, 2016

Uma questão crucial é a implementação do sistema computacional responsável pela execução da aplicação. Se há a necessidade de um computador separado, uma linha de comunicação rápida e confiável deve ser providenciada para o dispositivo de imersão (realidade aumentada, virtual ou telepresença).

Os smartphones modernos são equipados com a maioria dos sensores necessários e são caracterizados por um considerável poder de processamento. Dessa maneira, podem ser adaptados em uma caixa com lentes para oferecer uma experiência imersiva de maneira bem acessível, Figura 1.39a e Figura 1.39b.

Figura1.39a – Cardboard, óculos imersivo projetado pela Google



Fonte: www.digitalartsonline.co.uk, 2016

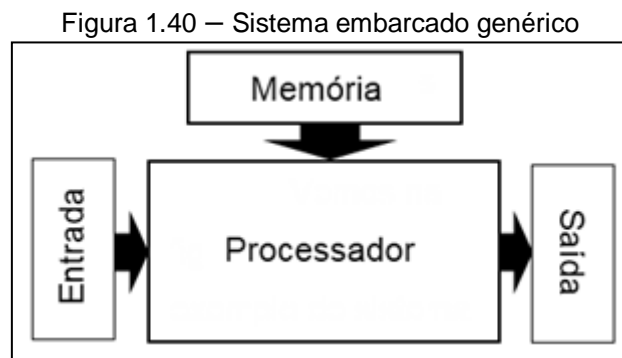
Figura 1.39b – Projeto mais sofisticado do Cardboard, com controle remoto



Fonte: www.vigica.cc, 2016

1.7 Sistemas embarcados

Esses sistemas são conjuntos formados por *software*, hardware e possíveis partes mecânicas, desenvolvidos para uma tarefa específica, conforme ilustra a Figura 1.40. Os sistemas embarcados podem ser empregados em sistemas de tempo real ou em sistemas para empreitar tarefas programadas sem ações externas²⁶ (BARR, 1999).



Fonte: Autoria própria, 2016

1.7.1 Processador e controlador

O processador é necessário para a execução do trabalho em si e é responsável pela realização dos cálculos necessários para a execução da tarefa. Para a tomada de decisão, ele lê as variáveis de entrada, executa o programa de usuário com esses dados lidos e, em seguida, atua em suas saídas. Nos sistemas embarcados, por exemplo, são utilizados controladores de 8 ou 16 bits, com recurso de memória e velocidade reduzidos em relação aos microprocessadores encontrados nos computadores atuais.

²⁶ Sistemas de tempo real (Real Time Systems) são sistemas capazes de analisar as variáveis de campo através de cálculos programados e tomar decisões imediatamente em resposta como, por exemplo, em um sistema embarcado com realimentação. Já os sistemas para tarefa sob demanda são aqueles desenvolvidos com uma tarefa fim, sem a tomada de decisão influenciada pelas variáveis de campo, tendo como objetivo na função programada, por exemplo, um sistema embarcado sem as entradas.

1.7.2 Memória

As memórias (RAM ou ROM) encontradas nos sistemas embarcados tem a função de guardar o programa de usuário, estados das variáveis externas e informações do processo, a fim de disponibilizá-las ao processador quando requeridas.

1.7.3 Entradas e saídas

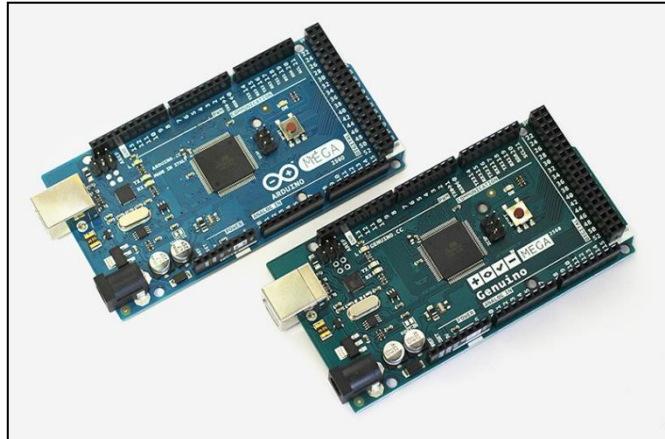
As entradas correspondem aos terminais do processador que estão ligadas a dispositivos que levem as informações que se deseja monitorar. Geralmente, são ligadas a essas entradas dispositivos sensores e transdutores.

Já as saídas são elementos terminais do processador que estão ligados no campo, para acionar através de atuadores, componentes que modificam as variáveis controladas, como exemplo, motores, aquecedores, válvulas, dentre outros.

1.7.4 Placas de desenvolvimento de sistemas embarcados

Segundo Roberts (2011), as placas de desenvolvimento de sistemas embarcados apresentam todos os requisitos necessários para implementação de um sistema embarcado. No mercado encontramos diversas placas com tais características, sendo, as mais empregadas, Raspberries, Beaglebones, IntelEdsons e Arduinos. Devido as características desse trabalho, será utilizada uma placa com o Arduino Mega, visto a seguir na Figura 1.41 e outra com o Raspberry Pi 2.

Figura 1.41 – Arduino Mega



Fonte: <https://www.arduino.cc/>, 2016.

A seguir, são apresentadas as principais características das placas mencionadas anteriormente.

1.7.4.1 Arduino

O Arduino é um sistema embarcado de uma placa só, com *software* de programação universal para todas as placas de desenvolvimento Arduino. No mercado, existem diferentes Arduinos com características para atender a diversas aplicações. Os Arduinos utilizam um *software* de programação único para realizar a codificação dos algoritmos do processo, sendo que para essa codificação é utilizada a linguagem de programação C.

1.7.4.2 Raspberry Pi

Segundo Richardson (2013), o Raspberry Pi, que será vista na Figura 1.42, é uma placa de sistema embarcado com o mesmo poder de processamento de um celular como o iPhone 3G, com conectores diversos disponíveis para a sua devida aplicação. O Raspberry tem uma arquitetura semelhante à de um computador, sendo que dessa forma, necessita de um sistema operacional para fazer a interface do operador com o hardware. Essa placa ainda tem suporte a algumas distribuições Linux e também atendem a versão mais atual do Windows (Windows 10).

Para codificação e execução de algoritmos, a placa é mais versátil que o Arduino, sendo que tem todas as vantagens de um computador e a facilidade de manipulação de hardware que um controlador. Diante disso, neste trabalho será utilizada a linguagem de programação python para a utilização do Raspberry.

Figura 1.42 – Raspberry Pi 2



Fonte: <https://www.raspberrypi.org/>, 2016

1.8 Tecnologias de comunicação sem fio em robótica

De acordo com Bräunl (2004) há um grande número de tarefas nas quais as redes autoconfiguráveis sem fio são úteis em sistemas de robôs móveis, estejam eles trabalhando em grupo ou em uma topologia composta por um único robô móvel e um computador host. Dessa maneira, uma rede sem fio permite a comunicação entre robôs, por exemplo, compartilhando informações de sensores, cooperando em uma tarefa comum ou elaborando uma tarefa compartilhada.

Por meio de uma rede sem fio é possível o controle à distância de um ou mais robôs, transmitindo comandos para controle de acionamentos. No caso do controle com processamento off-line, as informações dos sensores do robô são enviadas para um local onde um sistema host realiza as operações computacionais, cujos resultados (comandos de controle) são enviados de volta para o robô por meio da rede sem fio.

É possível pensar em um console de monitoramento para um ou mais robôs, no qual, dependendo do escopo da aplicação, podem ser visualizadas ou controladas, variáveis como: posição, orientação, velocidade e entre outras, dentro de um cenário comum. Isso permite uma análise posterior da atuação, por exemplo, de um time de robôs e sua efetividade para uma tarefa específica.

Segundo Wise (2004), existem diversos dispositivos no mercado, que permitem a comunicação sem fio entre um robô e um operador. Atualmente, para as redes *wireless* predomina o padrão IEEE 802.11 b, para hubs Ethernet (sem fio), transceptores e similares. Através desse tipo de rede, existe uma facilidade muito grande no controle remoto de robôs. O exemplo da Figura 1.43 mostra um conjunto transceptor *wireless* que pode ser usado para controlar um robô remotamente.

Figura 1.43 – Transceptor *wireless* NRF24L01



Fonte: <http://www.filipeflop.com>, 2016

A rede *wireless* apresenta problemas, assim como a maioria das redes sem fio. O que ocorre é que a potência do sinal varia dependendo da posição em que se encontra o robô a ser controlado. Há pontos onde o sinal *wireless* não funciona. Quando esse tipo de comunicação é usado no controle à distância de um robô, dependendo do local em que este se encontra, pode ocorrer quebra do link de comunicação.

As restrições à transmissão do sinal exigem que o robô possua um nível de autonomia, consistindo em um sistema semiautônomo hábil para funcionar sem um

controle explícito, em determinadas situações. Uma vez que o robô consiga realocar sua posição é reestabelecido o link de dados, onde se podem esperar novas instruções.

1.8.1 Tecnologia Bluetooth

De acordo com Kobayashi (2004), a tecnologia Bluetooth é um modelo industrial de comunicação sem fio em distância curta, com baixo custo e alta operabilidade, como celulares, computadores e seus periféricos (mouse, teclado).

A tecnologia Bluetooth nasceu da associação entre cinco empresas (Ericsson, Nokia, IBM, Intel e Toshiba), que criaram um consórcio chamado Bluetooth SIG (*Special Interest Group* – Grupo de Interesse Especial), objetivando com isso, estabelecer um novo modelo industrial de comunicação. Assim como outras redes sem fio, a tecnologia Bluetooth tem como preocupação a segurança na troca de dados e interoperabilidade com outros padrões de networking.

1.8.1.1 Funcionamento

Todo equipamento que opera com Bluetooth, traz como cerne principal, o microchip transceptor de rádio, como mostrado na Figura 1.44. Os sinais Bluetooth podem alcançar distâncias dentro de um raio de 10 metros. O protocolo usado funciona dentro da faixa de licença livre ISM (*Industrial Scientific and Medical* – Industrial, Científica e Médica), sendo de 2,45 gigahertz com velocidade de até 723,1 kbit/s.

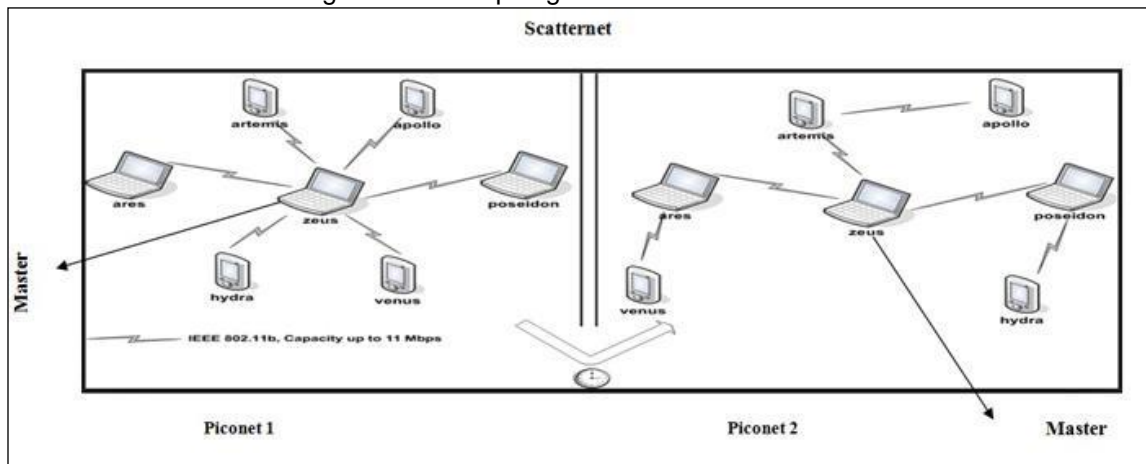
Figura 1.44 – Chip Bluetooth da Nordic Semiconductor



Fonte: <https://www.nordicsemi.com>, 2016

Os dispositivos Bluetooth são conectados por meio de pequenas redes denominadas *piconetes*. Essas redes são compostas por um mestre conectado a até sete escravos ativos. Quando duas ou mais *piconetes* estabelecem uma conexão via *wireless*, essa combinação é denominada *scaternet*. Uma imagem de representação da topologia está a seguir na Figura 1.45.

Figura 1.45 – Topologia de uma rede Bluetooth



Fonte: www.engineersgarage.com, 2016

Para evitar interferências, com outros protocolos, que possam estar usando a mesma faixa, o protocolo de Bluetooth divide a faixa em até 79 canais mudando de canal até 1600 vezes por segundo. Embora utilize a mesma banda de 2,45 GHz do Wi-Fi, a rede Bluetooth suporta poucos dispositivos e é muito lenta.

2 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a sequência de atividades e tarefas que, provisoriamente, foram realizadas no decorrer do desenvolvimento do trabalho intitulado como Robô para Inspeção e Monitoramento Teleguiado (ROBIMOT). Logo, o objetivo é sistematizar o registro de cada etapa do trabalho, partindo da escolha do tema, até a respectiva finalização do projeto.

2.1 Elaboração do trabalho científico e conceitos

O processo de elaboração de um trabalho científico exige o cumprimento de várias etapas. Segundo Severino (2016), um trabalho científico é formado por aplicações técnicas, seguindo um método e, sobretudo, apoiando-se em fundamentos de pesquisas.

As modalidades de pesquisas são diversas e, dentre elas, pode-se citar as pesquisas quantitativa e qualitativa, pesquisa etnográfica, pesquisa participante, estudo de caso, análise de conteúdo, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, entre outras. No trabalho desenvolvido até o momento, foram empregadas as seguintes etapas para a sua construção: pesquisa bibliográfica (em livros, teses e artigos) e pesquisa documental (vídeos sobre o assunto, revistas com artigos, etc.), entre demais modalidades.

Assim, a partir do tema definido, foi dado início à etapa do levantamento bibliográfico, seguida de pesquisas para a documentação, com o intuito de buscar argumentos e justificativas sólidos para o desenvolvimento do projeto.

2.2 Tema do projeto e justificativa do projeto

Por meio de reuniões e encontros entre os integrantes do grupo e analisando as tecnologias implementadas no ramo da automação, bem como os

recursos em desenvolvimento nos dias atuais efetuados por grandes empresas, principalmente nos setores de informática, indústria bélica e aeroespacial, o tema foi aos poucos se delineando, permitindo que uma ideia fosse formada a respeito do que seria o trabalho de conclusão de curso. Assim, optou-se pela ideia de reproduzir e estudar a associação entre realidade aumentada e robótica, abrangendo, sobretudo, o aspecto da monitoração e controle à distância.

O objetivo do trabalho está centrado na verificação de desempenho de tal associação de tecnologias, buscando elementos que justifiquem o seu uso em atividades diversas e que estejam fora dos usos costumeiros, como o aeroespacial ou bélico, por exemplo. Nesse caso, é investigada a junção entre realidade aumentada e robótica, de forma a aperfeiçoar a condução de tarefas intrinsecamente complexas e que, principalmente, ofereçam risco ao ser humano.

Assim, o projeto está focalizado quase que unicamente no desenvolvimento de uma aplicação de imersão no controle de um robô móvel, de forma a torná-lo apto para realização de tarefas de monitoramento, controlado à distância, por meio de um operador humano, via comunicação sem fio, permitindo a obtenção de dados referentes a temperatura, pressão, inclinação, e outras variáveis que seja requisitadas a aplicação.

O projeto ROBIMOT fará uso de uma interface do tipo óculos de realidade aumentada, Figura 2.1, para criar um aspecto imersivo, apenas com imagens captadas por uma câmera. A imagem capturada será dividida em duas, de maneira a disponibilizar uma imagem para cada olho. Os aspectos de realidade virtual e aumentada abordados em pesquisa são sugeridos como melhoramentos futuros para o projeto.

Figura 2.1 – Dispositivo para realidade aumentada para smartphones



Fonte: www.temnachina.com.br, 2016

O *joystick* será implementado por meio de um dispositivo similar ao da Figura 2.2, para comandos de direção, solicitação de informações de sensores e reajuste do centro de visão.

Figura 2.2 – Controle remoto para Cardboard



Fonte: www.amazon.com, 2016

Logo, o projeto procura trazer como maior diferencial a questão da segurança na rotina de controle de um robô móvel, de forma que esta seja avaliada a partir de uma tarefa específica o que pode ser observado, por exemplo, através da coleta de algum material que poderia trazer algum risco de vida a uma pessoa em uma situação de catástrofe e/ou acidente.

2.3 Viabilidade do projeto

A viabilidade do projeto pode ser constatada por meio do levantamento bibliográfico e sua respectiva análise, onde em uma das pesquisas realizadas foi retratado o caso do vazamento de radiação ocorrido em março de 2011, em Fukushima, no Japão, ocorrido após um abalo sísmico de 8.8 na escala Richter e um tsunami, que atingiu algumas estações de resfriamento de núcleos de reatores nucleares, danificando-os, segundo a BBC (2011).

Apesar de toda a segurança envolvida em um reator dessa magnitude, ainda assim, ocorreram três explosões em algumas das onze usinas da região. Em consequência dessas explosões, houve uma exposição de radiação no ar e geração de água contaminada, fazendo com que vários engenheiros tivessem exposição a níveis de radiação, 800% acima do indicado como seguro pelas normas internacionais de segurança, de acordo com o Jornal Gazeta do Povo (2011).

Diante de um cenário como esse, o projeto poderia trazer uma solução bastante consistente a esse cenário, evitando a exposição de pessoas à radiação, uma vez que toda e qualquer inspeção do local abalado seria feita mediante o uso de um robô móvel com recursos de realizada aumentada, preservando, dessa forma, a integridade física de uma pessoa.

2.4 Cronogramas de desenvolvimento do projeto

Para a execução do projeto foi elaborado um cronograma que permitisse um melhor acompanhamento das etapas de desenvolvimento do projeto. Para isso, foi levado em conta o tempo disponível no calendário da instituição, bem como as datas pré-estabelecidas de entrega das partes do projeto. Segue, portanto, o cronograma elaborado, conforme o Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Cronograma da primeira etapa

fev/16				mar/16				abr/16				mai/16				jun/16				TAREFAS A SEREM DESENVOLVIDAS
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
																				Escolha do orientador e passos iniciais
																				Amadurecimento da ideia do projeto
																				Aquisição de documentos p/ embasamento
																				Escrita do trabalho
																				Revisões do trabalho
																				Reuniões com o coordenador
																				Reuniões do grupo
																				Entregas parciais para nota de PG1
																				Entrega dos TCCs na secretaria
																				Defesa de TCC em banca
																				Provas

Fonte: Autoria própria, 2016

A fim de garantir um bom desempenho em relação a datas e entregas na próxima etapa, também realizamos um cronograma a ser seguido no segundo semestre, Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Cronograma da segunda etapa

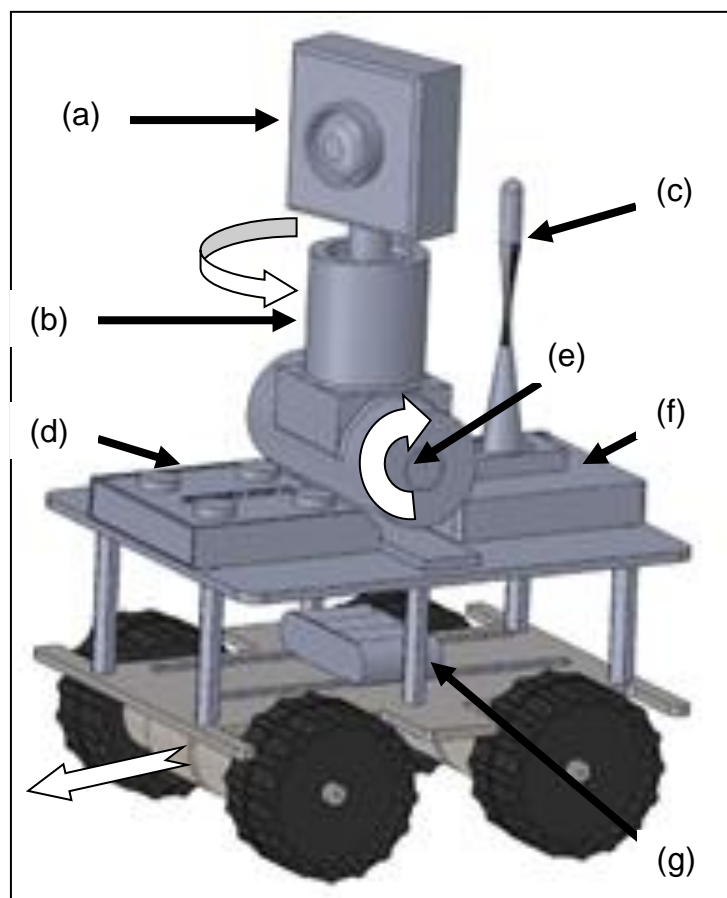
mai/16				jun/16				jul/16				ago/16				set/16				out/16				nov/16				dez/16				TAREFAS A SEREM DESENVOLVIDAS
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
																																Programação
																																Obtenção das peças do protótipo
																																Construção mecânica
																																Testes Eletro eletrônicos
																																Montagem do sistema de câmera
																																Testes de integração de sistemas
																																Avaliação de desempenho e correções
																																Testes em campo
																																Apresentação do protótipo
																																Defesa de TCC em banca
																																Recesso Escolar

Fonte: Autoria própria, 2016

2.5 Esboço do projeto

De forma que a ideia do projeto pudesse ser materializada e, portanto, melhor compreendida, foi elaborado um layout inicial do protótipo, conforme Figura 2.3. Nesse layout, são destacadas as partes que compõem o protótipo e suas respectivas funções. Além disso, para a construção do layout foi utilizado o *software* SolidWorks da empresa *Dassault Systèmes*.

Figura 2.3 – Protótipo do ROBIMOT



Fonte: Autoria própria, 2016

O robô irá contar com os seguintes itens:

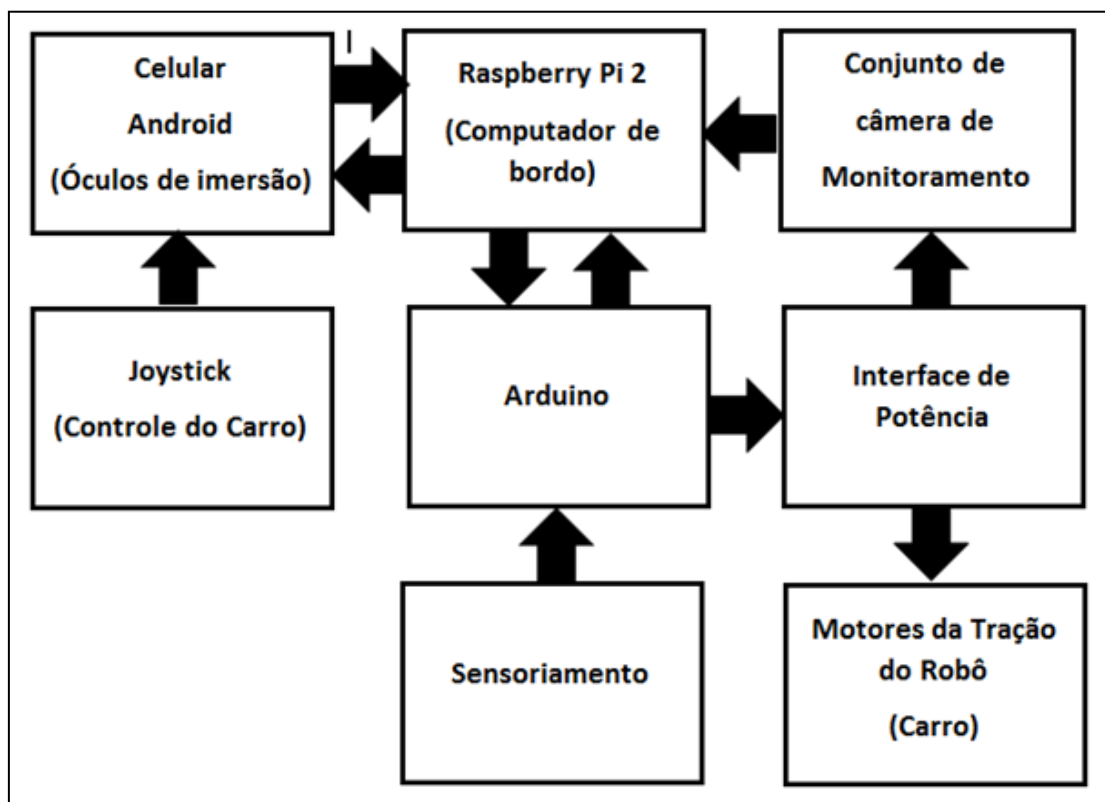
- a) câmera para o sistema de visão (com iluminação infravermelho);
- b) junta do tipo T (torção, comumente visto em robótica);
- c) antena para comunicação sem fio;
- d) sistema de sensores;
- e) junta do tipo R (rotação, comumente visto em robótica);

- f) sistema embarcado de controle e;
- g) bateria do robô.

Um aspecto extremamente importante e que merece ser destacado está relacionado às alterações e modificações que neste escopo, ainda poderão ocorrer em relação ao projeto inicial, motivadas, principalmente, pelas necessidades presentes no decorrer da construção do protótipo.

A seguir, também é apresentado um diagrama de blocos, Figura 2.4, de forma que seja possível uma melhor compreensão do funcionamento do protótipo e como ocorre a aquisição de dados.

Figura 2.4 – Diagrama de blocos do projeto



Fonte: Autoria própria, 2016

3 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

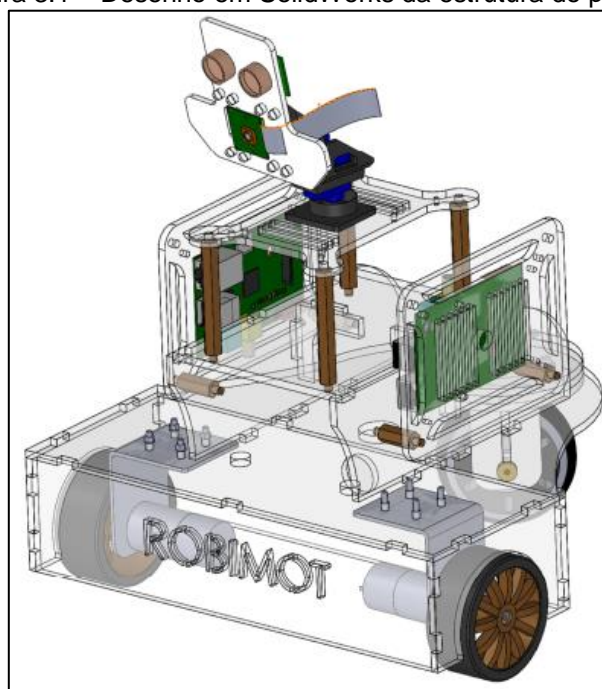
Neste capítulo é apresentado o passo-a-passo da construção do projeto intitulado Robô para Inspeção e Monitoramento Teleguiado (ROBIMOT).

3.1 Projeto mecânico e construção

A ideia inicial para a estrutura mecânica do projeto assemelhava-se à imagem vista no capítulo anterior. Era caracterizada por quatro rodas tracionadas, porém, partindo de orientações recebidas durante o processo de construção, pesquisas sobre qual seria o melhor modelo robótico para o projeto em questão, bem como a avaliação da banca no quinto semestre, houve um amadurecimento da ideia. Optou-se no início do sexto semestre por uma estrutura com três rodas pelo fato de ser mais viável, levando-se em consideração o controle do robô, praticidade para construção mecânica, manobrabilidade entre outros fatores.

Com a ideia de estrutura bem definida, o *software* SolidWorks foi utilizado para projetar toda a parte mecânica, como mostra na Figura 3.1.

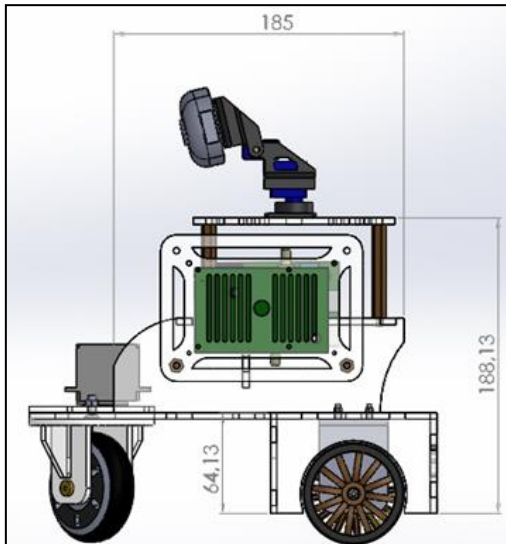
Figura 3.1 – Desenho em SolidWorks da estrutura do projeto



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

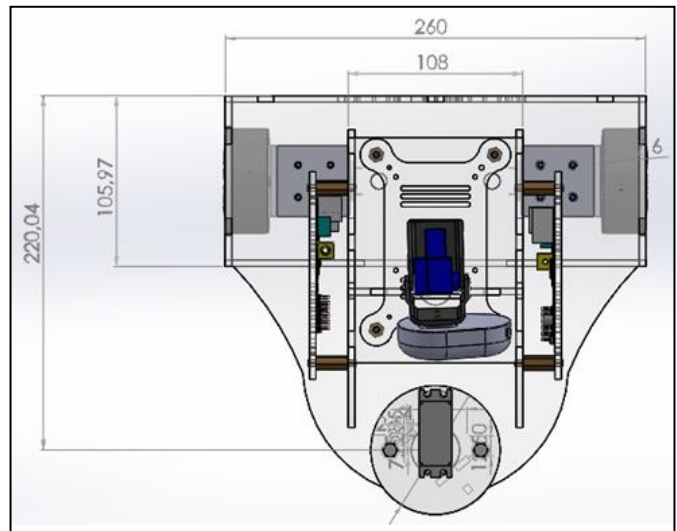
Nas Figuras 3.2a e 3.2b estão algumas dimensões do protótipo desenhado, para que se tenha ideia do tamanho real do robô.

Figura 3.2a – Medidas do protótipo
(vista lateral direita)



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

Figura 3.2b – Medidas do protótipo
(vista superior)



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

Depois de realizado o desenho no *software*, foi decidido que o material da estrutura seria em poliestireno (PS). A ideia inicial do material seria em acrílico, porém devido ao seu alto custo em relação ao poliestireno e levando em conta que suas características são muito semelhantes, optou-se pela aquisição de uma placa de poliestireno.

Após a aquisição da placa para confecção da estrutura, o desenho e o material foram enviados a uma empresa especializada em cortes a laser, uma vez que a precisão era necessária para que a estrutura ficasse firme e alinhada. Dessa forma, o material foi devolvido cortado em peças em condições para ser montado.

Com todas as peças cortadas, prosseguiu-se com a montagem da estrutura. Foi usada uma cola instantânea para a fixação das partes em plástico e parafusos para fixação de partes metálicas na estrutura (no caso, o suporte dos motores), e, também, espaçadores metálicos sextavados, conforme ilustra a Figura 3.3.

Figura 3.3 – Montagem parcial da estrutura



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016.

Primeiramente, montou-se a base, em seguida, o eixo de direção, no qual mais tarde foi acoplado um servomotor (será descrito na montagem elétrica). Após a montagem da estrutura, fixou-se o suporte para os motores de tração, mostrado em detalhe na Figura 3.4.

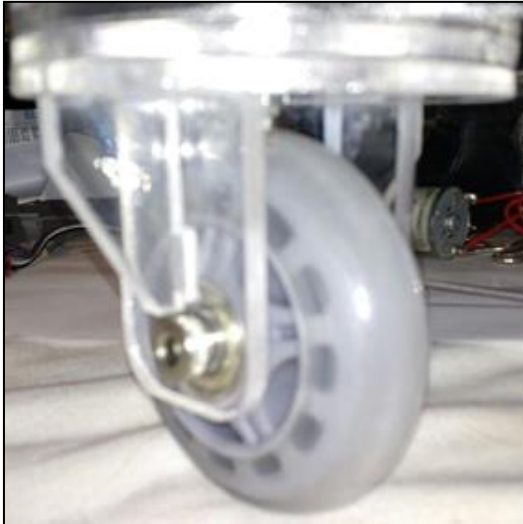
Figura 3.4 – Suporte para os motores de tração fixados



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016.

Após a estrutura ter sido montada quase que por completa, foram encaixadas as rodas, tanto as de tração, cujo objetivo é possuir a maior aderência possível (por isso escolheu-se uma que fosse emborrachada), quanto à de controle, que por sua vez não necessita de uma alta aderência (visamos neste caso, à viabilidade econômica), conforme as Figuras 3.5a e 3.5b.

Figura 3.5a – Roda de controle



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

Figura 3.5b – Roda de tração



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

Com a estrutura montada, iniciou-se o projeto do suporte da câmera. Algumas dificuldades surgiram nesta etapa. Inicialmente, o projeto da estrutura seria como o visto na Figura 3.6, porém por motivos de peso elevado, possíveis oscilações e a força que o servomotor necessitaria executar, optou-se em alterar a sua forma por completo.

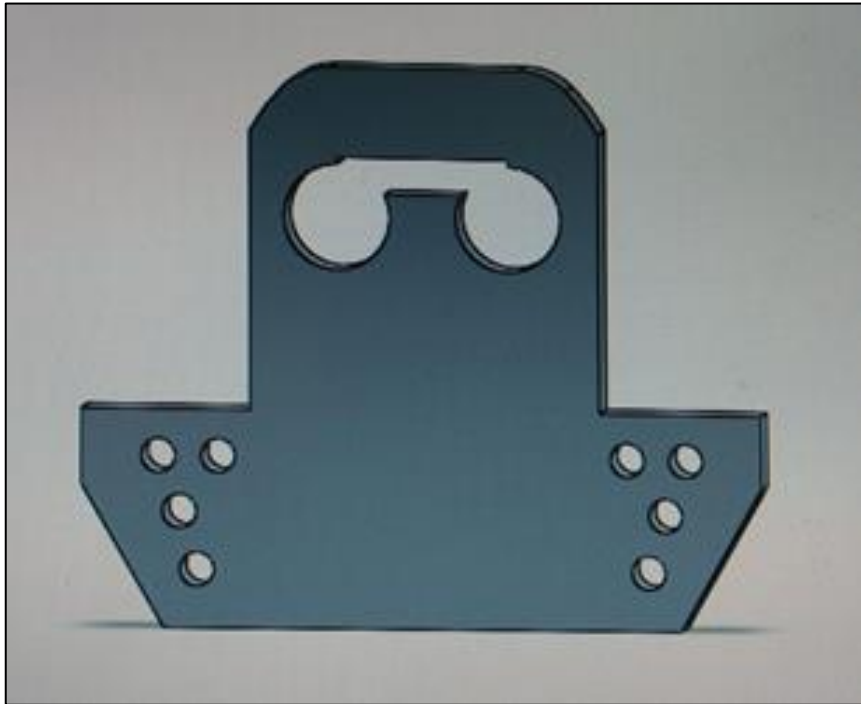
Figura 3.6 – Projeto inicial do suporte da câmera



Fonte: Autoria própria, 2016

O corte na placa de poliestireno já havia sido realizado, quando se percebeu que a placa seria demasiadamente pesada para que o servomotor da câmera pudesse realizar movimentos suaves, além disso, a geometria desenhada poderia amplificar as folgas naturalmente existentes no conjunto de engrenagens do servo. Após o teste, foi projetado outro suporte com base na ideia original. Após isso, foram efetuados cortes para diminuição de peso, conforme mostra a Figura 3.7.

Figura 3.7 – Projeto final, após primeiro teste do suporte da câmera



Fonte: Autoria própria, 2016

Com essa operação, a etapa de construção mecânica foi finalizada, possibilitando um foco na etapa de montagem dos subsistemas eletrônicos.

3.2 Montagem dos subsistemas eletrônicos

A tarefa inicial foi acoplar a placa da ponte “H” na estrutura. O componente em questão foi adquirido pela internet para que houvesse tempo para a montagem do protótipo todo, conforme ilustra o detalhe da Figura 3.8.

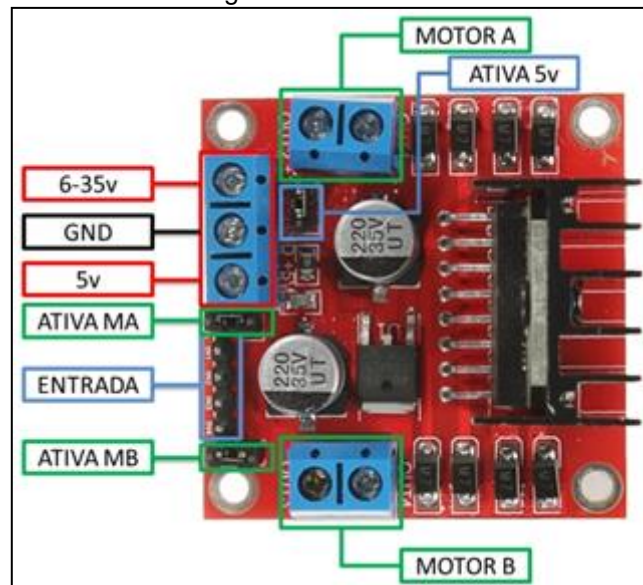
Figura 3.8 – Placa de ponte “H” acoplada ao robô e ligado aos motores



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

A placa possui duas saídas, sendo que ambas podem fornecer aos motores até dois ampéres (para cada motor). O circuito possui duas funções, inverter o giro dos motores (para que o robô possa se mover para trás) e controlar a velocidade de cada motor (utilizando saídas PWM²⁷ do Arduino, para realizar um controle diferencial, controlando a velocidade de cada motor de maneira proporcional ao ângulo de viragem da direção). A Figura 3.9 detalha os bornes de ligações.

Figura 3.9 – Ponte “H”

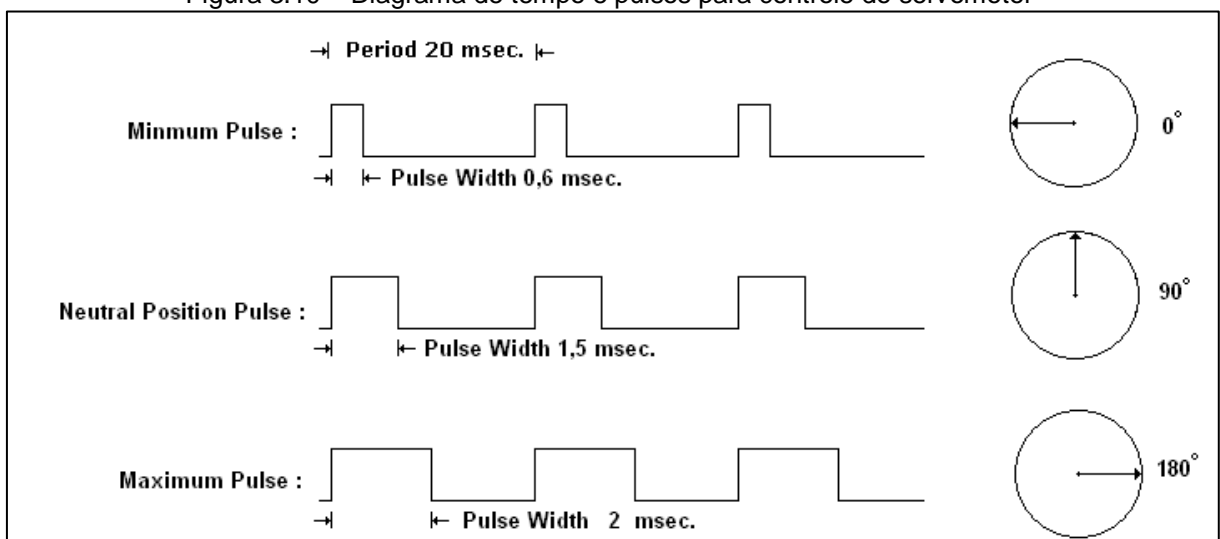


Fonte: www.blog.filipeflop.com, 2016

²⁷ PWM – *Pulse Width Modulation* (Modulação de Largura de Pulso).

Após conexão dos motores de tração, foi acoplado um servomotor à roda de direção. A escolha do servomotor se deve ao fato dele possuir uma boa precisão e repetibilidade em relação a posicionamento. Vale destacar também que o controle possui uma relativa facilidade quando conectado aos microcontroladores, neste caso uma placa embarcada Arduino. Para controle de posição do servo é necessário enviar um sinal a cada 20 ms de diferença entre os pulsos. Este sinal consiste em um pulso variando de 1 a 2 ms, o que faz com que o eixo no servo varie de 0° até 180°, conforme ilustra a Figura 3.10.

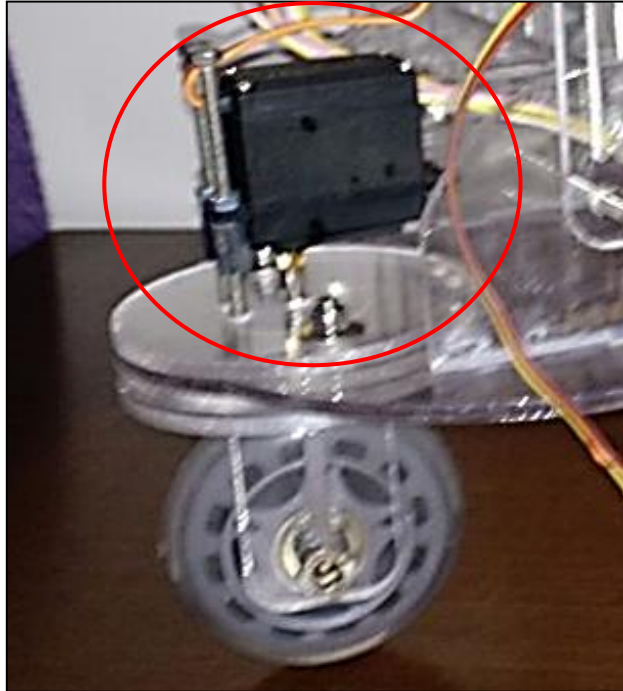
Figura 3.10 – Diagrama de tempo e pulsos para controle do servomotor



Fonte: <http://www.todopic.com.ar/>, 2016

Nessa fase, ocorreu um contratempo considerável. O servomotor que seria utilizado apresentou defeitos de posicionamento (durante testes preliminares junto à estrutura, o servomotor ignorou alguns comandos de incremento de ângulo), forçando a busca de novas alternativas. Na Figura 3.11, no detalhe é mostrado o servomotor já instalado na estrutura. É provável que a falha tenha ocorrido na parte eletrônica deste servomotor, pois ele possui engrenagens metálicas com melhores características de resistência mecânica, com menos folgas que um servo comum de engrenagens plásticas.

Figura 3.11 – Primeiro servomotor acoplado a estrutura (danificado)



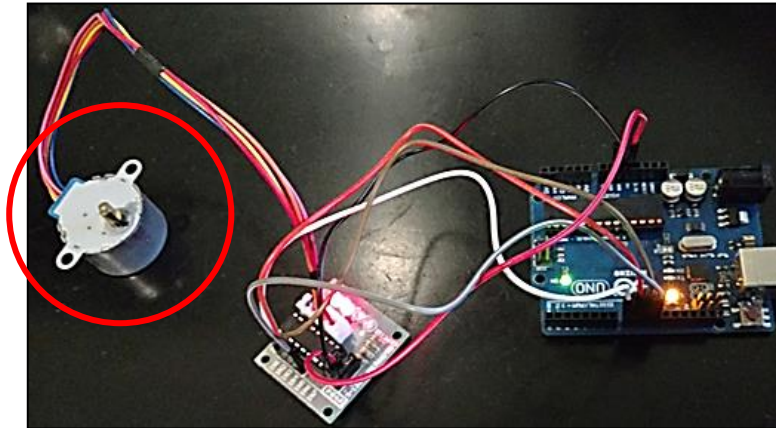
Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

Como primeira alternativa para solucionar essa questão, pensou-se na possibilidade do uso de um motor de passo para acionar o sistema de direção do robô. Testes de bancada foram realizados e obteve-se êxito quanto ao aspecto de posicionamento angular. O teste consistiu em ligar esse motor de passo a um *driver*, que recebia pulsos coordenados de um Arduino. O *driver* é responsável pelo acionamento das bobinas do motor de passo, conforme a Figura 3.12 em detalhe.

Na discussão sobre essa solução, colocou-se em questão a necessidade de um ponto inicial para que o robô parametrizasse como início da contagem do ângulo de viragem da roda, toda vez que o robô fosse ligado. Servomotores não necessitam desse tipo de dispositivo, pois possuem um sistema em malha fechada para seu posicionamento. Para corrigir essa deficiência do motor de passo, um fim de curso seria o indicado, porém isso tornaria a solução mais onerosa.

Outro ponto levado em consideração foi o fato de o motor de passo exigir corrente para se manter magnetizado de acordo com o ângulo escolhido, contribuindo para diminuir a autonomia da bateria. Esses dois problemas foram suficientes para abandonar a ideia do motor de passo.

Figura 3.12 – Teste em bancada com o motor de passo e o Arduino



Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

Para sanar esse problema e voltar a ideia do uso de servomotor, foi adquirido um servomotor de antena parabólica para o qual foi adequado um suporte para fixá-lo, conforme a Figura 3.13 (no detalhe). Isso permitiu uma boa economia, pois esse servo possui um preço baixo em relação a um novo de modelo MG995.

Figura 3.13 – Novo servomotor acoplado ao eixo e à estrutura

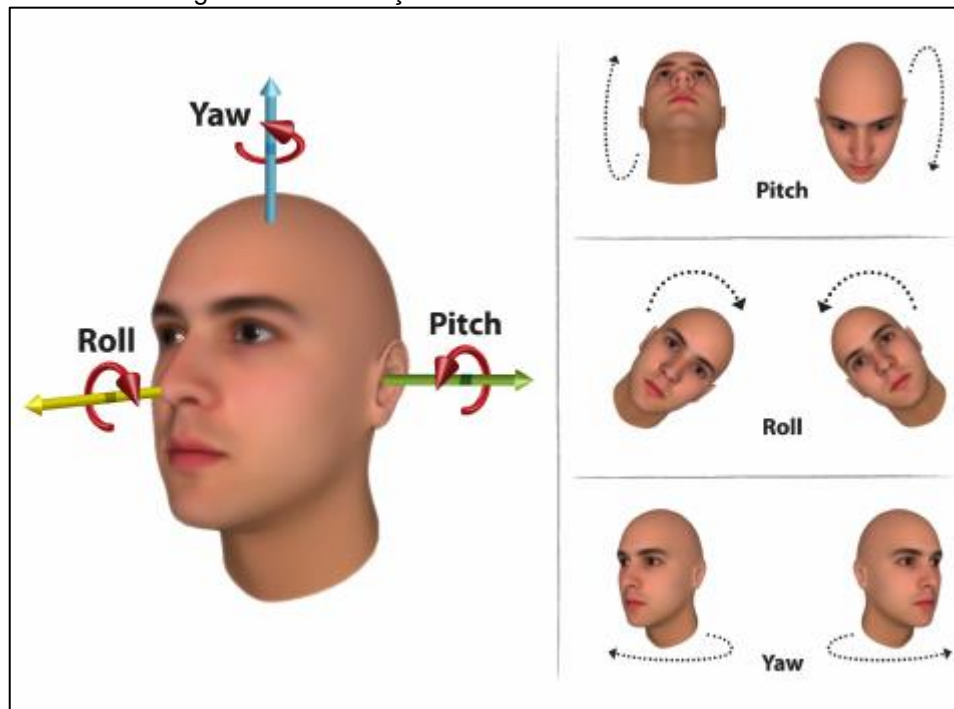


Fonte: Foto de Arquivo pessoal, 2016

Com o servomotor novo, o próximo passo foi montar o suporte da câmera. O suporte adotado consiste em uma base móvel acionada por dois servomotores, para movimentar a câmera em torno do eixo Y (*pitch*) e do eixo Z (*yaw*). Dessa forma, os movimentos da cabeça poderiam ser reproduzidos, fazendo com que o robô posicione a câmera de acordo com o ângulo de visão do operador, conforme mostra

a Figura 3.14. Nessa base móvel foi encaixado um suporte para a câmera, confeccionado de maneira que pudesse servir como base para encaixar a câmera, os leds para ambientes de baixa luminosidade e um sensor ultrassônico para medir a distância em relação a alguns obstáculos.

Figura 3.14 – Rotações relacionadas à visão humana.



Fonte: www.researchgate.net/, 2016

O aspecto do conjunto montado, servos e suporte, são mostrados na Figura 3.15.

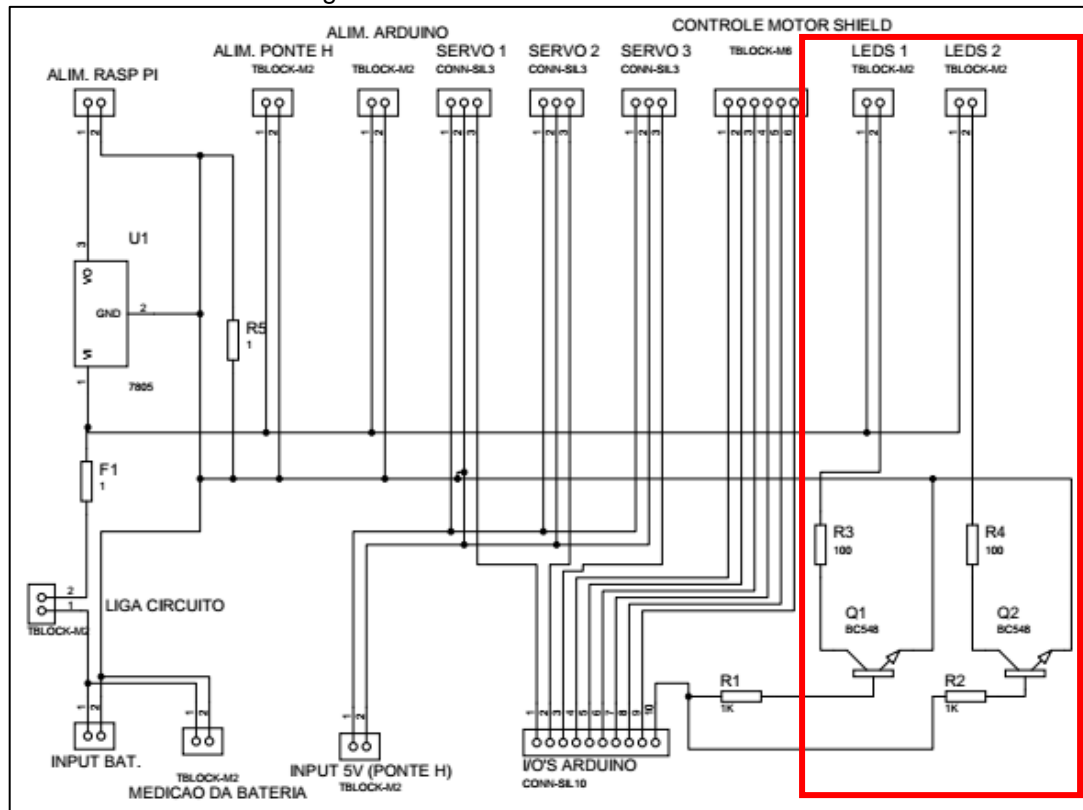
Figura 3.15 – Parte traseira do suporte da câmera



Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

Ao conjunto móvel da câmera foram anexados um sensor ultrassônico, leds e câmera. Para que os leds fossem acionados apenas quando o operador desejasse, foi elaborado um circuito de acionamento, objetivando também um baixo consumo de energia. O circuito de iluminação noturna está contido na placa de interface do robô e é destacado em vermelho, ilustrada na Figura 3.16.

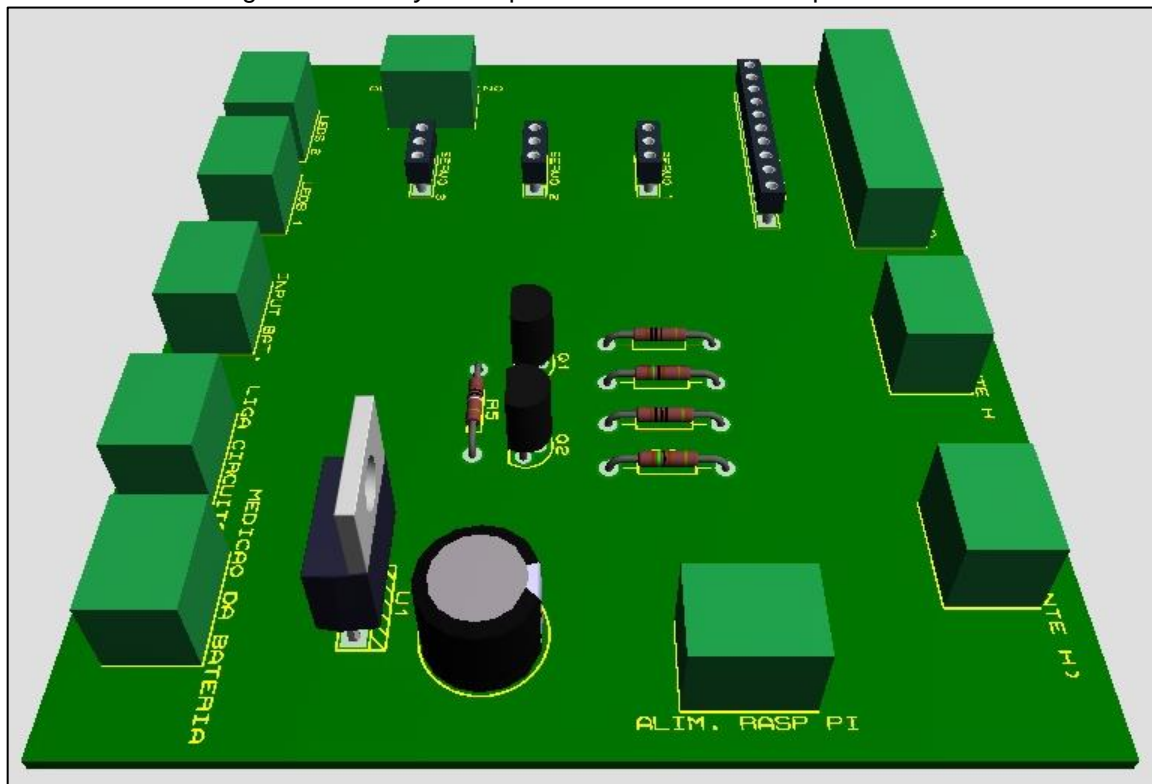
Figura 3.16 – Circuito de interface do robô



Fonte: Autoria própria, 2016

Após realizado o circuito no *software* ISIS, gerou-se um layout no ARES. O aspecto da placa montada com todos os componentes ficou semelhante à Figura 3.17.

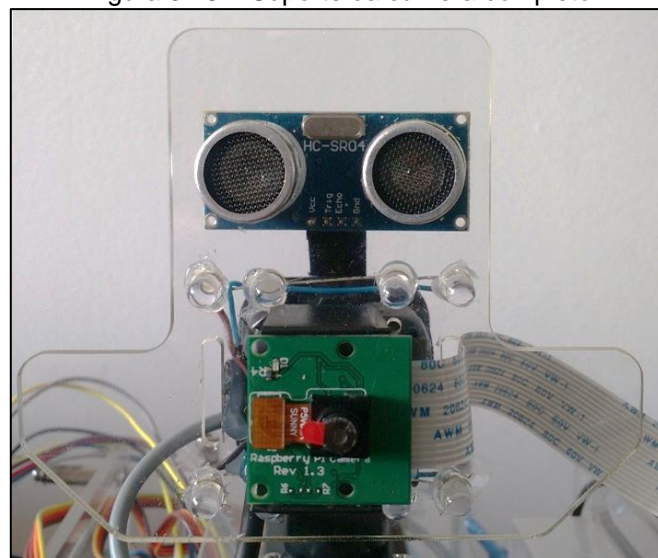
Figura 3.17 – Layout da placa de interface em 3D pelo ARES



Fonte: Autoria própria, 2016

Depois de acoplados todos os componentes, concluiu-se o suporte. Sua versão final é mostrada na Figura 3.18.

Figura 3.18 – Suporte da câmera completo

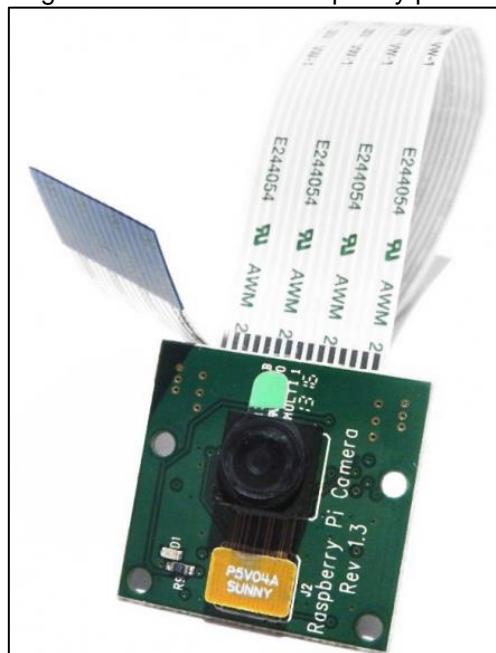


Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

A primeira câmera que seria utilizada no projeto era uma webcam comum. Porém, devido a diversas dificuldades de programação em relação à aquisição e processamento de imagens providas, optou-se por adquirir uma nova câmera.

A câmera atual é projetada para funcionar na placa embarcada Raspberry pi, sendo sua ligação por meio de um cabo flat (serial). Sua resolução é de 5 MP (mega pixels) para imagem, podendo gravar vídeos em até 1080 pixels, mostrando-se uma excelente substituta para a câmera anterior. Dessa maneira, simplificou-se demasiadamente a programação no Raspberry pi, pois antes seria necessário o uso de recursos de processamento de imagens, que embora sejam de código aberto, necessitaria-se de um bom conhecimento de programação. Para uso da Pi Camera (nome da câmera do Raspberry pi) existe uma compatibilidade maior de *hardware*, com uma velocidade otimizada de processamento, fato esse verificado em testes preliminares. A Figura 3.19 mostra uma câmera Raspberry pi V1.3.

Figura 3.19 – Câmera Raspberry pi V1.3



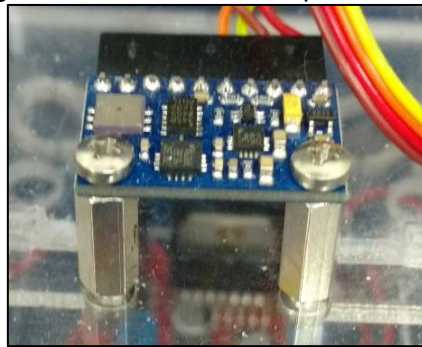
Fonte: www.modmypi.com, 2016

Foi adicionado à estrutura do robô um dos mais importantes subsistemas do projeto, uma placa de multissensores (GY-80 10 D0F). De modo que fosse possível avaliar qual seria a melhor localização, experimentamos algumas posições, tanto para permitir uma boa medição de inclinação da estrutura (Giroscópio e

Acelerômetro, sensores que estão presentes na placa) quanto para fazer as conexões junto ao Arduino Mega.

O objetivo de usar esse componente no projeto seria em relação a aquisição de dados do campo para que o operador pudesse tomar decisões analisando condições de onde o robô se encontra. Assim, seu papel no projeto trouxe extrema importância. Tal recurso representa uma espécie de “extensão sensorial do operador”, quase tão importante quanto à visão do operador. Na Figura 3.20 é mostrado o GY-80 acoplado à estrutura.

Figura 3.20 – Placa de múltiplos sensores



Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

Os subsistemas não acoplados à estrutura do robô consistem em óculos de realidade aumentada, celular e controle remoto bluetooth. O cardboard ou óculos de realidade aumentada, são tipos de suportes (para celulares) compostos por lentes cuja função é ampliar o campo de visão, gerando uma noção de profundidade. Daí origina-se a sensação de imersão, que é um dos grandes objetivos deste projeto.

O celular que exercerá o controle é um Moto X Play (Motorola). Ele possui uma tela de 5,5 polegadas, e o sistema operacional Android (mais adiante será explicado melhor a necessidade e seu uso). Possui sensores como, por exemplo, acelerômetro e magnetômetro, que no projeto será responsável por medir os ângulos e controlar remotamente os servomotores do sistema robótico (por meio de comandos codificados e enviados via comunicação *wireless*, processo este a ser explicado mais adiante). A Figura 3.21 ilustra o celular escolhido.

Figura 3.21 – Moto X Play (Motorola)



Fonte: <http://cdn.gsmarena.com/>, 2016

Os óculos empregados são do modelo Ritech II. Ele foi escolhido devido ao seu custo benefício. As lentes que o compõem podem ser ajustadas segundo a necessidade focal de cada usuário. Além disso, o mesmo mostrou-se confortável. A Figura 3.22 mostra o celular sendo encaixado nos óculos.

Figura 3.22 – Óculos com o celular no encaixe



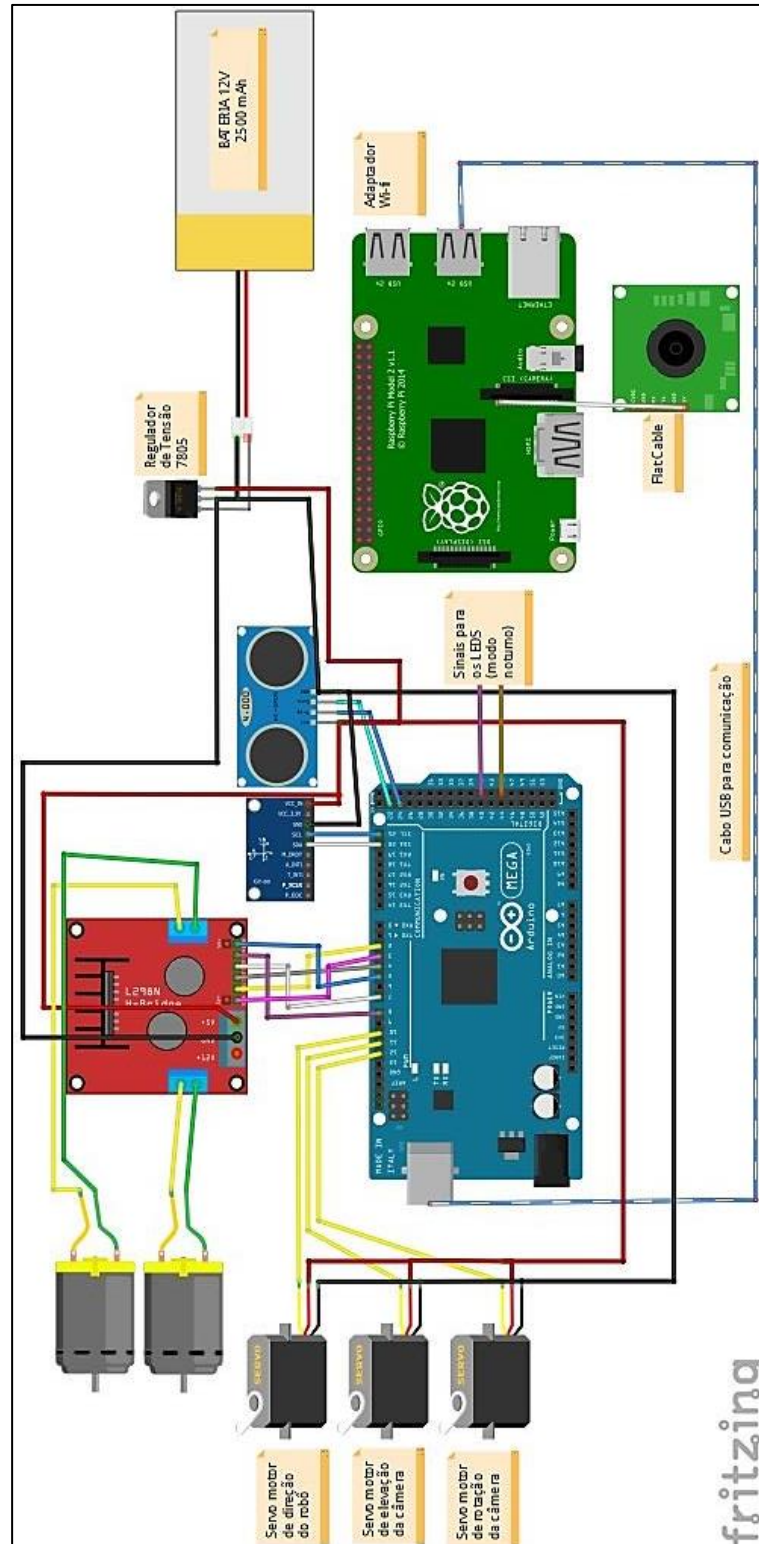
Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

Finalmente, foi elaborado um circuito demonstrativo de todos os subsistemas interligados (exceto o subsistema de visão, óculos e celular), como é mostrado na Figura 3.23. É utilizada uma bateria de 11,1 V por 2200 mAh, para que todos os circuitos possam obter autonomia suficiente e operar ininterruptamente por 2 horas. Dessa forma, temos estimado um consumo médio de 700 mAh.

O circuito foi desenvolvido em um *software* gratuito, disponível online, chamado Fritizing. Ele é muito utilizado em tutoriais de projetos didáticos mecatrônicos e/ou eletrônicos que utilizam sistemas embarcados como Arduinos,

Raspberries, Beaglebones, etc. O intuito do desenvolvimento deste circuito é ilustrar todas as conexões eletroeletrônicas presentes no robô, sendo que diferentes tecnologias estão presentes no circuito e interligadas.

Figura 3.23 – Circuito dos subsistemas do projeto ROBIMOT



Fonte: Autoria própria, 2016

Com os subsistemas integrados e testados individualmente, prosseguiu-se com a documentação sobre as programações realizadas no projeto.

3.3 Desenvolvimento de *softwares*

Nesta etapa, focou-se no desenvolvimento dos *softwares* empregados no projeto. Particularmente foram utilizados cinco tipos de linguagem diferentes, como por exemplo, Python (para a programação do Raspberry Pi), linguagem C (para a programação do Arduino), HTML (para que a imagem fosse mostrada no celular utilizando um navegador), C# (C *sharp* - para programação no Android), entre outras.

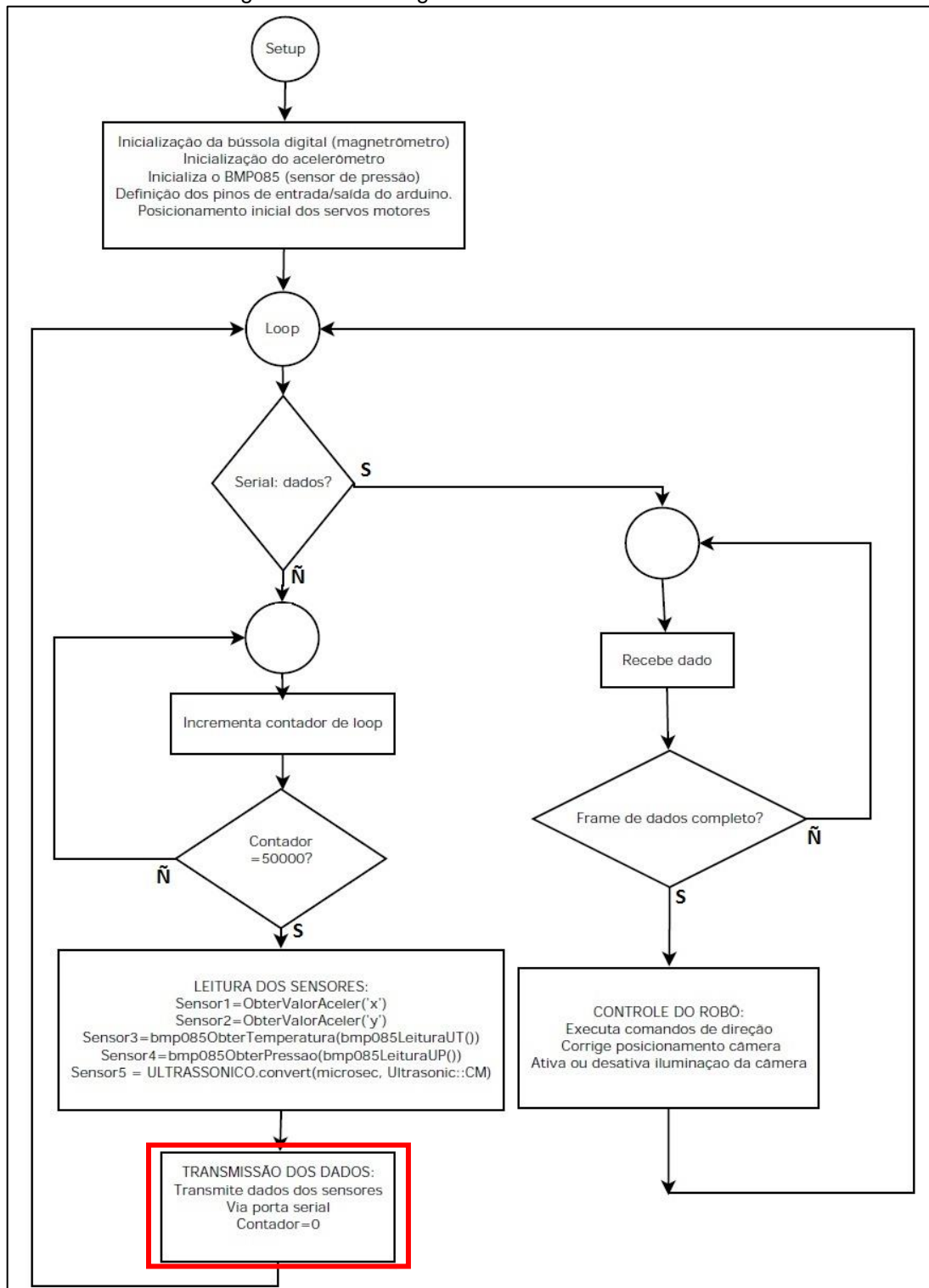
A integração dos *softwares* deve ser bem ordenada para que o funcionamento das funções do robô não sejam comprometidas. Para que isso fosse possível, idealizamos um protocolo definindo quais informações seriam enviadas e recebidas para o microcontrolador presente no projeto. A seguir, são apresentados exemplos de frames que estão presentes no protocolo, como por exemplo, o envio de dados do Raspberry para o Arduino.

Cada *hardware* para se comunicar com outro precisa de um meio físico. Neste projeto foram utilizadas redes *wireless* (comunicação bluetooth para o controle do robô e wi-fi para o Raspberry), RS-232 (para comunicar o Raspberry ao Arduino) e I2C (para realizar a aquisição de dados da placa de multissensores (GY-80 10 DOF com o Arduino).

Visando um fácil entendimento de cada passo que ocorre em cada programação, foram elaborados fluxogramas com as principais ações que ocorrem em cada *software*, onde também serão mostradas algumas das funções do protocolo.

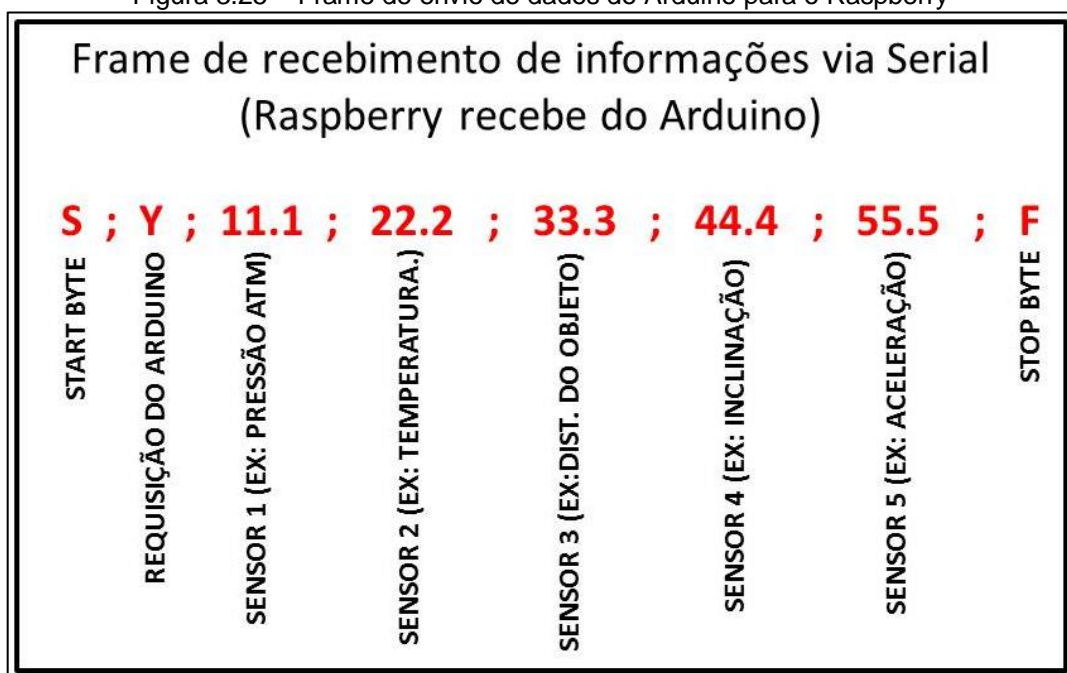
O primeiro fluxograma (Figura 3.24) apresenta o *software* do Arduino que é responsável pela aquisição de dados dos sensores, controle de todos os motores (servos motores da câmera, servomotor de direção e motores de tração) e controle da saída digital para iluminação noturna.

Figura 3.24 – Fluxograma do *software* do Arduino



Como dito anteriormente, o frame da transmissão de dados do Arduino será enviada ao Raspberry, conforme ilustra a Figura 3.25. O último bloco do conjunto de ações mostrado no fluxograma referente à transmissão de dados (que está destacado em borda vermelha), além de transmitir os dados adquiridos dos sensores, também zera o contador que foi utilizado apenas para que os dados não sejam adquiridos e enviados a todo momento pelo *scan* do Arduino, mas após 50000 *scans*.

Figura 3.25 – Frame de envio de dados do Arduino para o Raspberry



Fonte: Autoria própria, 2016

Convém alertar que tudo que é enviado de um microcontrolador a outro é esperado, ou seja, se existe um frame de envio de dados do Arduino ao Raspberry, também existe um frame de recebimento desses dados vindos do Arduino no Raspberry, sendo válido para todas as comunicações.

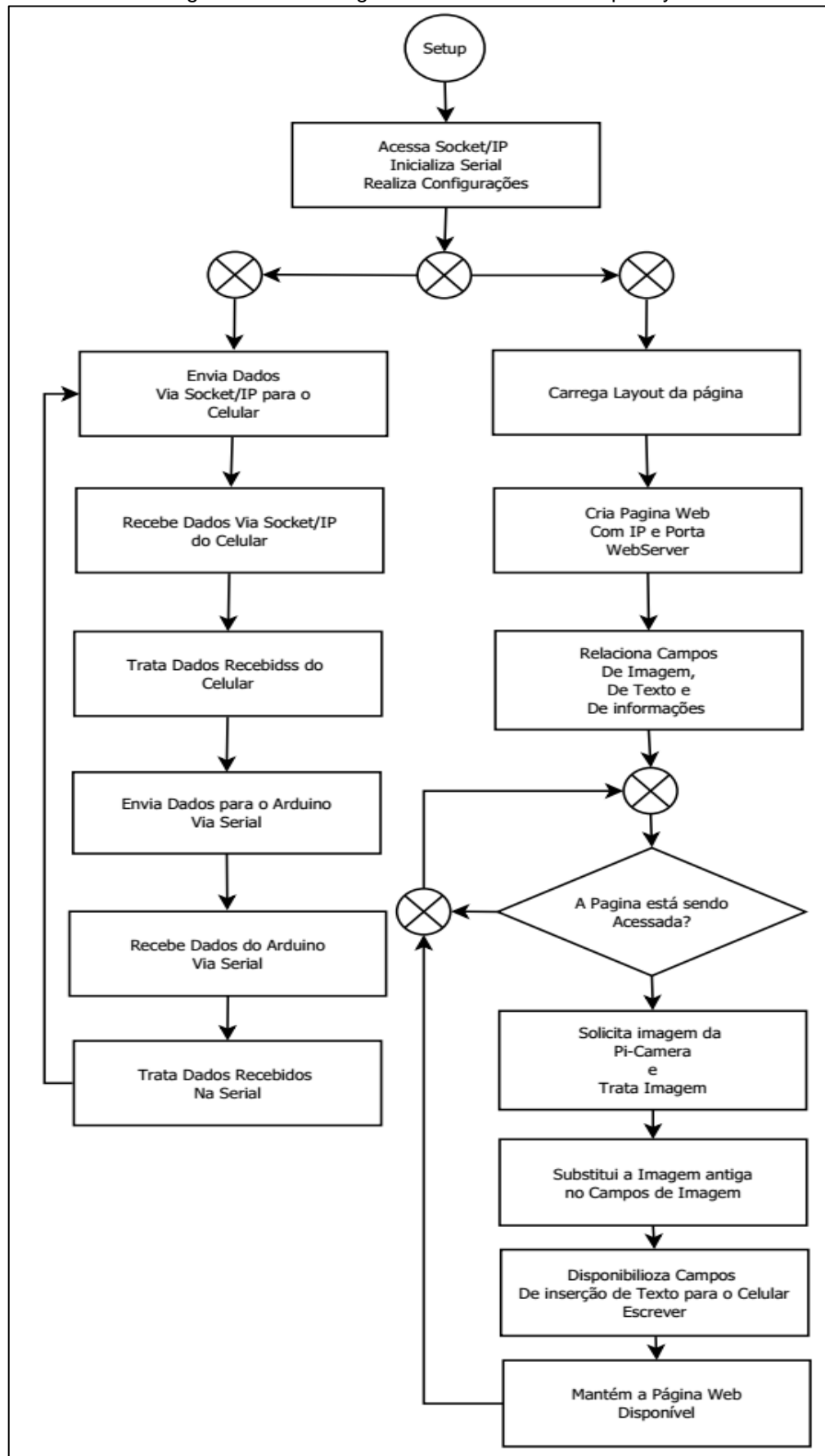
O próximo passo foi a elaboração do fluxograma do *software* do Raspberry pi. Como já mencionado, o Raspberry é como o cérebro do projeto, portanto, suas funções e atribuições são complexas e extensas, mais uma vez justificando a elaboração do fluxograma.

As atribuições do Raspberry são, dentre elas:

- receber os dados do Arduino via porta serial, e transmiti-los para o smartphone (dados dos sensores que serão mostrados na tela, por exemplo);
- receber dados de comando do smartphone e direcioná-los para o Arduino (acionar a iluminação noturna, que é realizado pelo controle bluetooth e executado pelo Arduino);
- fazer a aquisição das imagens da câmera (que também será enviado para o smartphone, junto a uma página em HTML que formata essa imagem para ser exibida no visor do celular);
- realizar todas as manipulações de dados para que os mesmos sejam compatíveis ou com o Arduino ou com o Android.

Como visto, o maior tráfego de dados está localizado no Raspberry, que funciona como uma “interface” entre Android e Arduino. A Figura 3.26 ilustra o fluxograma do *software* em questão.

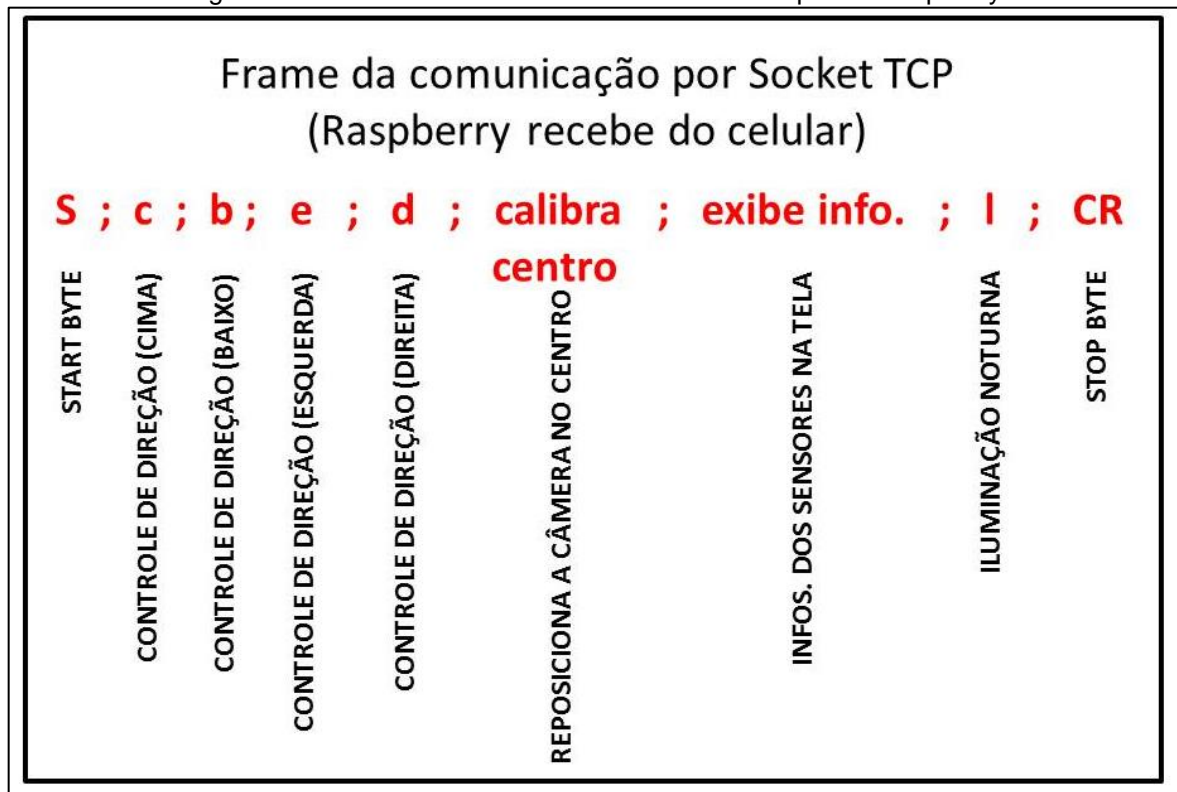
Figura 3.26 – Fluxograma do software do Raspberry



Fonte: Autoria própria, 2016

O Raspberry por ser o computador central possui todos os frames existentes no protocolo. Porém, iremos apenas exemplificar um que demonstra a comunicação da placa embarcada com o celular (smartphone com Android). O frame é mostrado na Figura 3.27.

Figura 3.27 – Frame de envio de dados do Android para o Raspberry



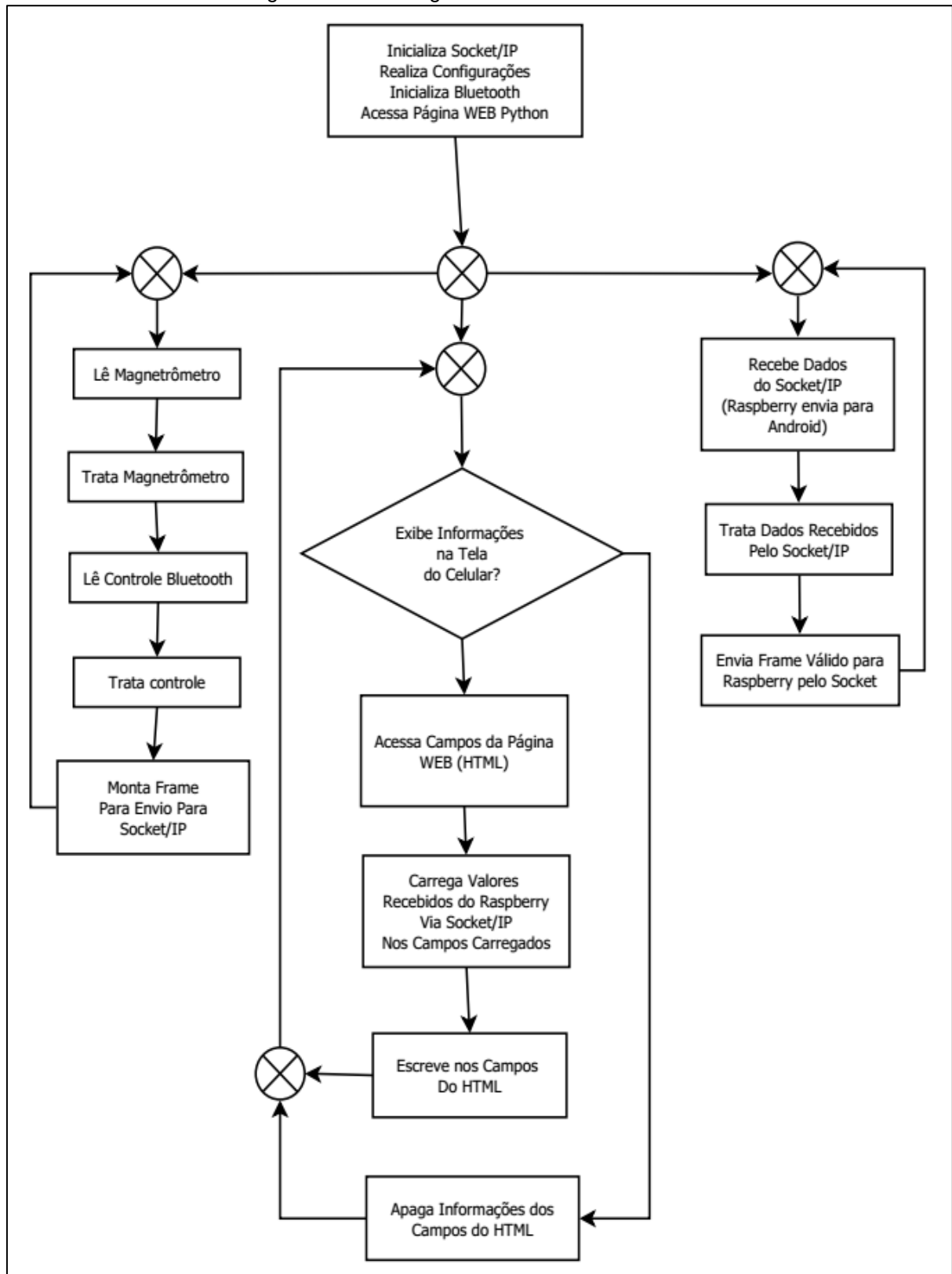
Fonte: Autoria própria, 2016

Para finalizar a etapa de desenvolvimento dos *softwares* foi desenvolvido o fluxograma do Android. O smartphone possui uma diferença em relação aos demais, o *software* dele é na verdade um aplicativo, que por sua vez só foi possível desenvolvê-lo, pois o código do Android é aberto. No aplicativo criado estão programadas todas as funções do Android que envolvem o smartphone como uma plataforma de visualização final, ou seja, onde finalmente os dados e a imagem da câmera do robô são exibidos, bem como está programado o envio de dados do sensor magnetômetro (para controlar os servomotores que movimentam a câmera) ao Raspberry.

Este *software* apresenta funções como a de criar um servidor local para a comunicação entre o Raspberry e o Android, além de receber comandos do controle

bluetooth e transmiti-los para o Raspberry. O fluxograma do Android é mostrado na Figura 3.28.

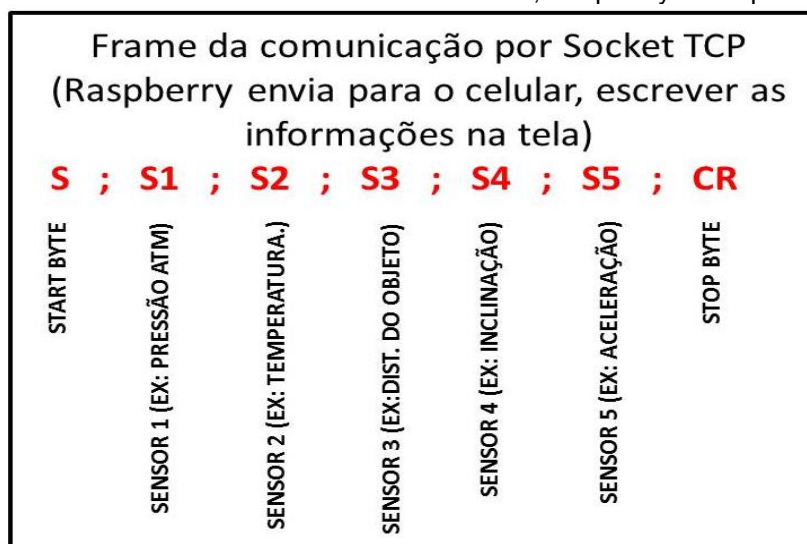
Figura 3.28 – Fluxograma do *software* do Android



Fonte: Autoria própria, 2016

O frame que é mostrado no exemplo da Figura 3.29 detalha o recebimento de dados no Android que foi enviado pelo Raspberry, ou seja, as informações que aparecerão na tela quando forem requisitadas pelo operador via comando do controle bluetooth.

Figura 3.29 – Frame de envio de dados dos sensores, Raspberry envia para o Android



Fonte: Autoria própria, 2016

Com os *softwares* elaborados, o próximo passo foi a execução de todos os testes necessários para que se pudesse avaliar o desempenho da plataforma.

3.4 Testes e resultados obtidos

Nesta etapa do projeto são apresentados os testes de desempenho, testes de integração dos subsistemas com o a construção mecânica, além de algumas análises para verificação dos resultados obtidos em relação aos esperados inicialmente.

O primeiro teste foi a integração dos subsistemas. O objetivo desses testes foi a de demonstrar todas as funções dos *softwares* funcionando de maneira integrada. Foi elaborada uma lista de entradas e saídas do Arduino, afim de facilitar a ligação dos sensores e atuadores. A lista de entradas e saídas é vista no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Lista de entradas e saídas do Arduino

I/O's Arduino	Descrição	Função
21	SCL	Linha de Clock (I2C)
20	SDK	Linha de dados (I2C)
2	IN1	Saída de controle Ponte H (M1)
3	IN2	Saída de controle Ponte H (M1)
4	IN3	Saída de controle Ponte H (M2)
5	IN4	Saída de controle Ponte H (M2)
8	Echo	Receber sinal de retorno do ultrassônico
9	Trigger	Enviar sinal para cálculo de distância
13	LEDS	Liga e desliga os Leds (Toggle)
6	PWM1	Controle PWM Ponte H(M1)
7	PWM2	Controle PWM Ponte H(M2)
10	Direção	Controle Servo De Direção
11	Elevação	Controle Servo de elevação da Câmera (Y-Pitch)
12	Horizontal	Controle Servo de rotação da Câmera (Z-Yaw)

Fonte: Autoria própria, 2016

Neste teste era esperado uma rápida resposta dos servomotores, bem como um envio eficiente das imagens captadas pela câmera. Era esperado também um controle adequado dos motores de tração, sendo um dos objetivos, o controle de direção diferencial. Na Figura 3.30 é visto um dos testes sendo realizado.

Figura 3.30 – Teste de movimentação da câmera

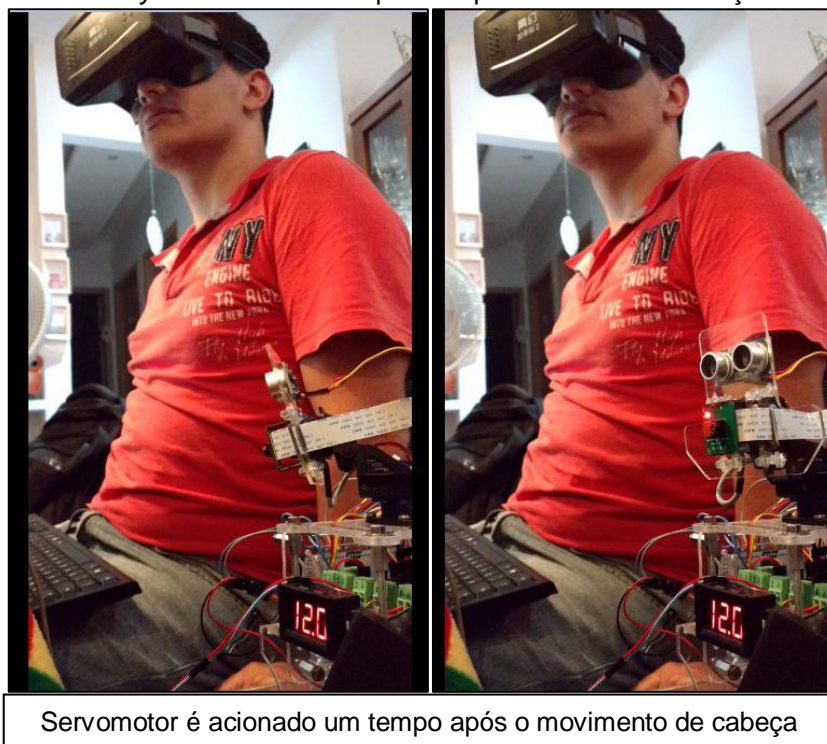


Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

Como resultados dos testes, obtivemos êxito nas propostas globais, com apenas alguns desvios em relação aos objetivos iniciais. O sistema da câmera apresentou um *delay* superior em relação ao esperado inicialmente, tanto no envio das imagens quanto no posicionamento dos servomotores. Trata-se, portanto, de

uma informação proveniente dos sensores do celular, que passa por várias etapas antes de serem enviados ao Arduino, sendo aceitável um atraso. Tomando como base o teste realizado utilizando um computador (os dados foram enviados via *software*²⁸ de comunicação). O tempo de *delay* medido foi de 200 ms, estabelecendo com isso um parâmetro inicial de comparação. Já o *delay* medido utilizando o aplicativo do celular (Android), obtivemos como resultado final um *delay* de 1200 ms, sendo a diferença de atraso 1000 ms em relação ao inicial, conforme Figura 3.31.

Figura 3.31 – *Delay* utilizando um computador para envio de informações ao Arduino



Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

O tempo de resposta da câmera previsto anteriormente foi medido a partir da análise de um vídeo gravado, sendo registrado um atraso de aproximadamente 1300 ms, conforme demonstra a Figura 3.32. Nesta fase foi utilizado um notebook para processamento e visualização da imagem proveniente da câmera. Verificou-se que testando a visualização de imagens por meio do aplicativo no celular, a defasagem aproximada foi de 1500 ms, gerando 200 ms a mais no atraso, sendo este o nosso resultado final.

²⁸ O nome do software é Hercules, da HW Group, muito utilizado em testes de firmwares que possuem comunicação. É uma ferramenta muito versátil pois ela envia dados via porta serial independente do seu protocolo.

Figura 3.32 – Delay utilizando o computador como processador de imagens



Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

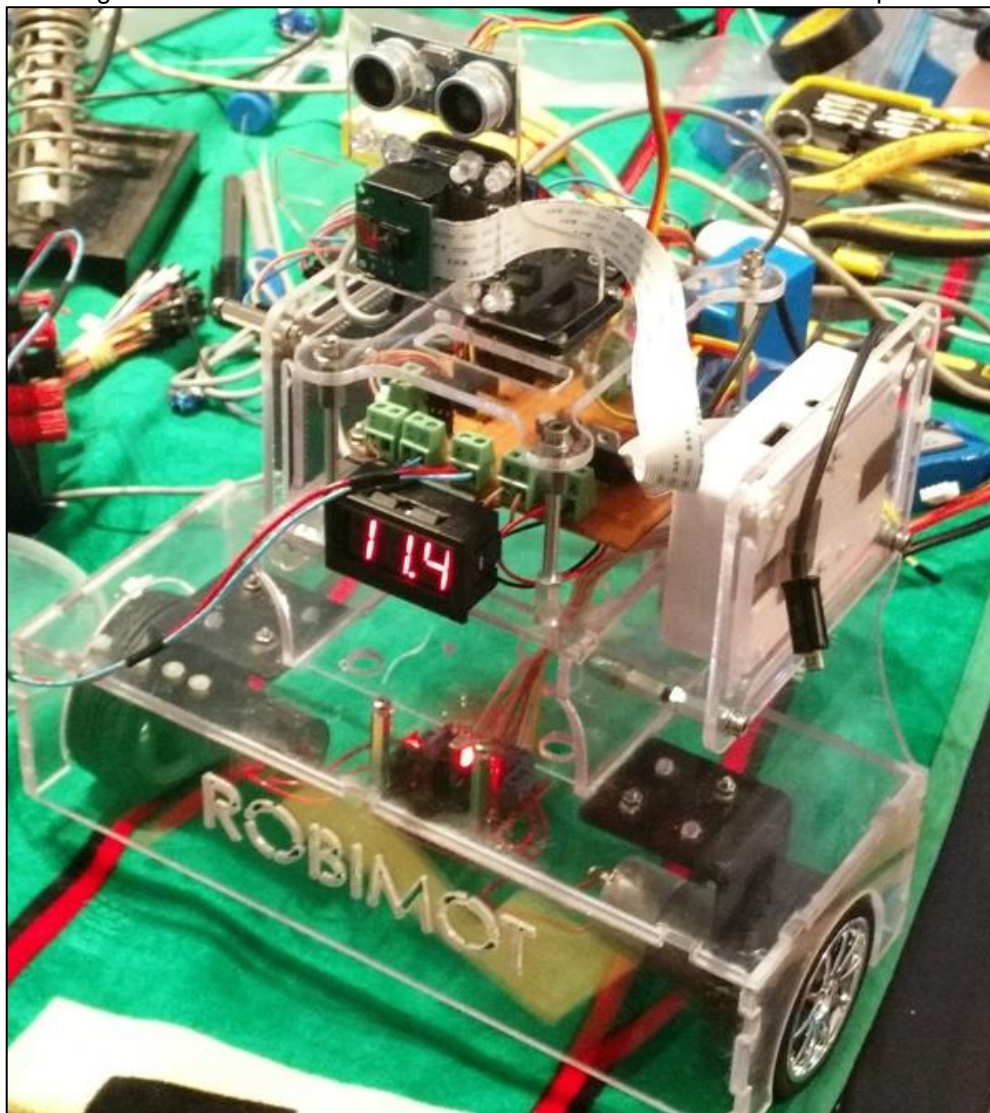
Consideramos que alguns fatores influenciaram nos resultados dos testes, tais como, o fato de a linguagem de programação ser de alto nível (exigindo maior processamento de dados), o tráfego de informações ser elevado, entre outros motivos não analisados. Isso justifica e torna aceitável o atraso.

Quanto ao sistema de direção diferencial, este funcionou satisfatoriamente em bancada (será descrito seu teste em outros ambientes mais adiante no trabalho). O ângulo enviado por um computador foi recebido diversas vezes pelo Arduino e o servomotor de direção, mostrou uma boa repetibilidade, apesar das folgas presentes.

Os próximos testes foram realizados tomando por meio da integração dos subsistemas mecânico, eletroeletrônico e *software*. Era esperada uma eficiência em relação aos movimentos, uma boa estabilidade na comunicação à distância, uma

resposta fiel dos sensores embarcados sob um consumo médio de 700 mAh do robô em atividade. A Figura 3.33 mostra o robô montado em bancada em teste.

Figura 3.33 – Testes de envio e recebimento de dados no robô completo



Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

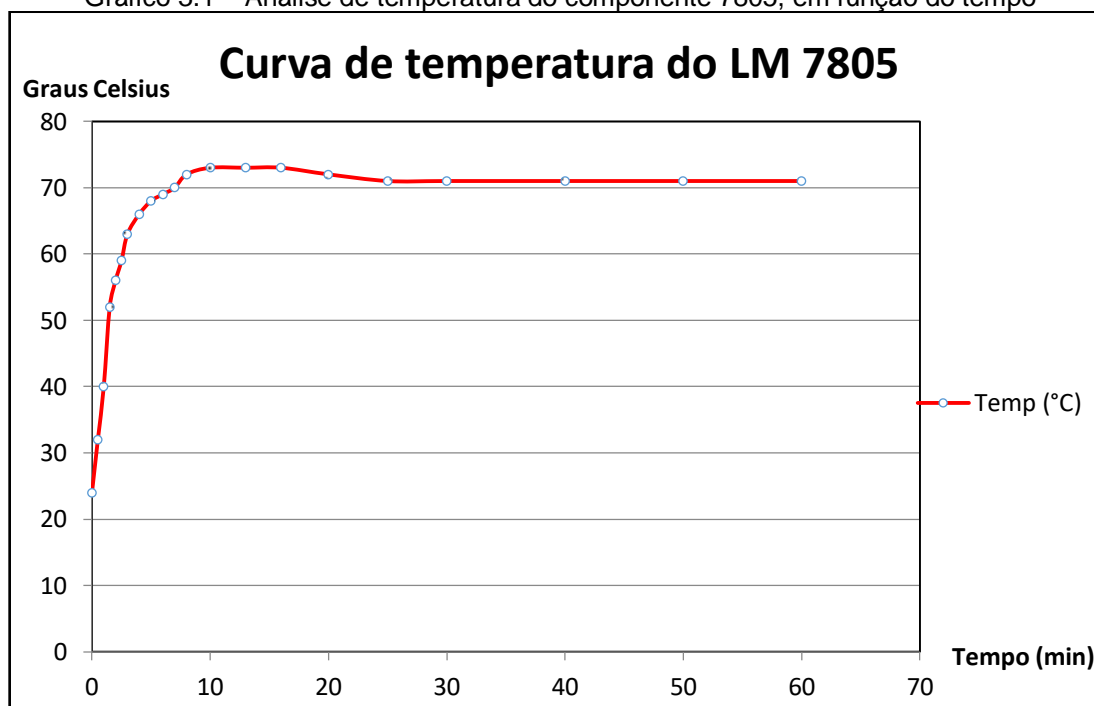
O resultado obtido foi próximo ao previsto. Por se tratar de uma comunicação sem fio, alguns ambientes podem interferir diretamente no controle do robô, pois um local onde a estrutura seja totalmente revestida de metal, não será possível controlar o robô, uma vez que o mesmo estará dentro de uma gaiola de Faraday, não permitindo nenhuma comunicação sem fio neste ambiente.

O alcance máximo da comunicação, obtido em campo aberto, utilizando um celular como roteador (comunicação local), foi registrado em aproximadamente 10 metros.

Durante os testes com todos os subsistemas interligados, verificou-se que um dos componentes da placa de interface apresentou um considerável aumento de temperatura. Decidiu-se então, analisá-lo, para garantir que o mesmo não viesse a dar algum problema futuramente. O componente verificado faz parte da placa de interface e tem a função de regular a tensão de alimentação para Raspberry pi. Trata-se de um regulador de tensão modelo LM7805, cuja alimentação de entrada deve estar acima de 7 V, de maneira a disponibilizar uma tensão de saída estável em 5 V, podendo fornecer até 1,5 A de saída. Foi verificado na folha de dados do componente, que sua temperatura de trabalho estava compreendida entre 0 °C e 125 °C, sendo a temperatura ideal aproximadamente 25 °C.

A plotagem dos valores de temperatura medidos conforme Gráfico 3.1 mostra que o componente analisado entrou em regime permanente em torno de 71 °C, após aproximadamente 25 minutos de uso.

Gráfico 3.1 – Análise de temperatura do componente 7805, em função do tempo



Fonte: Autoria própria, 2016

Por meio dessa análise, verificou-se apesar de o componente não se comportar como esperado, ainda encontrava-se na faixa indicada pelo fabricante. Para facilitar a transferência de calor no componente, foi adicionado um dissipador de calor. Considerou-se não existir riscos de mau funcionamento ao usar o regulador de tensão na temperatura medida.

A movimentação do robô apresentou resultados satisfatórios. Tal afirmação é possível, graças aos testes realizados em bancada dos subsistemas. Assim como projetado, o ângulo passado ao servomotor de direção funciona como parâmetro para determinar a velocidade de cada motor de tração. De acordo com cada situação, um fator de redução foi calculado e multiplicado ao valor de PWM, possibilitando com isso determinar a velocidade de cada motor em curvas ou movimentos em linha reta.

Para ângulos compreendidos entre 90° e 135°, ou seja, movimento à esquerda, o fator diferencial foi calculado via *software* Arduino de acordo com a equação [1], para ângulos maiores que 135°, foi aplicado fator unitário ao motor da direita e zero para o motor da esquerda. Para ângulos compreendidos entre 45° e 90°, que abrange os movimentos à direita, o fator foi calculado de acordo com a equação [2]. Abaixo de 45°, foi aplicado um fator unitário para o motor esquerdo e zero para o motor da direita. Para a movimentação à frente, o fator diferencial foi considerado unitário para ambos os motores, registrando com isso, velocidades semelhantes:

$$fator\ diferencial = \frac{(angulo - 90^\circ)}{45^\circ} \quad [1]$$

$$fator\ diferencial = \frac{(angulo - 45)}{45^\circ} \quad [2]$$

Dessa forma, na rotina de *software* Arduino, o valor final de PWM aplicado aos motores de tração era determinado de acordo com as equações [3] e [4] para movimentos à direita e equações [5] e [6] para movimentos à esquerda:

$$PWM\ (motor\ direito) = fator * valor\ PWM \quad [3]$$

$$PWM (\text{motor esquerdo}) = \text{valor PWM} \quad [4]$$

$$PWM (\text{motor direito}) = \text{valor PWM} \quad [5]$$

$$PWM (\text{motor esquerdo}) = \text{fator} * \text{valor PWM} \quad [6]$$

Na etapa de testes dos sensores apareceram desafios inesperados. Durante a junção dos subsistemas, os sensores estavam funcionais. Entretanto, após a junção de todos os conjuntos na estrutura mecânica, a placa de sensores embarcados apresentou um mau funcionamento. Alguns sensores que compõe a placa não estavam funcionando conforme esperado. É provável que tenha ocorrido alguma sobrecarga nesse subsistema, ou até mesmo durante a montagem de todos os subsistemas possa ter ocorrido uma descarga eletrostática.

Em relação a autonomia e consumo médio, elaborou-se um quadro com todos os componentes que estão presentes no projeto, apresentando o consumo de cada um deles. Estes valores são comparados com os valores medidos, para verificação se o real consumo está próximo ao estimado. O Quadro 3.2 mostra a comparação entre os valores que são dados nas folhas de dados, e os valores medidos.

Quadro 3.2 – Comparação entre valores de consumo nominal e medidos

Nome do componente	Tensão de Alimentação	Corrente Nominal	Corrente Medida
GY-80 10 D0F	3.3 V	3 mA	3 mA
Raspberry pi	5 V	650 mA	200 mA
Arduino Mega	12.2 V	400 mA	100 mA
Ponte "H"	12.2 V	550 mA	500 mA
(3) Servomotores	5 V	20 mA (cada)	15 mA
(2) Motor de Tração	12.2 V	250 mA (cada)	180 mA
Sensor Ultrassônico	5 V	15 mA	10 mA
		Total: 2178 mA	Total:1008 mA

Fonte: Autoria própria, 2016

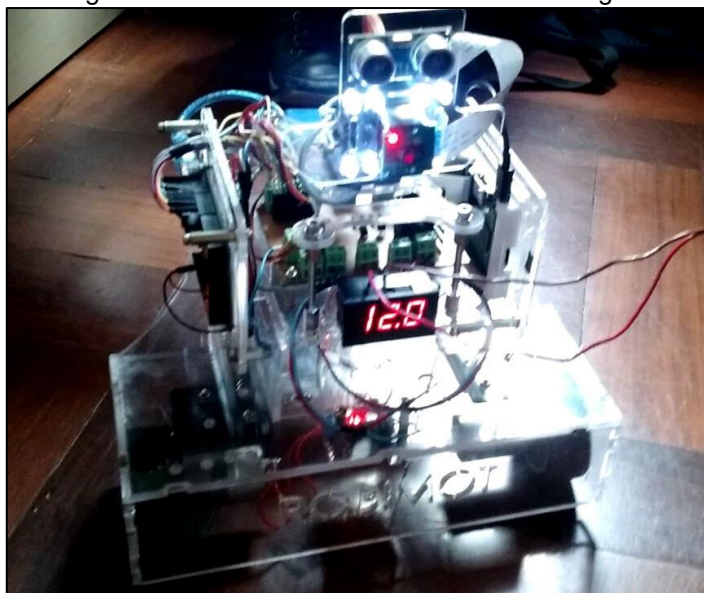
Com isso foi possível verificar que a bateria seria útil durante 1 hora e 10 minutos do tempo previsto, sendo que tais medidas mostraram que na verdade o

tempo previsto é mais curto do que se esperava, reduzindo 50 minutos das 2 horas iniciais.

Realizados todos os testes pertinentes à montagem e funcionamento do robô, focou-se nos testes em diferentes ambientes para averiguar quais são os ambientes e situações mais problemáticas para a atuação do robô.

O primeiro ambiente onde o robô foi testado foi em um ambiente aberto, com o solo bem regular (madeira lisa) e com poucos obstáculos para a comunicação (paredes com portas abertas). Notou-se um fácil controle do robô, tanto do sistema da câmera, quanto da própria movimentação do robô. A comunicação se manteve estável até cerca de 10 metros de distância do operador até o robô (isso se deve ao fato de que o próprio roteador não possuía potência suficiente para maiores distâncias). Este é o ambiente ideal para este robô, pois todos os fatores são favoráveis. Uma imagem do robô no ambiente é mostrada na Figura 3.34.

Figura 3.34 – Robô sendo testado em solo regular

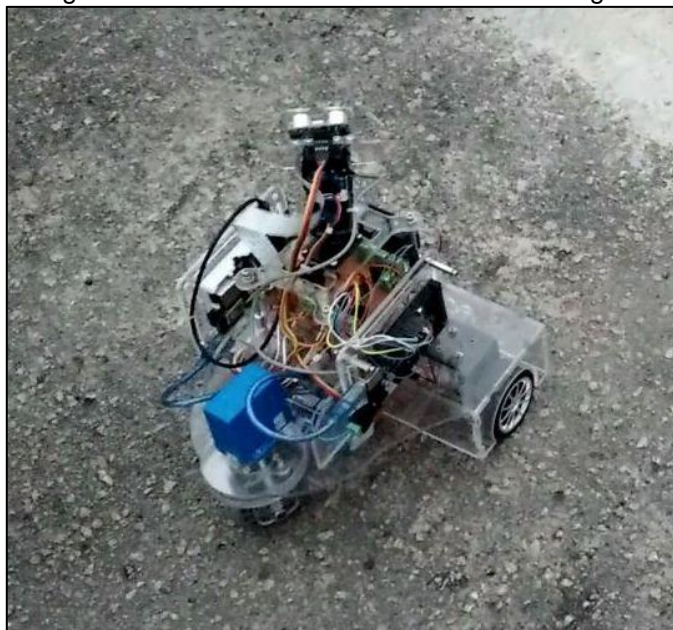


Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

O segundo ambiente foi em um solo acidentado (rua asfaltada). O ambiente era aberto e também não possuía nenhum obstáculo para a comunicação. O controle do robô ainda continuou fácil em relação aos seus movimentos, porém, em relação à câmera, obteve-se certa dificuldade, pois existiu muita vibração na estrutura e, portanto, as imagens ficavam desfocadas conforme o robô andava.

Caso o robô não estivesse em movimento, as imagens mantinham uma qualidade melhor e mais nítida. Analisou-se que para o robô efetuar seu movimento de forma eficiente neste tipo de terreno, deveria-se criar uma estrutura mais robusta, com um sistema de amortecimento e, até mesmo, mudar o estilo das rodas. A Figura 3.35 mostra o robô sendo testado no ambiente em questão.

Figura 3.35 – Robô sendo testado em solo irregular



Fonte: Foto de Arquivo Pessoal, 2016

O terceiro ambiente foi em um solo com vegetação (campo gramado). Um ambiente aberto e que também não possuía nenhum obstáculo para comunicação. O sistema de câmera apresentou resultados satisfatórios em relação ao seu controle. Já o controle do sistema de direção do robô, apresentou certas dificuldades. A primeira, se deu ao fato do solo possuir diversas irregularidades, sendo que a roda que está acoplada ao robô, não é adequada para esse tipo de terreno. Em relação à tração, também seria necessário um motor com mais torque, pois tratando-se de um ambiente em que o robô possa ficar preso, faz-se necessário possuir um torque maior para que o mesmo possa sair dessa situação sem dificuldades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o desenvolvimento do projeto, foi no decorrer da sua construção e durante os testes do protótipo, que foram registradas algumas dificuldades técnicas, que foram sanadas com decorrer do tempo. Verificou-se que apesar de os objetivos iniciais terem sido alcançados, o funcionamento do sistema de imagens sofreu algumas falhas devido à problemas de conexão, além da câmera adotada possuir conexões frágeis. O sistema de controle e monitoramento de sensores ficou sujeito a atrasos de resposta devido à alta taxa de dados que é transmitida (imagens providas da câmera). Percebeu-se que o atraso agravava-se com o aumento da distância. No entanto, como eram conhecidas as limitações do projeto, considera-se como alcançados os objetivos iniciais.

A experiência mostrou diversos aspectos passíveis de melhorias para tornar o projeto aplicável, principalmente no que se refere ao sistema de controle, comunicação, alimentação de energia e à estrutura mecânica. Por exemplo, o sistema de controle pode ser otimizado, trazendo elementos de controle semiautomático para oferecer ao operador uma navegação segura e precisa. Dessa forma, acrescentaria-se um sensoriamento da distância percorrida e do ângulo de giro das rodas, de maneira a planejar o deslocamento evitando acidentes, pois o sistema poderia fazer o processamento da imagem e detectar obstáculos, evitando, com isso, um deslocamento que pudesse comprometer o próprio robô.

Ao sistema de comunicação poderia se adicionar um recurso de cabeamento, para suprir energia e transmissão de dados, operando em ambientes enclausurados, sem possibilidade de comunicação sem fio.

Referindo-se ao sistema de energia, percebe-se que as soluções são limitadas à otimização do consumo de cada subsistema, por meio da adoção de controladores e atuadores de baixo consumo, adicionando baterias de alta capacidade como as do tipo LiPo e gerenciando a energia restante para o retorno para recarga. Isso não seria um problema em aplicações com alimentação externa.

A estrutura mecânica adotada possui meramente função demonstrativa, sendo necessário projetar uma que fosse apropriada para cada necessidade, por exemplo, em terrenos acidentados a estrutura deveria acompanhar e suportar as irregularidades do terreno.

Com todas as melhorias implementadas, o ROBIMOT encontraria aplicação em atividades de monitoramento ambiental, podendo monitorar a qualidade do ar, da água, do solo e da vida microscópica, trazendo dados valiosos para pesquisas de interesse industrial ou acadêmico.

As pesquisas conduzidas até o momento permitiram satisfazer os objetivos iniciais quase em sua totalidade. Consideramos que outras melhorias possam ser realizadas em pesquisas para trabalhos futuros, tendo em mente o aspecto desafiador do projeto, bem como seu grande potencial de aplicação. Por exemplo, o sistema de monitoramento à distância necessita de maiores desenvolvimentos em relação ao processamento de imagens. Outros aspectos como o controle semiautônomo, muito importante em robôs móveis, também poderia ser colocado em discussão em um projeto que fizesse uso do protótipo já montado, agregando a ele novas aplicações e tarefas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. U. B. de.; THOMAZINE, D. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 8.ed. São Paulo: Érica, 2012.

ALMEIDA, D. Radiação: Heróis têm sentença de morte. **Gazeta do Povo**, Curitiba, 19 mar. 2011. Disponível em : <<http://www.gazetadopovo.com.br/mundo/herois-tem-sentenca-de-morte-emm5d9b3ii02qs3sfwhiyfexa>>. Acesso em: 12 jun. 16.

BARR, M. **Programming Embedded Systems in C and C++**. Oklahoma: O'Reilly, 1999.

BBC. **Terremoto no Japão é o 7º mais forte da história**. 2011. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2011/03/110311_piores_terremotos_rp.shtml>. Acesso em: 12 jun. 16.

BECKER, M.; SAMPAIO, R.C.B. Robôs Aéreos: A invasão já começou. **Ciência Hoje**. São Paulo, v. 50, n. 300, p. 20-25, jan. 2013.

BRÄUNL, T. **Embedded Robotics**. 2º ed. Crawley: Springer, 2004.

HERMINI, H. A. **Glossário de Termos Técnicos**. Campinas: Unicamp, 2003.

JÁCOBO, J. E. A. **Desenvolvimento de um Robô Autônomo Móvel Versátil utilizando Arquitetura Subsumption**. 2001. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Mecânica Computacional, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. *In*: RIBEIRO, M.W.S; ZORZAL, E.R. (Orgs). **Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências** - Livro do Pré-Simpósio, XIII Symposium on Virtual Reality and Augmented Reality. Belém: Editora SBC, 2011. Capítulo 1, p. 08–24.

KIRNER, C.; TORI, R. Fundamentos de Realidade Aumentada. *In*: SISCOUTO, R. A. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**: Livro do Pré-Simpósio, VIII Symposium on Virtual Reality. Belém: Editora SBC, 2006. Capítulo 22, p. 22–38.

KOBAYASHI, C. Y. **A tecnologia Bluetooth e aplicações**. Resumo para a disciplina de graduação do Instituto de Matemática e Estatística – Computação Móvel. São Paulo: IME USP, 2004. 5 p.

LABORATÓRIO DE SISTEMAS INTELIGENTES. **Robôs espaciais**. São Paulo. Disponível em: < <http://www.sel.eesc.usp.br/lasi/Espacial/Espacial>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

LAVALLE, S. **VIRTUAL REALITY**, Illinois: DRAFT, 2016. 283 p. Disponível em < <http://vr.cs.uiuc.edu/vrbook.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2016.

MURPHY, R. R. **Introduction to AI Robotics**. Cambridge: MIT Press, 2000.

NOURBAKHSI, I. R.; SIEGWART, R. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**. Cambridge: MIT Press, 2004.

OSÓRIO, F. S.; PESSIN, G. **Robótica Autônoma: Tipos de Robôs**. Apostila para disciplina de graduação do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, SSC0714 – Robôs Móveis Autônomos. São Carlos: ICMC-USP, 2008. 13 p.

OTTONI, A. L. C. **Introdução à Robótica**. Material de estudo para a Olimpíada de Robótica do Campo das Vertentes. São João Del-rei: Universidade Federal de São João Del-rei, 2010.

PASSOLD, F. **Introdução à Robótica**. Apostila para curso de extensão da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2004. 58 p.

REVISTA PISCINA E AFINS. **Robótica subaquática e suas aplicações**, 2014. Disponível em: <<http://revistapiscinaseafins.com.br/blog/?p=1622>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

RICHARDSON, M. **Primeiros Passos com Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec, 2013.

ROBERTS, M. Mc. **Arduino Básico**. 1.ed. São Paulo: Novatec, 2011.

ROBOEDUC. **Introdução a Robótica**. Natal, 2009. 73p.

ROBOTIC INDUSTRIES ASSOCIATION, **Robot definition**. Michigan, 1974

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

SANDIN, P. E. **Robot Mechanisms and Mechanical Devices**: Illustrated. New York: Mcgraw-hill, 2003.

SANTOS, S. R. **Sistemas inteligentes adaptativos aplicados a um robô auto-equilibrante de duas rodas**. 2015. 171 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SECCHI, H. A. **Una Introducción a los Robots Móviles**. 2008. 81 p. Tese (Doutorado) - Universidad Nacional de San Juan, San Juan, 2008.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 24.ed. São Paulo: Cortez Editora, 2016.

SOUZA, J. A. M. F. de. **Robótica**. Apostila para disciplina de graduação da Universidade da Beira Interior, 1920 – Automação e Robótica I. Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2005. 307 p.

TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos de Realidade Virtual. *In*: SISCOUTO, R. A. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**: Livro do Pré-Simpósio, VIII Symposium on Virtual Reality. Belém: Editora SBC, 2006. Capítulo 1, 2–21.

WISE, E. **Robotics Demystified**. New York: Mcgraw-hill, 2004.

WOLF, D. F. et al. Robótica Móvel Inteligente: Da Simulação às Aplicações no Mundo Real. *In*: **JORNADAS DE ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA**, 28, 2009, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: UFRGS, 2009. 51p.