



Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Departamento de Ciência da Computação

Marcelo Moura Caires

**Desenvolvimento de um Módulo Controlador como  
Ferramenta para Viabilização de Projetos de Robótica  
Educativa**

Vitória da Conquista/BA

2013

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Marcelo Moura Caires

Desenvolvimento de um Módulo Controlador como Ferramenta para Viabilização de  
Projetos de Robótica Educativa

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Banca Examinadora do  
Colegiado de Ciência da Computação da  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
como exigência final para obtenção do título  
de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Roque Mendes Prado Trindade

Vitória da Conquista/BA

2013

Desenvolvimento de um Módulo Controlador como Ferramenta para Viabilização de  
Projetos de Robótica Educativa

Marcelo Moura Caires

BANCA EXAMINADORA

.....  
Prof. Dr. Roque Mendes Prado Trindade  
Orientador

.....  
Prof. Me. Stenio Longo Araújo

.....  
Prof. Me. Adilson de Lima Pereira

## RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um módulo controlador que possa ser utilizado como ferramenta na elaboração de projetos de robótica educativa, em escolas da rede pública de ensino. A idéia do desenvolvimento desse módulo controlador surgiu com o anseio e a necessidade de levar à comunidade escolar de baixa renda técnicas de ensino mais dinâmicas e motivadoras, através da robótica, utilizando material de baixo custo.

A robótica educativa pode se tornar estimulante quando utilizado com o objetivo de levar o aluno à busca, experimentação e solução de problemas cujas resoluções exijam criatividade e cooperação na programação e montagem de robôs, daí a necessidade de desenvolvimento de um módulo de controle que possa viabilizar o desenvolvimento de experiências em robótica, como meio de aplicação e experimentação de idéias na resolução de problemas.

No desenvolvimento deste trabalho são estudados e apresentados vários conceitos envolvendo a construção de robôs e o uso da robótica como ferramenta de auxílio ao ensino. Ao final é desenvolvido e apresentado um protótipo do módulo controlador proposto, aplicado a um projeto simples de robótica, com o fim de comprovar sua viabilidade.

**Palavras-chave:** Robótica, Educação, Módulo Controlador, Robótica Educativa.

## **ABSTRACT**

This work proposes the development of a controller module that can be used as a tool in the development of educational robotics projects in public schools teaching. The idea of developing this module controller came with the desire and the need to bring to the school community of poor teaching techniques most dynamic and motivating through robotics, using low cost material.

The educational robotics can become challenging when used with the goal of bringing the student to the pursuit, trial and troubleshooting resolutions which require creativity and cooperation in programming and assembly robots, hence the need for development of a control module that can enable the development of experiments in robotics as a means of implementation and experimentation of ideas in solving problems.

In developing this work are studied and presented several concepts involving the construction of robots and the use of robotics as a tool to support teaching. At the end is developed and presented a prototype of the proposed controller module, applied to a simple robotics, in order to prove its feasibility.

**Keywords:** Robotics, Education, Controller Module, Educational Robotics.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1 Formulação do Problema	10
1.2 Justificativa	10
1.3 Objetivo	11
1.4 Objetivos específicos	11
1.5 Estrutura do trabalho	11
1.6 Recursos utilizados	12
1.6.1 Material Permanente	12
1.6.2 Material de consumo	12
<b>2. FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA</b>	<b>12</b>
2.1 Conceito e História	12
2.2 Classificação	15
2.3 Constituição	16
2.3.1 Estrutura	16
2.3.2 Atuadores	26
2.3.3 Sensores	29
2.3.4 Centro de controle	33
2.4 Robótica Educativa	34
<b>3. MÓDULO CONTROLADOR: DESENVOLVIMENTO</b>	<b>38</b>
3.2 Aspectos gerais do projeto	38
3.3 Microcontrolador	39
3.4 Programação	43
3.5 Eletrônica envolvida	45
3.6 Confecção da placa	52
3.6.1 Módulo controlador	52
3.6.2 Módulos auxiliares	59
3.6.2.1 Módulo Sensor Seguidor de Linha	59
3.6.2.2 Módulo de Controle de Motores DC	64
3.7 Exemplo de aplicação	69
<b>4. CONCLUSÃO</b>	<b>73</b>
<b>5. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: PUMA</i> _____	15
<i>Figura 2: Diferentes tipos de articulações para Robôs</i> _____	18
<i>Figura 3: Principais configurações dos robôs industriais</i> _____	19
<i>Figura 4: Polias</i> _____	22
<i>Figura 5: Polias com motor acoplado. Fonte: Sandin (2003, p.74).</i> _____	22
<i>Figura 6: Esquema de funcionamento de Engrenagens Harmônicas</i> _____	24
<i>Figura 7: Engrenagem Harmônica</i> _____	25
<i>Figura 8: Exemplo de guia dentada em portão elétrico Fonte:</i> <i><a href="http://img2.mlstatic.com/cremalheira-para-automatizador-porto-eletrnico-1-metro_MLB-O-236633390_2625.jpg">http://img2.mlstatic.com/cremalheira-para-automatizador-porto-eletrnico-1-</a></i> <i><a href="http://img2.mlstatic.com/cremalheira-para-automatizador-porto-eletrnico-1-metro_MLB-O-236633390_2625.jpg">metro_MLB-O-236633390_2625.jpg</a></i> _____	26
<i>Figura 9: Esquema de funcionamento de motores de passo Fonte: Barrientos et al (1997, p.29).</i> _____	28
<i>Figura 10: Esquema de ligação de um motor de passo Fonte: Appin (2007, p.143).</i> _____	29
<i>Figura 11: Par Bimetálico</i> _____	31
<i>Figura 12: Sensor De Temperatura Digital Ds18b20</i> _____	31
<i>Figura 13: Termistores</i> _____	32
<i>Figura 14: LDR (resistor dependente de luz)</i> _____	32
<i>Figura 15: Sensor Ultra-som</i> _____	33
<i>Figura 16: Microcontroladores PIC</i> _____	34
<i>Figura 17: Organização da memória no Microcontrolador PIC18F4550. Fonte: Microchip Technology INC (usa) (2013)</i> _____	40
<i>Figura 18: Conector USB. Fonte: (IBRAHIM, 2008, p.411).</i> _____	42
<i>Figura 19: Pinagem do microcontrolador PIC18F4550, encapsulamento PDIP. Fonte: Microchip Technology INC (usa) (2013)</i> _____	43
<i>Figura 20: Esquema elétrico básico do Módulo Controlador. Fonte:</i> <i><a href="http://wiki.pinguino.cc/index.php/PIC18F4550_Pinguino">http://wiki.pinguino.cc/index.php/PIC18F4550_Pinguino</a></i> _____	46
<i>Figura 21: Módulo Controlador: Circuito Completo</i> _____	47
<i>Figura 22: Circuito de alimentação do Módulo Controlador</i> _____	48
<i>Figura 23: Portas S1, S2 e S3 - Sensores</i> _____	48
<i>Figura 24: Portas MP1 e MP2, controladoras de Motores de Passo</i> _____	49

<i>Figura 25: Conector de Motor DC com PWM.</i>	49
<i>Figura 26: Porta para display LCD</i>	50
<i>Figura 27: Circuito de reset</i>	50
<i>Figura 28: Circuito do módulo controlador (Ampliado)</i>	51
<i>Figura 29: PCB do módulo controlador</i>	53
<i>Figura 30: Módulo controlador – Impressão das trilhas</i>	54
<i>Figura 31: Módulo controlador - Impressão dos componentes</i>	55
<i>Figura 32: Módulo controlador - Impressão dos componentes (espelhada)</i>	55
<i>Figura 33: Transferência térmica de Layout</i>	56
<i>Figura 34: Retirando o papel após a transferência do layout</i>	56
<i>Figura 35: Transferência do layout realizada</i>	57
<i>Figura 36: Placa corroída</i>	57
<i>Figura 37: Perfurando a placa</i>	58
<i>Figura 38: Módulo Controlador Pronto</i>	58
<i>Figura 39: Módulo Controlador - Trilhas</i>	59
<i>Figura 40: Funcionamento do sensor seguidor de linha</i>	60
<i>Figura 41: Sensor Seguidor de Linha - Esquema do Circuito</i>	60
<i>Figura 42: Sensor Seguidor de Linha - Placa</i>	62
<i>Figura 43: Sensor Seguidor de Linha - Impressão dos Componentes</i>	63
<i>Figura 44: Sensor Seguidor de Linha – Impressão das Trilhas</i>	63
<i>Figura 45: Sensor Seguidor de Linha - Placa Pronta - Componentes</i>	63
<i>Figura 46: Sensor Seguidor de Linha - Placa Pronta - Trilhas</i>	64
<i>Figura 47: Exemplo de ponte H. Fonte: Pazos (2002, p. 103)</i>	64
<i>Figura 48: Exemplo de Ligação do C.I. L293D</i>	65
<i>Figura 49: Pinagem do C.I. 74LS04</i>	65
<i>Figura 50: Módulo de Controle de Motores DC - Esquema do Circuito</i>	66
<i>Figura 51: Módulo de Controle de Motores DC - Placa</i>	67
<i>Figura 52: Módulo de Controle de Motores DC - Impressão das Trilhas</i>	67
<i>Figura 53: Módulo de Controle de Motores DC - Impressão dos Componentes</i>	68
<i>Figura 54: Módulo de Controle de Motores DC - Placa Pronta - Componentes</i>	68
<i>Figura 55: Módulo de Controle de Motores DC - Placa Pronta - Trilhas</i>	69
<i>Figura 56: Kit de Esteiras VEX</i>	69

## 1. INTRODUÇÃO

Vivemos um tempo em que a tecnologia tem se tornado cada vez mais presente em nossas vidas. Fazendo parte do nosso trabalho ou da nossa casa, onde quer que estejamos podemos sentir, em menor ou maior grau, sua influência. Seja através de um simples celular ou de um computador conectado à internet, podemos perceber como a tecnologia tem mudado o modo como as pessoas se relacionam, se divertem e trabalham. Podemos perceber essa influência de forma muito forte nas relações de trabalho, inegavelmente a tecnologia tem tornado as empresas cada vez mais competitivas e eficientes. Assim toda novidade tecnológica que venha otimizar o processo produtivo e maximizar os lucros é rapidamente incorporada pelas empresas, fazendo do ambiente de trabalho um lugar extremamente dinâmico, onde a capacidade de aprender e se adaptar à essas novas formas de produção são qualidades desejáveis e até imprescindíveis ao trabalhador moderno. Papert(1994, p.5) faz um observação interessante à esse respeito quando diz que “a habilidade mais importante na determinação do padrão de vida de uma pessoa já se tornou a capacidade de aprender novas habilidades, de assimilar novos conceitos, de avaliar novas situações, de lidar como o inesperado”. Dessa forma podemos entender a necessidade de aproveitarmos todo o potencial que a tecnologia nos oferece, agregando ao ensino tradicional novos métodos de ensino-aprendizagem e oferecendo aos estudantes a oportunidade de vivenciar situações com as quais, mais cedo ou mais tarde, terão que se confrontar quando se inserirem no mercado de trabalho. Corroborando essa idéia, Papert(1994, p.6) destaca assim o enorme potencial que essas novas tecnologias tem de dinamizar o ambiente de aprendizagem:

As tecnologias de informação, desde a televisão até os computadores e todas as suas combinações, abrem oportunidades sem precedentes para a ação a fim de melhorar a qualidade do ambiente de aprendizagem, pelo que me refiro ao conjunto inteiro de condições que contribuem para moldar a aprendizagem no trabalho, na escola e no brinquedo. (PAPERT, 1994, p. 6)

Este trabalho visa, neste contexto constante de novidade tecnológica, prover uma forma de levar um pouco dessa tecnologia tão presente na vida cotidiana para as escolas, de forma fácil e acessível, tanto no aspecto de implementação e utilização quanto no custo.

### **1.1 Formulação do Problema**

A idéia do desenvolvimento deste trabalho surgiu com o anseio e a necessidade de levar à comunidade escolar de baixa renda técnicas de ensino mais dinâmicas e motivadoras, através da robótica, oferecendo um meio estimulante de aplicar o conhecimento multidisciplinar de forma prática e intuitiva.

### **1.2 Justificativa**

O benefício mais importante deste projeto é o de tornar a educação de crianças carentes mais estimulante, tornando assim os atos de aprender e de ir à escola atividades prazerosas nas quais o aluno possa vivenciar a prática de situações reais que exijam dele a aplicação de todo seu potencial criativo, conhecimento de mundo e espírito de cooperação na resolução de problemas que surgem na interação com o meio, conforme nos mostra Weiss e Cruz (2001, pág.33): “a aprendizagem é resultante da interação do sujeito com o objeto do conhecimento, que não se reduz ao objeto concreto, mas inclui o outro, a família, a escola, o social”.

Segundo Weiss e Cruz (2001, pág.32) “o professor será aquele que enriquece o ambiente, provoca situações para que o aprendiz possa se desenvolver de forma ativa, realizando também suas próprias descobertas”. Assim, o uso da robótica proporciona ao professor uma forma de tornar o ambiente de ensino mais dinâmico, prazeroso e estimulante, no qual pode interagir com o aluno, atuando como facilitador das informações e das ferramentas necessárias à busca de soluções, projetando, construindo, testando, analisando e reformulando hipóteses, auxiliando e instigando assim o aluno na construção de uma consciência crítica a respeito do mundo que o rodeia. Conforme destaca Maissonette:

A robótica pedagógica é uma atividade que permite a simulação em mundos virtuais e reais, colocando o aluno e o professor diante do computador como manipuladores de situações ali desenvolvidas, que imitam ou se aproximam de um sistema real. É esse ambiente que permite ao aluno manipular variáveis, observar os resultados, errar, e modificar seu trabalho, trabalhando de forma positiva com o paradigma erro-acerto (MAISONNETTE, 2009).

### **1.3 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um módulo controlador de robótica de baixo custo, com o fim de possibilitar o desenvolvimento de iniciativas de robótica educativa em escolas de baixa renda, democratizando assim o acesso à tecnologia e tornando o processo ensino-aprendizagem mais estimulante e construtivo. Com esse fim, foram estudados meios de disponibilizar essa tecnologia a um custo o mais baixo possível, utilizando técnicas e componentes eletrônicos mais baratos.

### **1.4 Objetivos específicos**

O objetivo deste trabalho pode ser subdividido e especificado através dos seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar elementos da informática e da robótica da educação que justifiquem o desenvolvimento deste projeto;
- b) Estudar a teoria e técnicas de desenvolvimento de robôs, como: microcontroladores, ferramentas de programação em C para microcontroladores, sensores e atuadores, técnicas de controle, tipos de robôs, etc.;
- c) Desenvolver um protótipo funcional do módulo controlador;
- d) Aplicar o protótipo do módulo controlador desenvolvido a um projeto simples de robótica.

### **1.5 Estrutura do trabalho**

O conteúdo deste trabalho está estruturado em cinco capítulos, da seguinte forma: introdução, fundamentação teórica, desenvolvimento do protótipo, aplicação e conclusão.

Na introdução são apresentadas as idéias concernentes ao desenvolvimento do projeto em si, como: formulação do problema, justificativa, objetivos, objetivos específicos e estrutura do trabalho.

Na fundamentação teórica são abordados os aspectos teóricos do uso da robótica como ferramenta de ensino-aprendizagem e a teoria necessária à construção de robôs.

No capítulo três, denominado desenvolvimento do protótipo, são relatadas as etapas de desenvolvimento do protótipo do módulo controlador proposto, apresentando os aspectos técnicos e as principais dificuldades encontradas no processo, bem como, o desenvolvimento de um projeto simples de robótica utilizando o módulo construído.

### **1.6 Recursos utilizados**

Para o desenvolvimento do módulo controlador, foi utilizado o material abaixo discriminado, conforme a natureza da utilização:

#### **1.6.1 Material Permanente**

- a) Computador
- b) Impressora à laser
- c) Ferro de Solda
- d) Protoboard
- e) Sugador de solda
- f) Ferramentas diversas

#### **1.6.2 Material de consumo**

- a) Microcontrolador PIC18F4550
- b) Componentes eletrônicos diversos
- c) Placas de fenolite
- d) Ácido clorídrico e Peróxido de oxigênio(Para corrosão da placa de fenolite)
- e) Papel Grossy

## **2. FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA**

### **2.1 Conceito e História**

Embora pareça, à primeira vista, um tema extremamente atual, a robótica tem ocupado a imaginação do homem há muito tempo. Conforme relata Wise

(2004, p.1) a palavra robot, derivada da palavra tcheca “robota” que significa trabalho forçado, foi usada em 1921 por Karel Capek(1890-1931)<sup>1</sup> em sua obra intitulada Rossum’s Universal Robots(Robôs Universais de Rossum), em que os mesmos seriam criados para substituir o homem e serem, em sua forma mais simples, um tipo de mão de obra barata. Porém muito antes desse termo ser criado, o homem já imaginava máquinas cujo objetivo seria substituí-lo na execução de trabalhos forçados, imitando as funções básicas de um ser humano. Segundo Barrientos et al. (1997, p.2) os gregos já possuíam uma palavra para designar as máquinas que podiam reproduzir os movimentos e as funções dos seres vivos: autômatos e descreve os mecanismos animados de Herón de Alexandria(85d.C.), que podiam se mover através de dispositivos hidráulicos, polias e alavancas.

Podemos observar assim, desde a antiguidade até nossos dias, a relação do homem com o imaginário dessas máquinas, capazes de agir e pensar como um ser humano. Ainda segundo Barrientos et al. (1997, p.2) a cultura árabe herdou e difundiu os conhecimentos Gregos e, durante os séculos VIII a XV, se desenvolveram diversos mecanismos destinados à diversão da realeza da época, sem, entretanto, dar uma aplicação prática aos mesmos. São exemplos de autômatos desta época o Homem de ferro de Alberto Magno(1204-1282) a Cabeça Falante de Roger Bacon(1214-1294) e o Galo de Strasburgo(1352), que forma parte do relógio da torre da Catedral de Strasburgo, o autômato mais antigo ainda conservado, que movia as asas e o bico a cada hora marcada. Durante a Idade Média, alguns dos mais importantes nomes do renascimento se interessaram pelas idéias desenvolvidas pelos gregos, Wise (2004, p.2) destaca, dentre eles, Leonardo da Vinci, que desenvolveu para o Rei Luis XII um leão animado, Gianello de La Tour de Cremona, que criou um número de entretenimento mecânico para o imperador Charles V e Christiaan Huygens, criador de uma armadura robótica por volta de 1680.

Durante os séculos XVII e XVIII, com o desenvolvimento da relojoaria, foram criadas algumas invenções mecânicas com algumas características muito semelhantes às dos atuais robôs, dentre as invenções deste período, Barrientos et al. (1997, p.3) destaca os bonecos animados de Jacques

---

<sup>1</sup> Escritor e Filósofo Tcheco

Vaucanson(1709-1782), inventor do primeiro tear mecânico, como um flautista capaz de tocar várias melodias e um pato capaz de grasnar, beber, comer, digerir e evacuar o alimento comido, bem como os bonecos do relojoeiro suíço Pierre Jaquet Droz(1721-1790), capazes de escrever, desenhar e tocar diversas melodias em um órgão.

Todas essas máquinas, apesar de constituírem-se de aparatos extremamente interessantes, sobretudo pela época em que foram desenvolvidas, eram destituídas de aplicação prática e não possuíam utilidade alguma além do simples entretenimento. Porém possibilitaram o surgimento de máquinas entre os séculos XVIII e início do XIX, utilizadas na indústria têxtil, dentre elas o tear de Jacquard(1801) que podia ser “programada” através de uma fita de papel perfurada, dando o primeiro passo para a automatização industrial.

Conforme Barrientos et al. (1997, p.5), o desenvolvimento do robô como máquina se deu de forma independente do que propunha originalmente a sua terminologia, que o definia com aspecto quase sempre humano, uma vez que os antecessores dos modernos robôs atuais foram os “telem manipuladores”, ou braços tele operados. Esses braços foram desenvolvidos em 1948 por R. C. Goertz do Argone National laboratory - EUA, com a finalidade de manipular elementos radioativos sem risco para o operador e consistia de um dispositivo mecânico mestre-escravo através do qual o operador(mestre) podia manipular com toda segurança, protegido por um vidro, elementos perigosos com o máximo de precisão, podendo inclusive sentir a força que o dispositivo escravo exercia sobre o ambiente.

Segundo Pazos (2002, p.8), o conceito moderno de robô, o robô industrial, foi criado em 1962, por Joseph Engelberger e George C. Devol, com o desenvolvimento do primeiro protótipo denominado Unimate, utilizado em aplicações industriais diversas e instalado primeiramente na Ford Motors Company para descarregamento de uma máquina de fundição. Em 1974 a mesma empresa que criou o Unimate desenvolveu aquele que seria um dos robôs industriais mais populares e utilizados até os dias atuais, o PUMA(Programmable Universal Machine for Assembly), Figura 1, um robô com braço articulado, relativamente pequeno, baseado em estudos de automação de montagem da General Motors.



**Figura 1: PUMA**

Com o desenvolvimento da computação e da eletrônica, principalmente dos microprocessadores, essas tecnologias passaram a ser amplamente utilizadas na robótica. Hoje em dia praticamente todos os robôs industriais utilizam algum tipo de controlador eletrônico, seja um microcomputador, um módulo microprocessado ou um CLP (controlador lógico programável). Com o barateamento e o fácil acesso aos componentes eletrônicos, microcontroladores e kits robóticos, atualmente desenvolver um robô passou a ser uma tarefa relativamente simples e a robótica deixou de ser uma tecnologia exclusiva de grandes empresas ou centros de pesquisa para se tornar acessível a todos, com aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento.

## **2.2 Classificação**

No final do século XX, a JIRA (Japan Industrial Robot Association) criou uma classificação para os robôs que ia dos tipos mais simples de sistemas robóticos até avançados sistemas que incorporam inteligência artificial (IA) (GIBILISCO, 2003, p.267). O esquema de classificação de robôs da JIRA procede da seguinte forma, conforme o grau de complexidade:

- Manipuladores operados manualmente

Essa classificação refere-se a máquinas operadas única e diretamente por uma pessoa.

- Manipuladores sequenciais

São dispositivos que realizam a mesma sequência de tarefas cada vez que são acionados.

- Manipuladores programáveis

Estes incluem os tipos mais simples de robôs industriais, são programáveis, podendo desempenhar tarefas de acordo com sua programação.

- Robôs controlados numericamente

Neste tipo o operador fornece o programa do movimento ao robô, em vez de controlá-lo manualmente.

- Robôs sensitivos

Robôs que incorporam sensores, como sensores de pressão, de proximidade, tátil, de temperatura, etc. Podem “sentir” o ambiente à sua volta através dos sinais recebidos dos sensores.

- Robôs adaptativos

Robôs que ajustam sua forma de trabalho para compensar as mudanças do ambiente.

- Robôs inteligentes

Robôs com controladores de alta qualidade, programados com inteligência artificial (AI). Esse tipo de robô pode “aprender” com sua interação com o ambiente, adaptando-se a ele.

- Sistemas mecatrônicos inteligentes

Computadores que são capazes de controlar uma frota de robôs e dispositivos robóticos.

## **2.3 Constituição**

Segundo Wise(2004, p.9) um robô é constituído de 4 partes:

1. Estrutura
2. Mecânica ou Atuadores
3. Eletrônica ou Sensores
4. Lógica ou Centro de Controle

### **2.3.1 Estrutura**

Estrutura é a parte visível de um robô, a parte que define sua forma e funcionalidade. É composta por partes móveis, que conferem movimento, e pela estrutura fixa, que dá forma ao mesmo. Um robô terá sua funcionalidade quase

sempre definida pela forma com que foi construído, ou, vice versa, terá sua forma definida pela utilidade que se espera dele, segundo Pazos (2002, p.14), um robô pode ser classificado sob o ponto de vista de sua utilidade em quatro classes: manipuladores, exploradores, máquinas-ferramenta e robôs de uso geral.

- Robô manipulador

Um robô manipulador, conforme Barrientos et al. (1997, p.10), é um dispositivo capaz de posicionar ou deslocar peças, seguindo trajetórias definidas dentro de um espaço. São exemplos desse tipo de robôs os braços mecânicos utilizados em indústrias.

- Robô explorador

Um robô explorador, como o próprio nome diz, tem o objetivo de explorar um determinado ambiente, que, conforme Pazos (2002, p.14), pode ser qualquer tipo de superfície, inclusive um objeto fixo, levantando informações e características físicas através de sensores.

- Máquinas-ferramentas

Máquinas-ferramentas são “Robôs que tem por objetivo processar uma determinada matéria-prima, aumentando o valor agregado” (PAZOS, 2002, p.15), são exemplos desse tipo os robôs industriais utilizados para soldagem, usinagem ou furação de peças.

- Robôs de uso geral

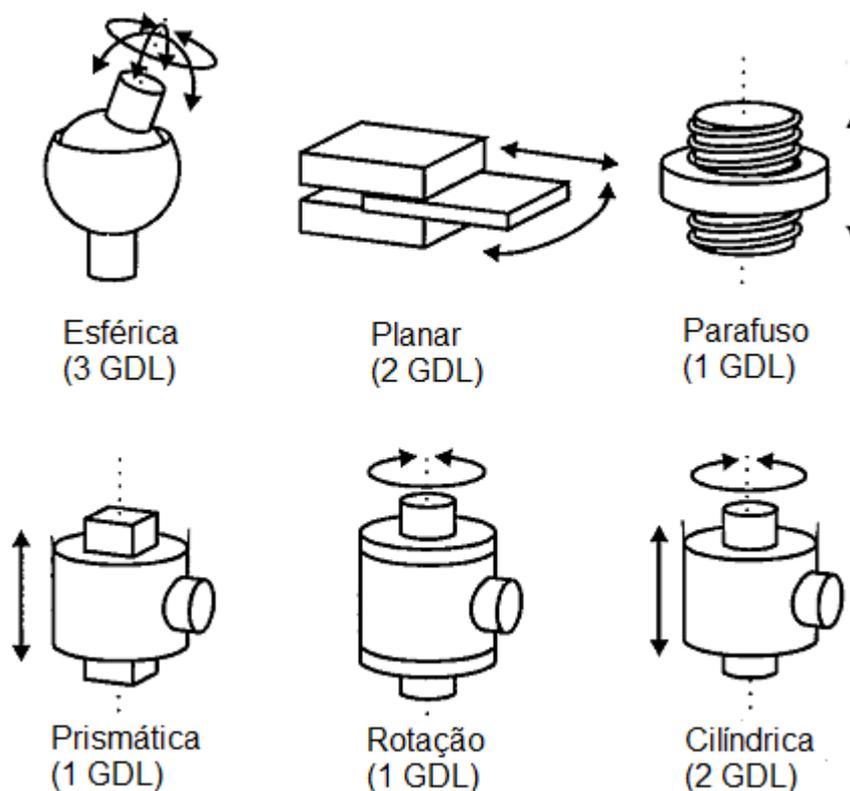
São qualquer robô que não possa ser classificado segundo os tipos anteriores, por exemplo, robôs que processam informação com o objetivo de controlar o estado de um objeto, como controladores de temperatura, nível d'água, etc. Esses dispositivos podem ser considerados robôs, mesmo sem efetuar nenhum movimento, conforme Pazos (2002, p.15).

Podemos classificar ainda os robôs, conforme seu grau de mobilidade, em robôs fixos e móveis, como segue:

- Fixos

Conforme Barrientos et al. (1997, p.16), um robô fixo é formado por uma série de elementos ou partes unidas mediante articulações que permitem movimentos relativos entre cada uma delas. Esse tipo de robô muito geralmente é construído de forma a se parecer com um braço humano e

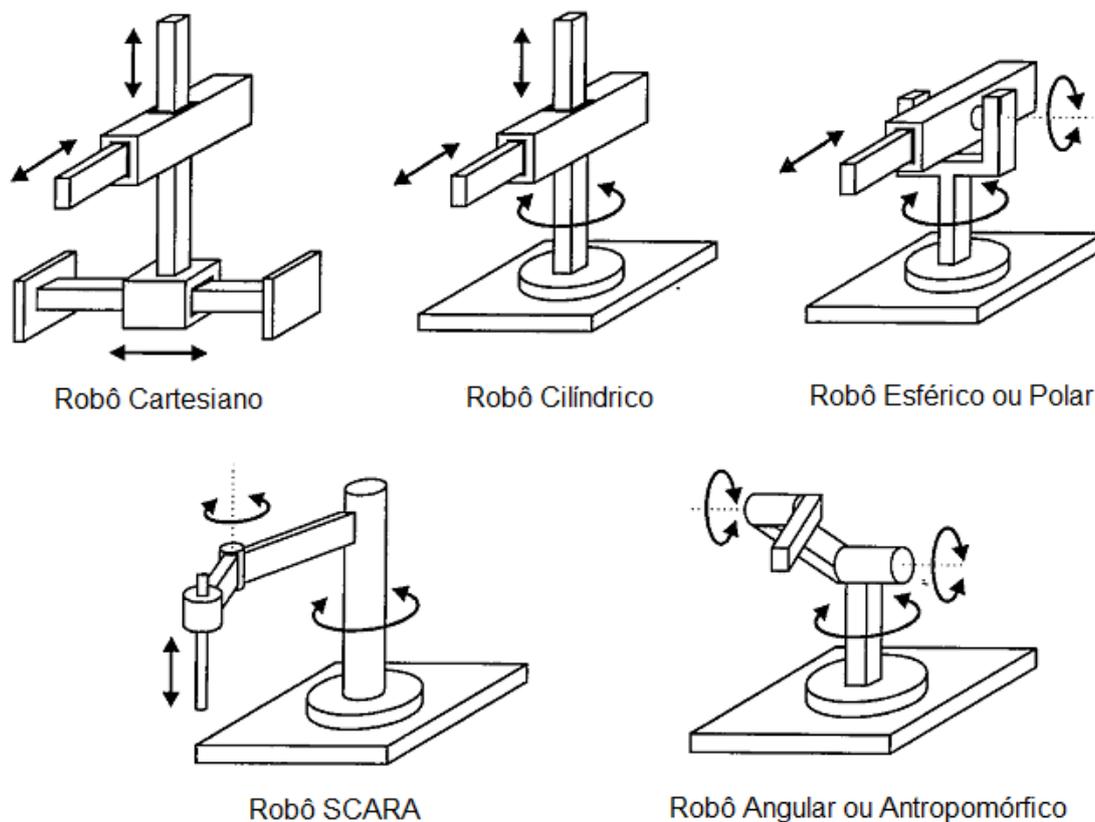
suas partes, com base nessa analogia, podem ser classificados como corpo, braço, cotovelo e pulso e a junção de cada uma de suas partes de articulação. O movimento de cada articulação pode ser de deslocamento, giro ou uma combinação dos dois, sendo que cada um dos movimentos independentes que uma articulação realiza em relação à outra é chamado de grau de liberdade (GDL), sendo possível assim a formação de seis tipos diferentes de articulações (BARRIENTOS ET AL., 1997, p.16):



**Figura 2: Diferentes tipos de articulações para Robôs**

Fonte: Barrientos et al. (1997, p.17)

O GDL de um robô é dado pela soma dos GDLS das articulações que o compõem. Conforme Barrientos et al. (1997, p.17), para se posicionar um corpo em qualquer posição no espaço são necessários seis parâmetros, três para definir a posição e três para a orientação, logo, um robô para acessar qualquer lugar dentro do seu espaço de trabalho deverá contar com pelo menos seis GDL, embora a maioria dos robôs industriais trabalhem com apenas quatro ou cinco, segue as configurações mais comuns:



**Figura 3: Principais configurações dos robôs industriais**

Fonte: Barrientos et al. (1997, p.18)

- Robôs Móveis

Embora muito precisos, Siegwart e Nourbakhsh (2004, p.1-2) apontam uma desvantagem importante dos robôs fixos: a falta de mobilidade. Um manipulador fixo tem uma gama limitada de movimentos que depende de onde é fixado. Em contraste, um robô móvel é capaz de se locomover ao longo do ambiente, aplicando suas habilidades onde for necessário.

Robôs móveis podem ser classificados em aéreos, aquáticos e terrestres, que podem ser classificados conforme o tipo de locomoção utilizado, em robôs com rodas ou com pernas:

- Robôs com pernas

Robôs com pernas possuem algumas características próprias que os diferenciam dos robôs fixos e dos demais robôs móveis, conferindo-lhes algumas vantagens importantes, conforme apontam Siegwart e Nourbakhsh:

Locomoção com pernas é caracterizada por uma série de contatos pontuais entre o robô e o solo. As principais vantagens

incluem adaptabilidade e capacidade de manobra em terrenos acidentados. Porque apenas um conjunto de pontos de contatos é necessário, a qualidade do solo entre aqueles pontos não interessa, desde que o robô possa manter o espaço livre adequado [...] Uma vantagem final da locomoção com pernas é o potencial para manipular objetos no ambiente com grande habilidade. (SIEGWART E NOURBAKHS, 2004, p.17).

Embora possua algumas vantagens importantes, a locomoção com pernas apresenta um grau de complexidade muito maior para sua implementação, conforme destacam Siegwart e Nourbakhsh:

As principais desvantagens da locomoção com pernas incluem sua complexidade energética e mecânica. A perna, que pode reunir vários graus de liberdade, deve ser capaz de sustentar parte do peso total do robô, e, em muitos robôs deve ser capaz de levantar e abaixar o robô. Além disso, a elevada capacidade de manobra só será atingida se as pernas tiverem um número suficiente de graus de liberdade para transmitir forças num certo número de direções diferentes. (SIEGWART E NOURBAKHS, 2004, p.17).

Essa complexidade provém da necessidade de estabilizar o robô quando parado e durante seu deslocamento, segundo Angeles (2003, p.13) “em máquinas que andam, a estabilidade é a questão principal” pode-se distinguir dois tipos de estabilidade a estática, que é a capacidade de sustentar uma configuração de forças e a dinâmica que, ao contrário da estática, se refere à capacidade de reação e forças de inércia, ou seja, na estabilidade estática o equilíbrio é conseguido através da sustentação do peso através de pontos de contato, conforme Angeles

Para o equilíbrio estático, uma máquina requer uma estrutura cinemática capaz de fornecer as forças de reação do solo necessárias para equilibrar o peso da mesma. Um bípede não é capaz de equilíbrio estático porque durante a fase de oscilação de uma perna, o corpo é suportado por um único ponto de contato, que é incapaz de produzir as forças de equilíbrio necessário para mantê-lo em equilíbrio. Para o movimento sobre uma superfície horizontal, um mínimo de três pernas é necessário para produzir a estabilidade estática. Com efeito, com três pernas, um destes pode sofrer balanço enquanto as duas restantes estão em contato com o solo e, por conseguinte, dois pontos de contato estão presentes para proporcionar as forças de equilíbrio necessárias a partir das reações do solo. (ANGELES, 2003, p.13).

- Robôs com rodas

Comparativamente, robôs com rodas apresentam um nível de complexidade muito menor em sua implementação do que robôs com

pernas, tanto em relação ao controle quanto à estrutura física, podendo ser confeccionado com qualquer plataforma com rodas, até mesmo brinquedos, conforme destacam Siegwart e Nourbakhsh (2004, p.30) “a roda tem sido, de longe, o mecanismo de locomoção mais popular em robótica móvel [...] É possível alcançar resultados muito bons, com uma aplicação mecânica relativamente simples”. Como em robôs com rodas não existe a preocupação com o equilíbrio, uma vez que o robô encontra-se totalmente apoiado ao solo, as pesquisas nessa área concentram-se no controle da velocidade, navegação e localização.

- Mecanismos de transmissão

Além das peças que conferem a forma e a mobilidade do robô, encontram-se aquelas que são responsáveis pela transmissão do movimento gerado pelos atuadores às rodas ou pernas do robô, esses mecanismos são necessários devido à impossibilidade muitas vezes de se posicionar o atuador junto à peça a ser movimentada (PAZOS, 2002, p.224), seja pela própria estrutura do robô, falta de espaço físico para posicionar o motor, ou pela necessidade de um movimento específico, velocidade ou torque, não conseguido pelas características próprias do atuador, sendo necessário assim utilizar um mecanismo para obtenção do movimento desejado, conforme Sandin:

A solução para o problema é anexar ao motor algum sistema que muda a alta velocidade/baixo torque no eixo de saída do motor para a baixa velocidade/elevado torque, necessário para maioria das aplicações em robôs móveis. Felizmente, existem muitos mecanismos que executam esta transformação de velocidade para torque. (SANDIN, 2003, p.71)

A utilização de um mecanismo é definida pelas suas características, conforme a necessidade, dentre os tipos mais utilizados em robótica Pazos (2002, p. 224-249) destaca:

- Polias

Polias, conforme explica Pazos, são talvez um dos primeiros mecanismos de transmissão utilizados e constituem-se de duas rodas, geralmente com um canal ao longo da circunferência externa por onde passa uma correia, unindo-as com um certo grau de tensão e transmitindo o movimento de uma para a outra em um mesmo sentido. Devem ser utilizadas quando se deseja realizar a redução da velocidade

angular ou torque de uma polia em relação à outra, conforme Pazos (2002, p.227), se no conjunto, com o motor acoplado à 1ª polia, esta for maior que 2ª haverá uma diminuição da velocidade angular, assim como, se ocorrer o inverso e a 2ª polia for maior que a 1ª haverá um aumento do torque.

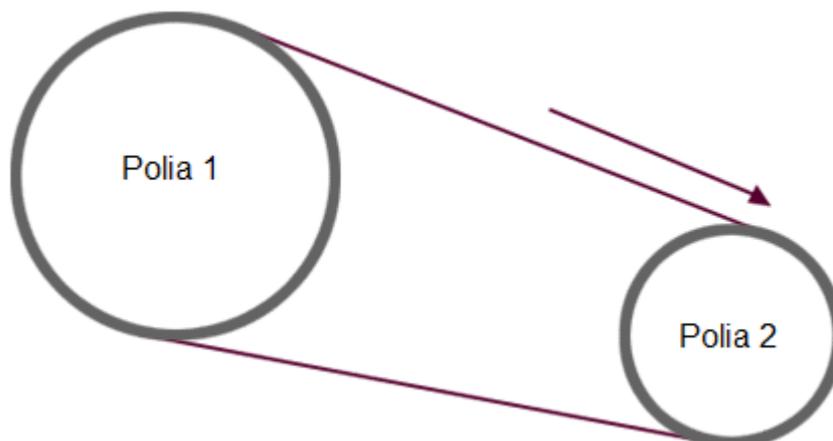


Figura 4: Polias



Figura 5: Polias com motor acoplado. Fonte: Sandin (2003, p.74).

Segundo Pazos (2002, p.227), as principais vantagens do uso de polias estão na sua simplicidade mecânica, não sendo necessário o uso de peças de alta complexidade para o bom funcionamento do conjunto e que os eixos não precisam estar perfeitamente alinhados para o sistema funcionar a contento. A principal desvantagem apontada é que o uso de polias só serve para pequenas reduções de velocidade, em torno de 30%, devido ao fato de que, se os diâmetros das polias forem muito diferentes, a diferença de torque entre elas poderá ser muito grande, podendo ocasionar o escorregamento da correia.

- Engrenagens

Sistemas de engrenagens, assim como de polias, são de longe os mecanismos de transmissão de energia mais utilizados em robótica. Sandin (2003, p.85) explica que, quando devidamente montado e

lubrificado, um sistema de engrenagens pode transmitir potencia de forma “eficiente, suave e silenciosa”, entre eixos paralelos, verticais ou inclinados. Porém essa versatilidade e eficiência exige um grau de precisão não necessária em sistemas de polias, tornando seu uso muito mais complexo:

Para serem eficientes e tranquilos, eles exigem alta precisão, tanto na forma dos dentes quanto na distância entre uma engrenagem e outra. Não toleram sujeira e devem ser colocados em uma caixa selada que mantém os dentes limpos e contém o óleo lubrificante necessário ou graxa. (SANDIN, 2003, p.85)

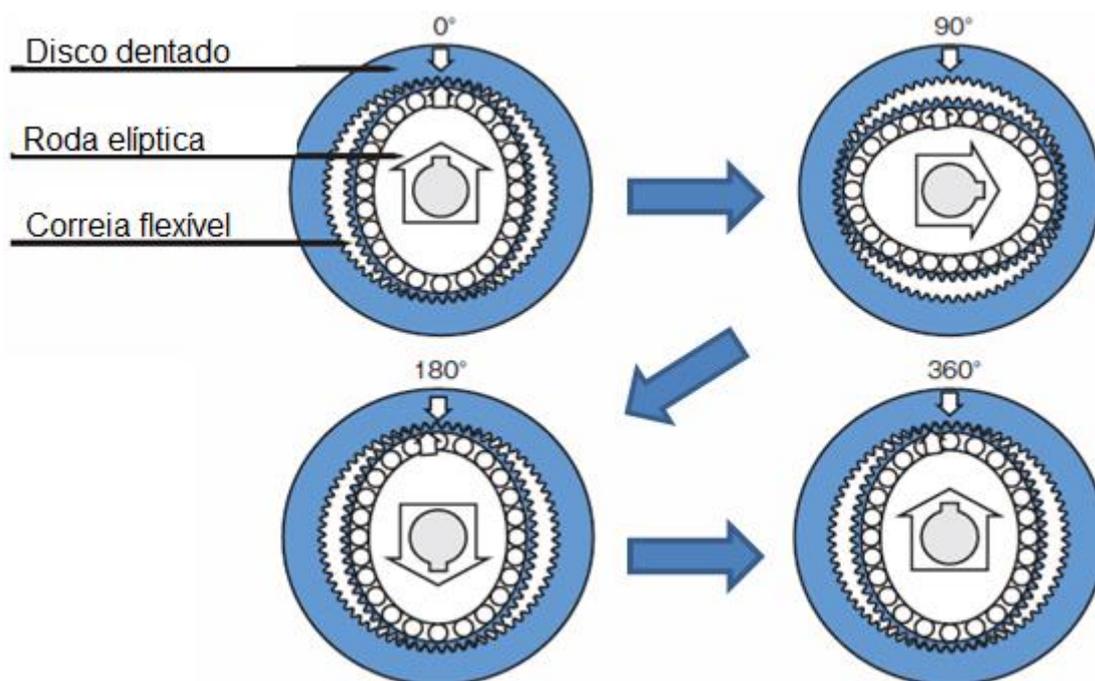
Pazos (2002, p.230) afirma que um sistema de engrenagens consiste de um par de rodas dentadas, onde os dentes de uma se encaixam nos da outra, conferindo um movimento de rotação inverso, sendo a engrenagem acoplada ao eixo do motor chamada de pinhão e a que recebe o movimento de coroa. A relação de torque e velocidade entre as engrenagens, semelhantemente às polias, seguem as mesmas regras: se o pinhão for menor que a coroa haverá uma diminuição da velocidade angular, assim como, um aumento no torque. Ocorrendo o inverso haverá um aumento da velocidade angular e uma diminuição do torque, com a diferença que o movimento imprimido à coroa será em sentido inverso ao do pinhão. As principais vantagens, segundo Pazos (2002, p.232) são que nas engrenagens não há o risco de estiramento das correias, permitindo assim uma alta redução de velocidade além de que o tamanho pode ser bem menor, podendo ser utilizado em espaços reduzidos. A principal desvantagem é a sua complexidade, relacionada à precisão que o sistema deve ter para um funcionamento adequado.

- Sistema de Engrenagens Harmônicas

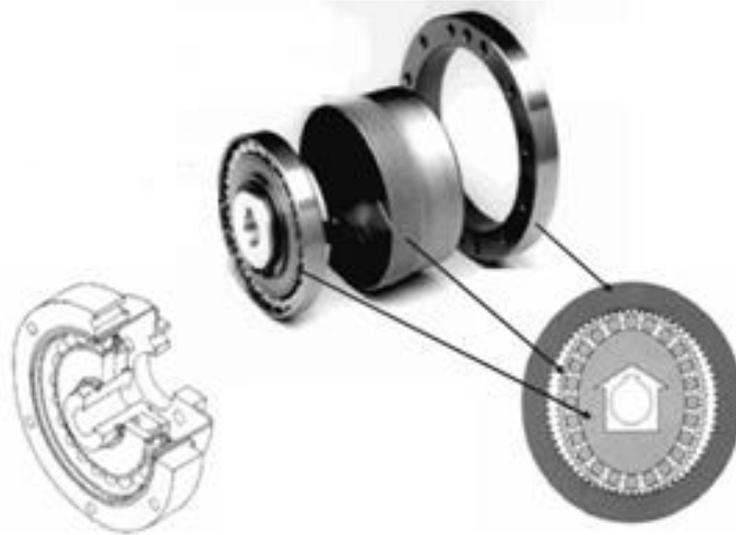
Engrenagens Harmônicas, conforme Pazos (2002, p.238), são sistemas de transmissão leves e pequenos, que possibilitam grandes reduções, com erro desprezível e consistem de três peças básicas: uma peça central, denominada roda elíptica, acoplada ao motor, a segunda denominada correia flexível e a terceira denominada disco dentado, que

possui 2, ou 1%, a menos de dentes que a correia flexível. Sistemas de engrenagens harmônicas tem seu funcionamento descrito por Pazos:

Quando a roda elíptica começa girar, o faz deslizando na superfície interior da correia flexível, graças ao sistema de rolamentos. Quando a roda gira um determinado ângulo, a correia vai se deformando de maneira a encaixar seus dentes com os dentes do cilindro dentado, sendo aqueles que são pressionados os que estão localizados no raio maior da elipse da roda. Ao completar uma volta inteira a roda elíptica, a correia flexível girou um ângulo cujo arco corresponde a apenas dois dentes do cilindro rígido externo, porque a correia tem dois dentes a menos do que o disco ao longo da sua extensão. [...] O fato de ter dois dentes a menos é o que faz com que depois de uma volta da roda elíptica a correia de se desloque dois dentes com respeito ao cilindro rígido externo. (PAZOS , 2002, p.239).



**Figura 6: Esquema de funcionamento de Engrenagens Harmônicas**



**Figura 7: Engrenagem Harmônica**

A principal vantagem de sistemas de engrenagens harmônicas é que requerem muito pouca manutenção e operam com um desgaste mínimo ao longo de sua vida útil.

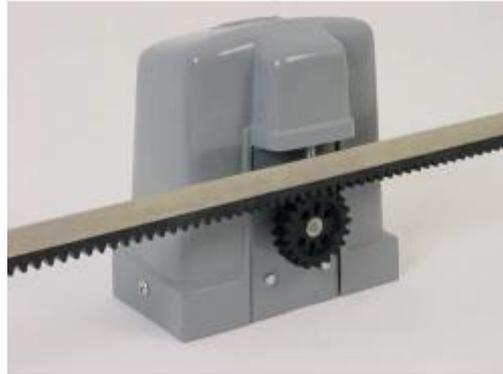
- **Correias Dentadas e Correntes**

Correias dentadas apresentam algumas características comuns às polias e engrenagens, como as relações de velocidade e torque de ambos os sistemas e, como nas polias, o movimento é transmitido de uma engrenagem à outra no mesmo sentido, por possuir dentes que se encaixam nos dentes de engrenagens, não há o risco de escorregamento da correia. Segundo Pazos (2002, p.242), “estes sistemas não se utilizam para grandes reduções de velocidade, mas para transmitir um movimento de rotação de um eixo a outro [...] sem o problema de escorregamento” além disso, correias dentadas podem ser utilizadas para “transformação de um movimento de rotação, produzido por um motor, um movimento linear” (PAZOS, 2002, p.242).

- **Guias Dentadas**

Guias dentadas são dispositivos utilizados para transformar um movimento de rotação produzido por um motor em um movimento linear, geralmente para o deslocamento de um objeto, de um ponto a outro. Consiste de uma barra feita de material rígido com dentes em uma das faces, acionada por uma engrenagem acoplada a um motor. Um bom exemplo de guia dentada é o portão elétrico utilizado em residências onde

o portão é acoplado a uma guia dentada que, quando acionada pelo motor, desloca o portão ao longo do seu comprimento.



**Figura 8: Exemplo de guia dentada em portão elétrico Fonte:**

**[http://img2.mlstatic.com/cremalheira-para-automatizador-porto-eletrnico-1-metro\\_MLB-O-236633390\\_2625.jpg](http://img2.mlstatic.com/cremalheira-para-automatizador-porto-eletrnico-1-metro_MLB-O-236633390_2625.jpg)**

- **Parafusos de Acionamento**

Parafusos de acionamento são, assim como as guias dentadas, dispositivos utilizados para transformar movimento de rotação em movimento linear, são compostos de um parafuso acoplado a um motor com uma rosca, na qual é acoplada a carga que se deseja movimentar, que se desloca ao longo do comprimento do parafuso, conforme o movimento de rotação realizado pelo mesmo.

- **Cames**

Cames, como afirma Pazos (2002, p.248), são dispositivos cuja finalidade é gerar um movimento linear em uma peça, porém transcrevendo uma trajetória determinada no tempo, como uma parábola ou uma senoidal. É composto por uma roda acoplada a um motor, com um determinado formato que, ao girar, imprime um movimento característico á uma segunda peça, denominada seguidor de came.

### **2.3.2 Atuadores**

Atuadores, fazendo uma analogia com o corpo humano, podem ser considerados os músculos do robô, são as peças que geram o movimento, através da transformação de energia. “Atuadores são dispositivos que transformam um determinado tipo de energia num outro

tipo diferente” (PAZOS, 2002, p.184). Dentre os tipos de atuadores, os motores elétricos são os mais utilizados atualmente em robótica, por sua sensibilidade e precisão (BARRIENTOS ET AL, 1997, p.29). Podendo ser classificados como motores de corrente alternada ou A.C, motores de corrente contínua ou D.C e motores de passo.

- Motores A.C.

Motores A.C., conforme Pazos (2002, p.184), são pouco utilizados em robótica devido à dificuldade de controle de velocidade e torque, além do tamanho e peso elevado, têm sua utilização restrita às aplicações industriais que exigem alto torque.

- Motores D.C

“Motores de corrente contínua são amplamente utilizados em robótica, devido à sua pequena dimensão e alto rendimento” (APPIN, 2007, p.131). Ainda conforme Pazos (2002, p.185), motores D.C são muito utilizados em robótica, possuem movimento suave e contínuo, cujo sentido de rotação é determinado pela polaridade da fonte de alimentação. Podem alcançar alto torque, através da utilização de reduções.

Um motor D.C. é composto basicamente por duas partes: um fixa, chamada de estator, composta por um ímã permanente ou um eletroímã, e a outra rotatória, chamada de rotor, composta por um bobina por onde circula a corrente elétrica. Seu princípio de funcionamento é baseado no princípio eletromagnético de atração e repulsão, conforme Pazos:

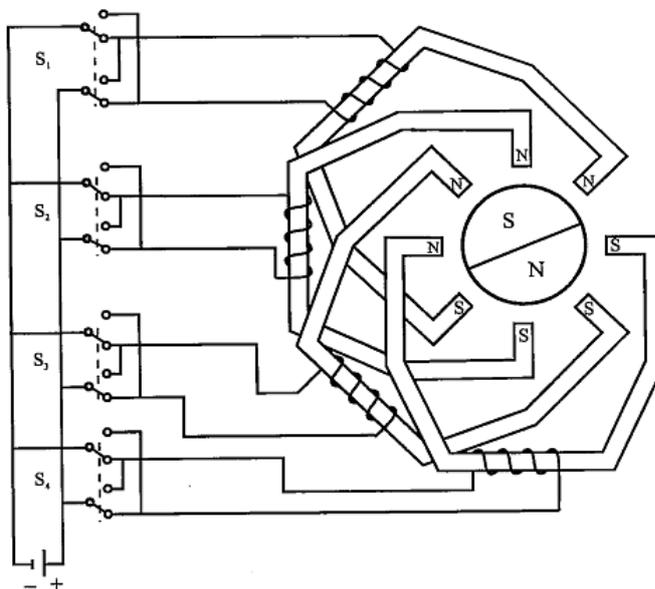
Quando uma corrente circula através da bobina do rotor, se produz uma força que tende a movimentar os condutores da bobina do rotor. Esta força, segundo as leis do magnetismo, é o produto vetorial  $F=i.l \times B$ , onde  $F$  é a força sobre cada segmento do condutor,  $l$  é o comprimento do condutor,  $i$  é a constante circulante e  $B$  é o campo magnético criado pelo estator [...] segundo esta fórmula, no condutor posterior se produz uma força de sentido ascendente, e no condutor anterior, por ter a corrente em sentido contrário, descendente, Assim a bobina tende a girar em sentido horário. (PAZOS, 2002, p.191)

- Motores de passo

“A principal motivação para a criação do motor de passo provavelmente foi a necessidade de um equipamento para posicionamento angular com melhor precisão” (CARVALHO, 2011, p.223). Motores de passo são utilizados quando se deseja um controle mais preciso do

posicionamento, uma vez que por suas características, “o controlador pode conhecer exatamente a posição do eixo, sem necessidade de um sensor” (PAZOS, 2002, p.186). Seu funcionamento é baseado em uma alimentação sequencial de pulsos, em que a cada pulso o eixo do motor gira um ângulo fixo muito preciso, controlando o tempo de excitação dos pulsos ao motor, o controlador pode assim determinar facilmente a velocidade do motor, sem a necessidade de instrumentos auxiliares. Dessa forma, os motores de passo possuem um nível de controle e precisão muito maiores que outros tipos de motores, porém, como explica Pazos (2002, p.186), possuem a característica de possuírem torque menor quando em movimento e alto “torque de retenção”, impedindo o movimento quando parados.

Motores de passo não podem simplesmente responder a um sinal elétrico, eles têm várias bobinas que necessitam ser energizadas conforme uma sequência correta para que o eixo do motor gire. Invertendo a ordem da sequência provocará a rotação do motor para o outro lado. Se os sinais de controle não forem enviados na ordem correta, o motor não funcionará. (APPIN, 2007, p.143).



**Figura 9: Esquema de funcionamento de motores de passo Fonte: Barrientos et al (1997, p.29).**

Um motor de passo não funciona apenas ligado à uma fonte de energia, é necessário um controlador, que pode ser um circuito ou um microcontrolador, programado para fornecer a sequência determinada de pulsos para excitar o motor e fazê-lo funcionar, além do controlador

é necessário também um drive, que é um circuito responsável por adequar os sinais do controlador, geralmente +5 Vdc, à potência requerida pelo motor, que pode variar de +5 Vdc à aproximadamente +48 Vdc.

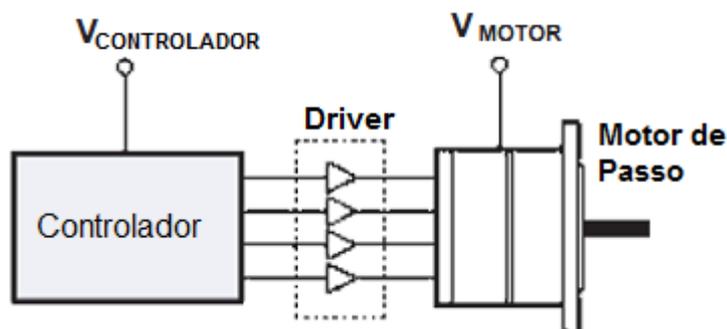


Figura 10: Esquema de ligação de um motor de passo Fonte: Appin (2007, p.143).

### 2.3.3 Sensores

“Um sensor é um dispositivo que converte um fenómeno físico em um sinal eléctrico.” (WILSON, 2005, p.1). Na robótica, sensores são dispositivos utilizados para “sentir” o ambiente, de modo geral são dispositivos que captam as mudanças ocorridas no ambiente e transformam em sinais que são enviados para a unidade de controle, onde processados, conforme afirma Pazos (2002, p.135) “nos sistemas físicos cujo comportamento pretende ser controlado por um dispositivo eletrônico, é necessária a presença de sensores”. Conclui-se assim que os sensores são parte indispensável de qualquer sistema robótico onde há a necessidade de interação com o ambiente, pois para qualquer interação existe a necessidade de percepção. Uma das classificações possíveis para sensores é aquela definida pelo efeito físico que se deseja medir ou controlar, conforme Pazos (2002, p.135), segue relação de alguns dos sensores mais utilizados em robótica:

- Sensor de Temperatura

Existem algumas aplicações em robótica em que há a necessidade de controlar a temperatura, seja do ambiente ou de alguma objeto ou substância, nesses casos são empregados sensores de temperatura, que são dispositivos cuja função é emitir um sinal eléctrico que muda conforme a variação da temperatura. “Os sensores de temperatura detectam uma

alteração de um parâmetro físico, tal como resistência ou tensão de saída, que corresponde à mudança de temperatura” (WILSON, 2005, p.531). Ainda segundo Wilson (2005, p.531), existem dois tipos básicos de sensores de temperatura, a saber:

#### 1. Sensores de contato

Esse tipo de sensor exige que a superfície do objeto ou substância que se deseja controlar esteja em contato com o sensor, pode ser usado para controlar a temperatura de sólidos, líquidos ou gases.

#### 2. Sensores sem contato

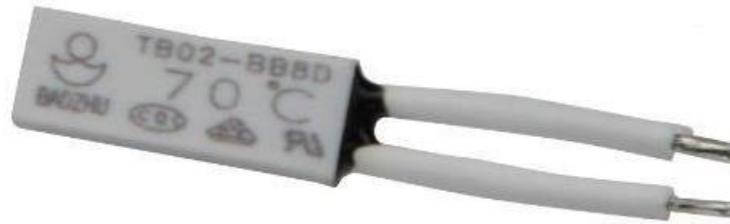
Sensores deste tipo fazem o controle da temperatura através da “energia radiante de uma fonte de calor” (WILSON, 2005, p.531). Podem ser utilizados para monitorar sólidos não reflexivos e líquidos, mas não é eficaz com gases.

Além dessa classificação, os sensores de temperatura são classificados segundo a tecnologia em três famílias: eletromecânica, eletrônica e resistiva (WILSON, 2005, p.531).

#### 1. Eletromecânica

##### ▪ Par Bimetálico

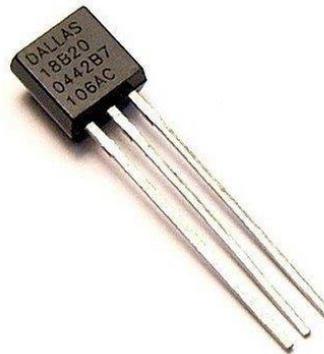
Par Bimetálico é um dispositivo composto por “dois metais diferentes, ligados entre si sob calor e pressão para formar uma única tira de material. Ao empregar diferentes taxas de expansão dos dois materiais, a energia térmica pode ser convertida em movimento eletromecânico.” (WILSON, 2005, p.532). Dessa forma o movimento de expansão produzido pela dilatação do material pode ser usado, por exemplo, para fechar um contato elétrico, produzindo um pulso elétrico semelhante ao de uma chave. Esse tipo de sensor não funciona para medir uma faixa de temperatura, mas apenas para disparar um sinal quando determinada temperatura é alcançada (PAZOS, 2002, p.142).



**Figura 11: Par Bimetálico**

## 2. Eletrônica

- Sensores de silício: “Esse tipo de sensor faz uso das propriedades de resistência elétrica dos materiais semicondutores” (WILSON, 2005, p.532). Sensores de silício podem proporcionar leitura digital de temperatura sem necessidade de conversores A/D.

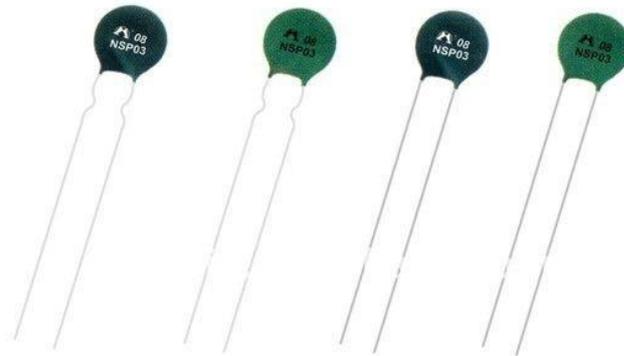


**Figura 12: Sensor De Temperatura Digital Ds18b20**

## 3. Resistiva

“Estes sensores estão baseados no princípio que a resistividade de um material depende da temperatura” Pazos (2002, p.143) Dessa forma uma resistência elétrica terá seu valor alterado em função da temperatura à qual é submetido. O tipo mais comum de sensor de temperatura resistivo é o termistor, conforme Wilson:

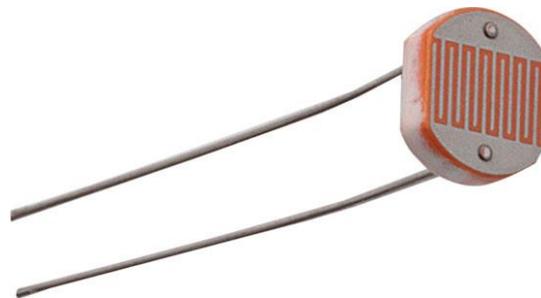
Termistores estão disponíveis em dois tipos diferentes: coeficiente de temperatura positivo (PTC) e coeficiente de temperatura negativo (NTC). Dispositivos PTC exibem variação positiva ou aumento da resistência quando a temperatura aumenta, enquanto os dispositivos de NTC exibem variação negativa ou diminuição da resistência quando a temperatura aumenta. A mudança na resistência dos dispositivos de NTC é normalmente muito grande, proporcionando um elevado grau de sensibilidade. (WILSON, 2005, p.534)



**Figura 13: Termistores**

- **Sensor de Luz ou de Luminosidade**

O sensor de luz mais utilizado é o LDR (resistor dependente de luz), “baseado no efeito fotoelétrico, descoberto por Einstein, segundo o qual alguns materiais geram energia elétrica quando são iluminados” (PAZOS, 2002, p.174). LDR são dispositivos cuja resistência muda com a incidência da luz. Os materiais mais comuns para a sua fabricação são à base de cádmio (RIPKA; TIPEK, 2007, p.54).



**Figura 14: LDR (resistor dependente de luz)**

- **Sensor de Som**

Sensores de som são dispositivos que convertem as ondas mecânicas do som, propagadas pelo ar, em sinais elétricos. O tipo mais simples e comum de sensor de som é o microfone. Embora esse tipo de sensor possa ser utilizado, por exemplo, para comandos de voz, é mais utilizado é em sensores de ultra-som, utilizados para medir distância, sua composição e funcionamento é descrito por Pazos:

Estes sensores são formados por um emissor de ultra-som e um receptor. O emissor está constituído por um cristal piezoelétrico que emite pulsos de sinais senoidais em frequência ultra-sônica (acima de 20 KHz). Esse sinal se reflete num objeto denso e retorna, onde é detectado por um receptor, que consiste simplesmente num

microfone. [...] Esse sinal é amplificado e utilizado para desabilitar um contador de tempo, que foi disparado quando pulso original deixou o emissor. A distância entre o sensor e o objeto é igual à velocidade do som no meio, vezes a metade do tempo em que o pulso de ultra-som demorou em ir do emissor ao objeto e retornar para o sensor. (PAZOS, 2002, p.167)



**Figura 15: Sensor Ultra-som**

### **2.3.4 Centro de controle**

Fazendo uma analogia com o corpo humano, poderíamos dizer que, assim como os atuadores podem ser considerados os braços e pernas e os sensores os sentidos, o centro de controle pode ser considerado o cérebro do robô. É a unidade que processa os estímulos produzidos pelos sensores e emite ordens para os atuadores interagirem com o ambiente, conforme a programação estabelecida.

O que torna um robô interessante é o seu comportamento, e como esse comportamento se adapta, ou pode ser reprogramado às mudanças do ambiente [...] O melhor sistema de controle é aquele que não tem que fazer nada, onde a leis da física fazem todo o trabalho. (WISE, 2004, p.96).

Pazos (2002, p.44), afirma que controlar um sistema é conseguir com que o sistema controlado ofereça o comportamento desejado. Esse controle pode ser obtido por um computador, um microcontrolador, um circuito integrado, ou, simplesmente, através de um dispositivo mecânico. Dentre os possíveis dispositivos existentes para controle de sistemas, os microcontroladores são os que oferecem maior confiabilidade e flexibilidade, com um tamanho reduzido, o que tem permitido utilizá-lo nas mais diversas aplicações e, com o avanço e o barateamento da tecnologia de microcontroladores, esses dispositivos vem sendo amplamente utilizados em robótica. “O número de

produtos que funcionam com base em um ou vários microcontroladores aumentam de forma exponencial” (USATEGUI; MARTÍNEZ, 2003, p.1).

Um microcontrolador consiste de um “circuito integrado programável que contém todos os componentes de um computador” (USATEGUI; MARTÍNEZ, 2003, p.1). Ainda, segundo Bates (2006, p3), “o microcontrolador é simplesmente um computador em um chip. É um dos mais importantes avanços da eletrônica desde a invenção do microprocessador”. Um microcontrolador é um computador completo, a diferença entre este dispositivo e um microprocessador é que ele possui todos os componentes necessários ao seu funcionamento, encapsulados em um único chip, como: processador, memória de programa, memória ram, barramentos de E/S, temporizadores, etc., enquanto que microprocessadores necessitam de circuitos auxiliares para prover esses componentes. Dentre os microcontroladores existentes no mercado, um dos mais utilizados em robótica atualmente é o PIC (Programmable Interface Controller), são fabricados pela empresa Microchip Technology Inc em diversas versões, como 8, 16 e 32 bits sobre arquitetura harvard e set de instruções RISC (IBRAHIM, 2008, p.13).

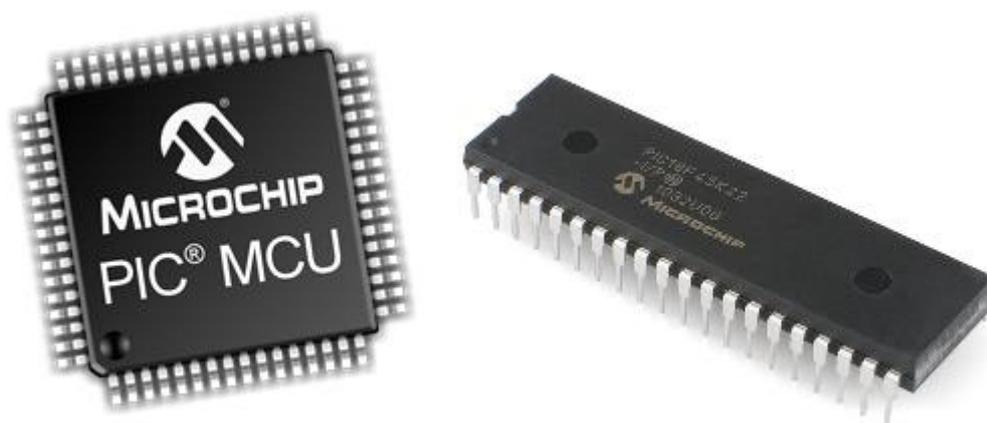


Figura 16: Microcontroladores PIC

## 2.4 Robótica Educativa

Em contraste ao que ocorre nas empresas, o uso da tecnologia têm se mantido distante da realidade das escolas, principalmente das instituições públicas de ensino. Analisando o ambiente educacional de qualquer escola hoje em dia,

salvo algumas exceções, podemos notar que esse ambiente pouco ou nada difere de uma sala de aula de cinquenta anos atrás, o que nos faz refletir sobre o porquê da escola ter se mantido alheia á essa tecnologia tão presente em nosso cotidiano e temos a impressão de que os métodos de ensino praticados nessas escolas encontram-se ultrapassados. Moran a esse respeito afirma que:

Muitas formas de ensinar hoje não se justificam mais. Perdemos tempo demais, aprendemos muito pouco, nos desmotivamos continuamente. Tanto professores como alunos temos a clara sensação de que muitas aulas convencionais estão ultrapassadas. (MORAN, 2000, p.137).

Papert(1994, p.9) faz uma análise interessante dessa realidade ao utilizar uma parábola como recurso para verificar como a profissão do professor e seu ambiente de trabalho encontram-se aquém de outros ramos de atividade profissional no que se refere ao uso da tecnologia como ferramenta de ensino-aprendizagem e produção. Nessa parábola, considera a reação de viajantes do tempo, professores e médicos trazidos de um século anterior, frente às mudanças ocorridas em suas respectivas profissões, concluindo que, diferentemente dos médicos, os professores sentiriam muito pouco o impacto do desenvolvimento tecnológico em sua profissão.

Frente a essa realidade, podemos nos questionar, como cientistas da computação, a respeito de como podemos atuar ativamente como agentes transformadores dessa realidade, utilizando o conhecimento e as técnicas da computação em benefício de uma escola mais dinâmica, estimulante e próxima da realidade tecnológica que nos rodeia a cada instante. A robótica, nesse sentido, apresenta-se como um recurso extremamente eficaz e estimulante de ensino-aprendizagem, onde, conforme destaca Oliveira (2007, p.51), “a criança pode ser construtora do seu próprio conhecimento” e não apenas um receptor passivo das explicações e conceitos abordados na sala de aula. A robótica oferece ao aluno um terreno fértil de experimentação e exploração no qual ele pode aplicar, individualmente ou em grupo, toda sua criatividade e espírito inventivo, na busca por respostas que podem ser verificadas de forma prática e intuitiva, conforme ensina Weiss e Cruz (2001, pág.32): o “sujeito aprende, mesmo sem ser ‘ensinado’, uma vez que está em constante atividade na interação como o ambiente, elaborando e reelaborando hipóteses que o

expliquem”. Estabelecendo uma conexão entre a formulação de hipóteses, experimentação e comprovação, o aluno pode vivenciar, mesmo que intuitivamente, as fases do método científico, desenvolvendo senso crítico e iniciativa na busca pela resolução de problemas, conforme observa Oliveira(2007):

A aprendizagem se processa através da crítica e da análise, estimulando que a auto-estima e as relações interpessoais se desenvolvam e se consolidem. Através do uso do método científico na geração de hipóteses e sua comprovação, estabelecem-se construções de estratégias naturais de participação, desenvolvem-se espírito crítico e iniciativas pessoais e grupais, com o grupo voltado sobre suas atividades e resultados e estimula-se a produção do próprio conhecimento. (OLIVEIRA, 2007, p. 53)

A robótica nos oferece um meio estimulante de aplicar o conhecimento multidisciplinar de forma prática e intuitiva, conforme destaca Papert:

“A oportunidade para a fantasia abre a porta para um sentimento de intimidade com o trabalho e proporciona um vislumbre de como o lado emocional do relacionamento das crianças com a ciência e a tecnologia poderia ser muito diferente do que o que é na tradicional Escola.” (PAPERT, 1994, P.161).

Podemos utilizar a robótica a favor de uma educação mais estimulante, tornando assim os atos de aprender e de ir à escola atividades prazerosas, nas quais o aluno possa vivenciar a prática de situações reais que exijam dele a aplicação de todo seu potencial criativo, conhecimento de mundo e espírito de cooperação na resolução de problemas, que surgem na interação com o meio, conforme nos mostra Weiss e Cruz (2001, pág.33): “a aprendizagem é resultante da interação do sujeito com o objeto do conhecimento, que não se reduz ao objeto concreto, mas inclui o outro, a família, a escola, o social”.

Segundo Weiss e Cruz (2001, pág.32) “o professor será aquele que enriquece o ambiente, provoca situações para que o aprendiz possa se desenvolver de forma ativa, realizando também suas próprias descobertas”. Assim, o uso da robótica proporciona ao professor uma forma de tornar o ambiente de ensino mais dinâmico, prazeroso e estimulante, no qual pode interagir com o aluno, atuando como facilitador das informações e das ferramentas necessárias à busca de soluções, projetando, construindo, testando, analisando e reformulando hipóteses, auxiliando e instigando assim o aluno na construção de uma consciência crítica a respeito do mundo que o rodeia. Conforme destaca Maisonnette:

“A robótica pedagógica é uma atividade que permite a simulação em mundos virtuais e reais, colocando o aluno e o professor diante do computador como manipuladores de situações ali desenvolvidas, que imitam ou se aproximam de um sistema real. É esse ambiente que permite ao aluno manipular variáveis, observar os resultados, errar, e modificar seu trabalho, trabalhando de forma positiva com o paradigma erro-acerto”. (MAISONNETTE, 2009).

### 3. MÓDULO CONTROLADOR: DESENVOLVIMENTO

#### 3.2 Aspectos gerais do projeto

Ao pensar no desenvolvimento de um módulo controlador, com o objetivo de viabilizar o ensino de robótica, a ideia principal seria fornecer uma plataforma de hardware de fácil confecção, programação fácil e acessível, preferencialmente através de alguma IDE gratuita, através da interface USB e custo acessível, e que, quando finalizada, fosse de fácil manipulação e montagem, como plataformas comerciais amplamente em uso, como a LEGO MINDSTORMS<sup>®</sup>, que possui, além da unidade de controle, módulos de sensores e motores, com conexão fácil e programação visual. Assim começou a pesquisa pela melhor plataforma, que oferecesse essas características a um custo acessível. A melhor opção foi a confecção do módulo baseado no microcontrolador PIC 18F4550, um microcontrolador de baixo custo, 8 bits, 30 entradas e saídas digitais, 13 entradas analógicas compartilhadas, suporte a USB nativo e bootloader, que permite a gravação via USB, sem a necessidade de gravadores, e programação acessível, uma vez que o mesmo é 100% compatível com o projeto pinguino, uma plataforma de hardware Open Source criada em 2008 por Jean Pierre Mandon, baseada nos microcontroladores PIC18Fx550, PIC18Fx5K50, PIC18Fx6J50, PIC18Fx7J53 e PIC32MX, com IDE de programação multiplataforma desenvolvida em Python com linguagem compatível com arduino (ZEITOUNIAN et al., 2013).

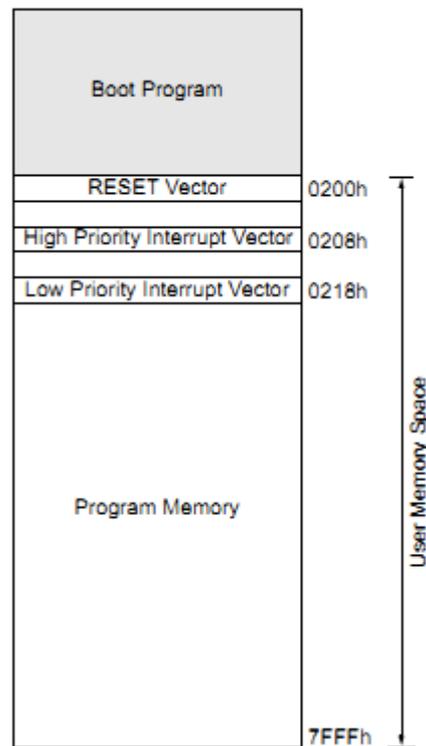
Outro aspecto analisado é a forma de conexão do módulo controlador e os sensores/atuadores, a solução encontrada foi utilizar jacks RJ11, cabos de telefone de dois pares e conectores RJ11, possibilitando, dessa forma, uma forma segura e prática de conexão, facilitando a modularização do projeto, da seguinte forma: o módulo controlador e alguns módulos auxiliares, de sensores e motores, como módulo seguidor de linha, módulo sensor de cores, módulo controlador de motor D.C e módulo controlador de motores de passo.

A modularização torna a experiência do usuário mais prática e intuitiva, abstraindo-se o desenvolvimento do hardware, abre-se a possibilidade do trabalho com programação em alto nível, usando os módulos como ferramenta para a experimentação da robótica no processo ensino aprendizagem.

### **3.3 Microcontrolador**

Como elemento principal do projeto, o microcontrolador deveria fornecer as funcionalidades esperadas pela sua concepção, como facilidade de uso, boa relação custo x benefício, documentação acessível, plataforma de programação gratuita ou open source e multiplataforma, boa oferta no mercado brasileiro e suporte nativo à USB com bootloader.

Em projetos de robótica, principalmente em competições, existe a necessidade de se programar o microcontrolador diretamente do computador, utilizando uma interface de alta velocidade, como a USB. Esse tipo de programação é mais prática e rápida, uma vez que a utilização de programadores exige que o microcontrolador seja desconectado, programado e conectado novamente à placa controladora, o que, além de trabalhoso, mesmo com o uso de sockets, demanda um tempo que, em uma competição ou sala de aula, é extremamente precioso. O Bootloader é um firmware que, uma vez gravado em uma região reservada da memória do microcontrolador, que no PIC18F4550 é a região compreendida entre o endereço 000h a 0200h, faz o gerenciamento da mesma, carregando e executando todo código salvo na memória de programa (FOSLER; RICHEY; INC, 2013, p.2). Ainda “é um programa que permitirá que um novo aplicativo seja instalado sem a necessidade de qualquer hardware especial” (PREDKO, 2008, p.527)



**Figura 17: Organização da memória no Microcontrolador PIC18F4550. Fonte: Microchip Technology INC (usa) (2013)**

Essa funcionalidade é vital para qualquer projeto de robótica e foi fator determinante para a escolha deste microcontrolador para realização do projeto, além das demais características, descritas a seguir conforme Microchip Technology INC (usa) (2013, p.9):

- Frequência de operação: DC – 48 MHz
- Memória:

Memória de Programa (Bytes)	Memória de Programa (Instruções)	Memória de Dados (RAM) (Bytes)	Memória de Dados (EEPROM) (Bytes)
32768	16384	2048	256

- Interrupções: 20
- Portas I/O: 30 portas configuráveis como entrada ou saída digitais
  - A(RA0-RA6): 7 Entradas
  - B(RB0-RB7): 8 Entradas
  - C(RC0-RC2, RC4-RC7): 7 Entradas
  - D(RD0, RD5-RD7): 4 Entradas
  - E(RE0 –RE3): 4 Entradas

- 13 portas configuráveis como entradas analógicas (Módulo conversor Analógico-Digital de 10 bits).
  - AN1 – AN12
    - Módulo PWM: 1
    - Módulo USB: 1
- Módulo Comparador de voltagem: 2

Disponibilizado em três padrões diferentes de encapsulamento: PDIP, TQFP e QFN, foi definido como padrão para o projeto o PDIP (figura 17), pela facilidade de manuseio e confecção da placa, de forma artesanal, diferente dos outros padrões que exigem equipamentos e técnicas mais sofisticadas para a confecção de placas, além da maior disponibilidade no mercado brasileiro e preço mais acessível.

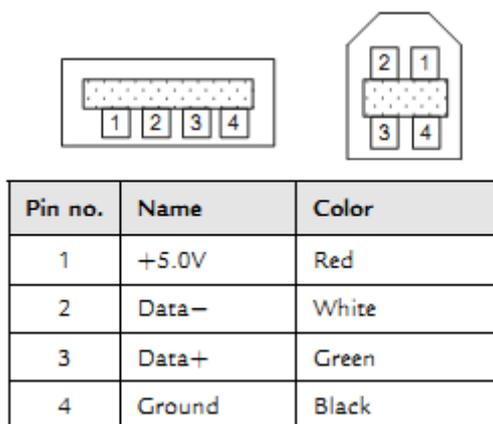
Descrição dos principais pinos do PIC18F4550:

- Pino 1: MCLR (Master Clear Reset)  
A função deste pino é fornecer uma forma de reset (reinicialização) externo do microcontrolador, uma vez que o mesmo só funciona quando este se encontra em nível alto (positivo), ao setá-lo em nível baixo e sem seguida em nível alto, ocorre a reinicialização do microcontrolador.
- Pinos 11 e 32: VDD  
Estes pinos são responsáveis pela alimentação positiva do microcontrolador, que pode operar em uma faixa de voltagem de 2.0V a 5.5V.
- Pinos 12 e 31: VSS  
Correspondem ao terra do circuito ou GND.
- Pinos 13 e 14: OSC1 E OSC2  
Estes pinos são responsáveis pelo circuito de clock ou oscilador, neles deve ser conectado o cristal responsável por fornecer a frequência de clock requerida pelo microcontrolador para o seu funcionamento, o PIC18F4550 pode operar com frequência de clock de até 40MHZ.

Todos os microcontroladores requerem um clock (ou um oscilador) para funcionar, normalmente fornecida por dispositivos de temporização externos ligados ao microcontrolador. Na maioria dos casos, estes dispositivos de temporização são um cristal e dois pequenos capacitores. (IBRAHIM, 2008, p.7).

- Pinos 24 e 23: D+ e D-

Estes pinos são responsáveis pela conexão USB do microcontrolador, correspondem aos pinos Data + e Data- do conector padrão USB.



**Figura 18: Conector USB. Fonte: (IBRAHIM, 2008, p.411).**

- Pino 18: Vusb
 

Este pino é responsável pela alimentação do módulo USB, como o transceiver da USB funciona com 3.3V o PIC possui internamente um regulador de 3.3V para o controlador USB. Caso se utilize alimentação de 5V no PIC, deve-se habilitar esse regulador, e desacoplar o pino 18 conectando-o à um capacitor de 220nF. Se o PIC for alimentado com 3.3V (e não 5V), deve-se desabilitar o regulador interno de 3.3V do PIC e conectar a fonte de alimentação do PIC no pino Vusb.
- Estes são, pode-se dizer, os pinos mais importantes do microcontrolador, aqueles responsáveis pelo seu funcionamento. Os demais pinos são responsáveis pela funcionalidade do microcontrolador e podem ser programados, conforme a necessidade, como:
  - Entradas e saídas digitais: pinos 2 a 10, 15 a 17, 19 a 30 e 33 a 40.
  - Entradas analógicas: pinos 2 a 5 , 7 a 10 e 33 a 17.
  - Comparadores de voltagem: pinos 2 a 7
  - Conversor analógico digital: 2 a 10 e 33 a 17.
  - Módulos PWM: pinos 16, 17 e 36

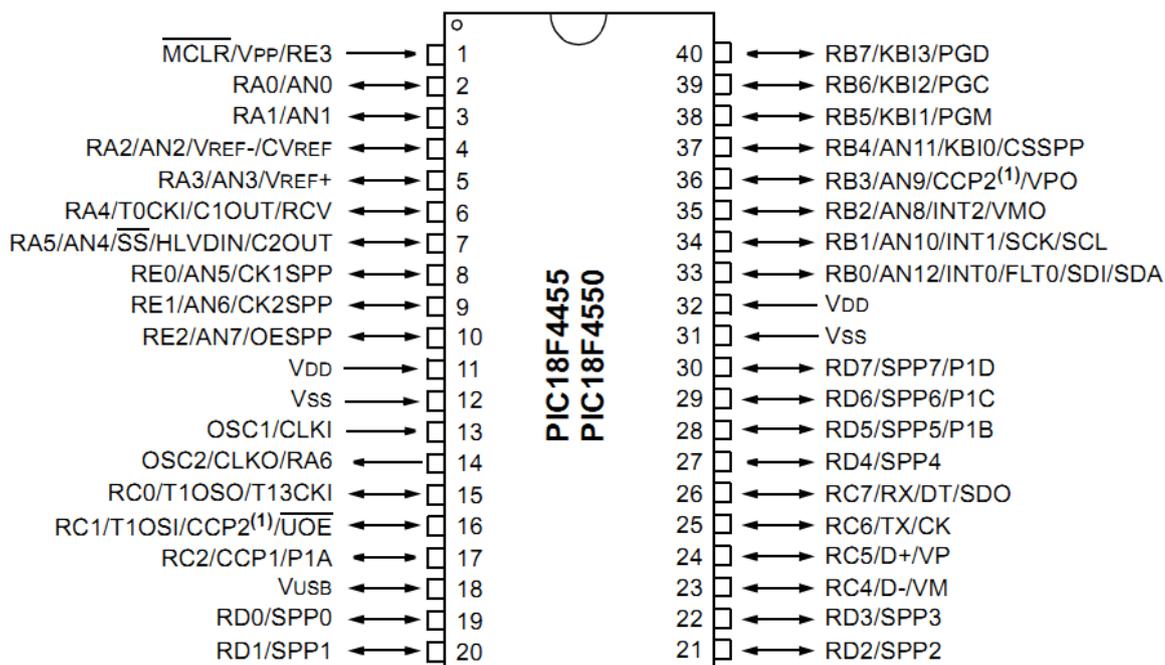


Figura 19: Pinagem do microcontrolador PIC18F4550, encapsulamento PDIP. Fonte: Microchip Technology INC (usa) (2013)

### 3.4 Programação

Grande parte da configuração do microcontrolador, como a das portas como entradas e saídas, é efetuada através da programação de registradores. Esses registradores, de 8 bits, são posições da memória “que controlam as operações, tais como os dispositivos periféricos, temporizadores, contadores, conversor A/D e interrupções” (IBRAHIM, 2008, p.51) e atuam diretamente nas saídas do microcontrolador (SOUSA; SOUZA; LAVINIA, 2010, p.45)., as entradas e saídas do microcontrolador são organizadas na forma de PORTs, 1 de 8 E/S, 2 de 7 E/S e 2 de 4E/S, totalizando 30 E/S digitais:

- PORTA(RA0-RA6): 7 Entradas
- PORTB(RB0-RB7): 8 Entradas
- PORTC(RC0-RC2, RC4-RC7): 7 Entradas
- PORTD(RD0, RD5-RD7): 4 Entradas
- PORTE(RE0 –RE3): 4 Entradas

Cada uma dessas portas é configurada através de seu respectivo registrador TRISx como entrada ou saída, onde x é a referencia da porta que se deseja configurar, essa configuração é feita setando-se o registrador para 0 (saída) ou 1(entrada), configurando todas os pinos da porta como saída ou entrada, por exemplo, a operação TRISA=0 estará configurando os pinos 2 a 7 (RA0-RA6)

como saída enquanto que a operação TRISB=1 configurará os pinos 33 a 40 (RB0-RB7) como entrada. Há também a opção de setar alguns bits como entrada e outros como saída para tanto deve-se atribuir um número hexadecimal ao registrador que corresponda à configuração desejada, por exemplo: fazendo TRISB=0x9D a porta assumirá a seguinte configuração: 10011101, ou seja, pinos 0, 3, 4, 5 e 7 como entradas e pinos 1, 2 e 6 como saída.

Da mesma forma a leitura e a escrita na PORT é feita através dos seguintes registradores: Leitura: PORTx e Escrita: LATx, onde x é a referência da porta que se deseja setar. Conforme exemplo de programação em C (IBRAHIM, 2008, p.161):

```
void main()
{
    TRISB = 0; // Configura a PORTB como saída
    PORTB = 0xAA; // Seta a porta B : 10101010
}
```

Microcontroladores PIC podem ser programados em diferentes linguagens de programação, tanto em linguagens de alto nível, como C, C++, Basic ou Pascal, quanto em linguagem de baixo nível, como Assembly. Existem atualmente muitas opções de compiladores para essas linguagens porém a grande maioria são em versões comerciais e para Windows, como: mikroC PRO for PIC ao preço de \$249.00, HI-TECH C Compiler ao preço aproximado de \$495.00 e PCWH IDE Compiler da empresa CSS pelo preço de \$600.00. Além dessas opções comerciais, existe o compilador MPLAB da Microchip, que é disponibilizado gratuitamente pela empresa em linguagem Assembly, porém com suporte a outras linguagens que podem ser instaladas em versões comerciais.

Como o objetivo deste projeto é propor um módulo controlador para robótica educativa, prático e a custo acessível, seria contraditório adotar um microcontrolador com plataforma de programação comercial, o ideal seria um microcontrolador com plataforma de programação de alto nível, gratuita ou open-source e multiplataforma, o que se tornou possível através do projeto Pinguino.

- **Projeto Pinguino**

Pinguino é um projeto iniciado em 2008 pelo engenheiro eletrônico francês Jean-Pierre Mandon, professor e pesquisador da Escola de Aix-en-Provence of Art, onde ensina programação, interatividade, redes, eletrônica e robótica. É um

projeto de código e hardware abertos cujo objetivo principal “é trazer a simplicidade da linguagem Arduino para os microcontroladores PIC com suporte nativo USB” (MANDON, 2013), suas principais características são descritas por Mandon (2013), como segue:

- Possui ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) desenvolvida em Python.
- É compatível tanto com os microcontroladores Microchip de 8-bit (PIC18F com suporte USB) e 32-bit (PIC32MX) ©.
- Usa compiladores de código aberto, SDCC e gcc-mips-elf, uma versão alvo de gcc para microcontroladores PIC32, disponíveis para GNU/Linux, Windows e Mac OS X.
- Pinguino é quase 100% compatível com a linguagem e bibliotecas Arduino.

Dessa forma é possível aproveitar a facilidade da linguagem Arduino em projetos baseados em Microcontroladores PIC. O site oficial do projeto disponibiliza a documentação completa da linguagem, bem como, download da IDE Pinguino, códigos fontes e esquemas das placas: <http://www.pinguino.cc>.

### **3.5 Eletrônica envolvida**

A eletrônica utilizada no módulo controlador segue as especificações do Datasheet do microcontrolador PIC18F4550, para o funcionamento básico no modo USB, que é o mesmo adotado pelo projeto Pinguino, conforme esquema abaixo:

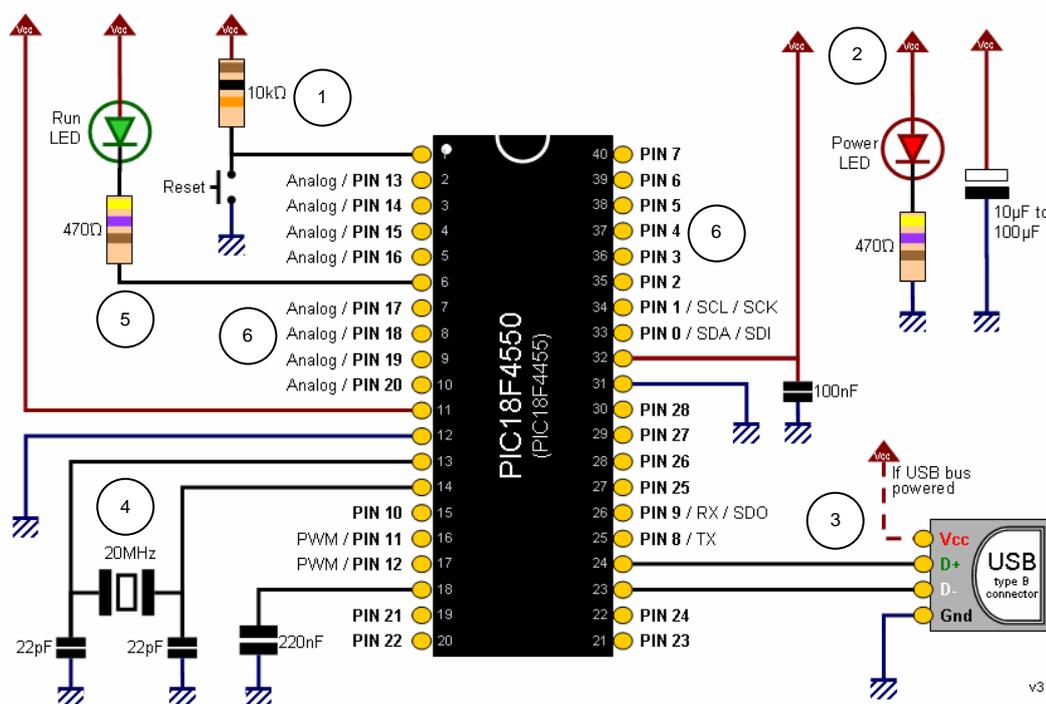


Figura 20: Esquema elétrico básico do Módulo Controlador. Fonte: [http://wiki.pinguino.cc/index.php/PIC18F4550\\_Pinguino](http://wiki.pinguino.cc/index.php/PIC18F4550_Pinguino)

### 1. Circuito de Reset

Esse circuito, implementado sobre o pino 1, é responsável pela reinicialização do microcontrolador e também por fazer o microcontrolador entrar no modo bootloader.

### 2. Circuito de alimentação

Implementado sobre os pinos 11, 12 e 31, 32, esse circuito é responsável pela alimentação do módulo, a 5V. É composto por capacitores, responsáveis pela retificação do sinal recebido, e por um LED ligado a um resistor, para indicar o funcionamento do circuito. Além desses componentes, o circuito desenvolvido contará também com um regulador de tensão LM7805, um componente cuja função é regular a tensão recebida pelo circuito em 5V.

### 3. Conexão USB

Esse circuito implementa a interface USB do microcontrolador e consiste apenas da ligação dos pinos 23 e 34 ao conector USB e dos pinos correspondentes ao VCC e GND do conector ao circuito de alimentação e ao terra do módulo, respectivamente, permitindo desta forma a alimentação do módulo controlador pela porta USB.

### 4. Circuito Oscilador

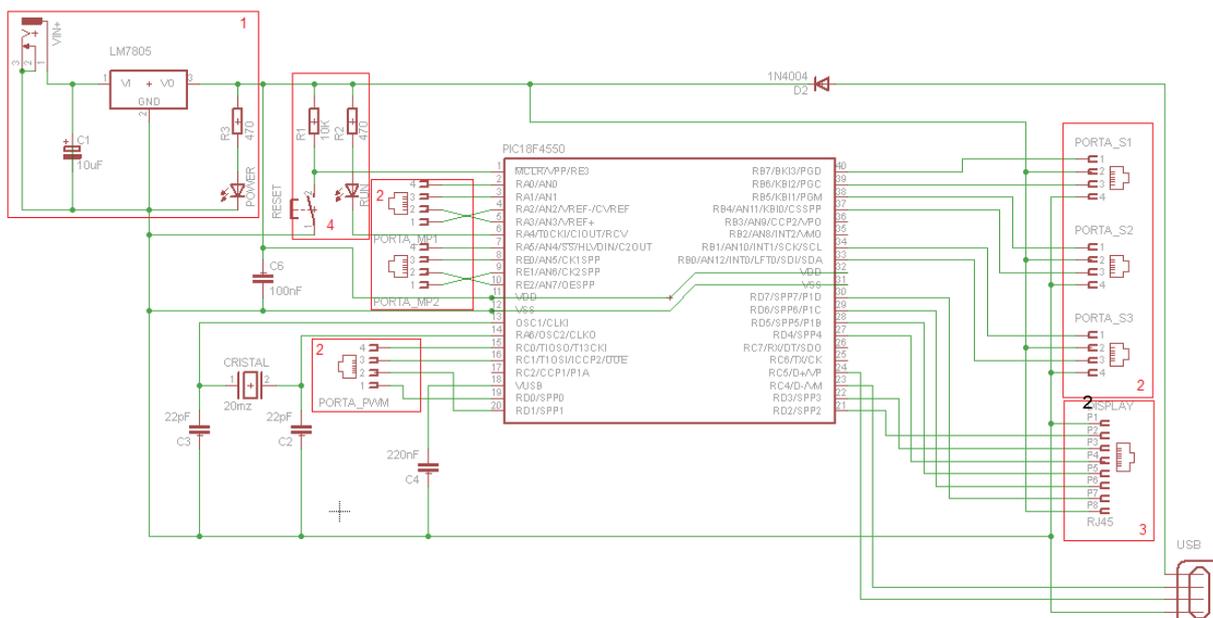
Esse circuito é responsável pelo clock do sistema à frequência de 20 MHz.

## 5. LED indicador de funcionamento

## 6. Portas de entrada e saída

Essa configuração básica fornece um total de 29 entradas e saídas digitais e 9 entradas analógicas além de 2 saídas PWM. Estes pinos serão conectados aos conectores RJ11.

A partir do esquema básico de funcionamento do PIC18F4550, foi possível esquematizar o circuito do projeto, em geral não há muitas mudanças com relação ao circuito básico, a mudança mais significativa fica por conta da adição do regulador de tensão LM7805, do conector de alimentação e dos conectores RJ11, que fornecerão a interface para modularização do projeto, provendo assim a comunicação entre os módulos auxiliares e o módulo controlador, conforme especificação a seguir:



**Figura 21: Módulo Controlador: Circuito Completo**

### 1. Circuito de alimentação

Este circuito é responsável pela alimentação do microcontrolador, que deve operar na faixa de 2.0 a 5.5V, para se obter essa voltagem no pino VSS do microcontrolador, independente da fonte utilizada, é utilizado um regulador de tensão LM7805, dispositivo cuja função é converter uma tensão de entrada, que pode variar de 5 a 18V, em uma tensão de saída de 4.8 a 5.2V. Além desse componente são utilizados um Jack de alimentação DC - J4, um capacitor de 10uF, 1 led vermelho e um resistor de 470ohm, indicador de funcionamento,.

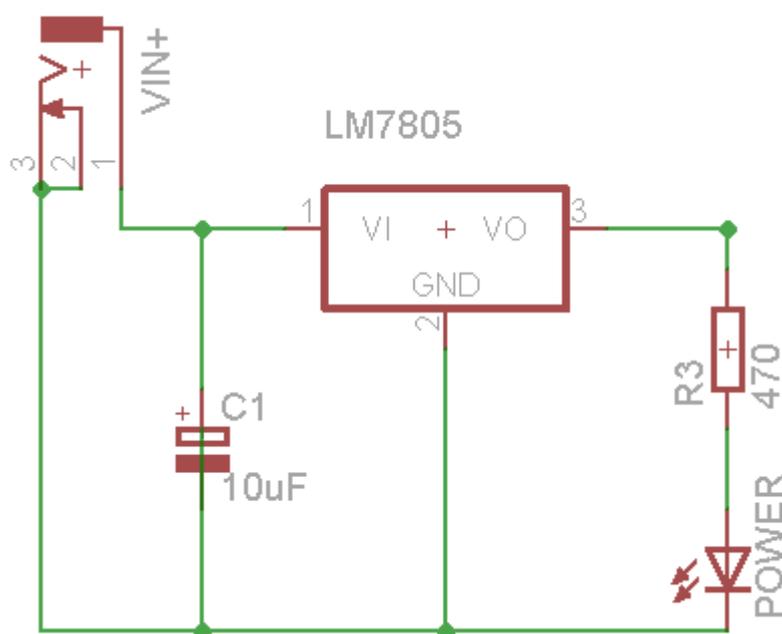


Figura 22: Circuito de alimentação do Módulo Controlador

2. A interface do circuito é implementada através de conectores RJ11, como o objetivo de facilitar a conexão com os diferentes módulos do projeto de forma prática e fácil, essa interface é composta por 3 portas configuráveis para módulos de sensores (S1, S2 e S3), implementadas sobre as portas RB0, RB1, RB4, RB5, RB6, RB7 do microcontrolador, cada uma dessas portas fornecem alimentação, terra e dois bits de entrada e saída digitais, que podem ser configurados conforme o módulo a ser conectado.

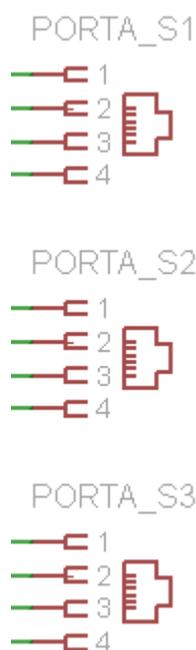
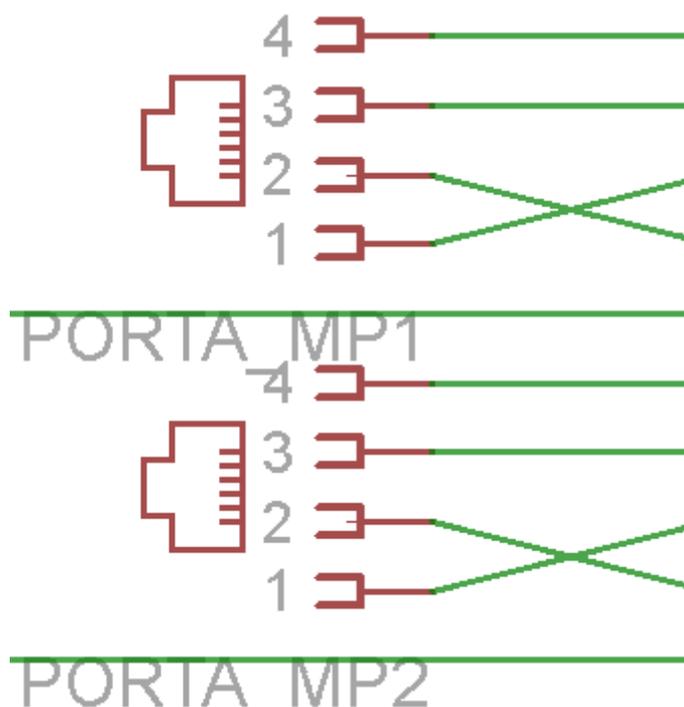


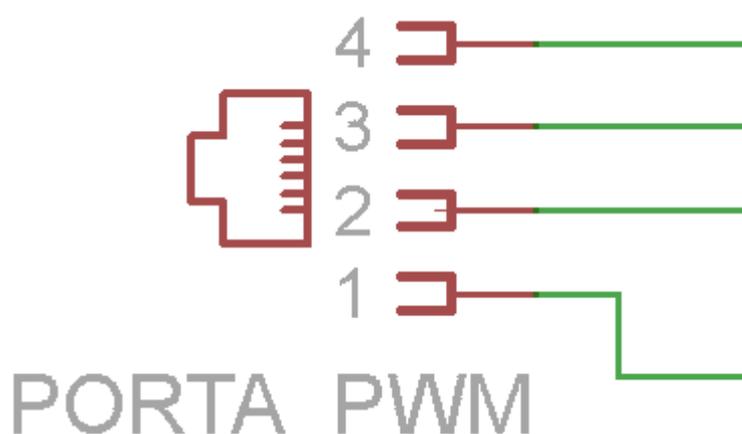
Figura 23: Portas S1, S2 e S3 - Sensores

Duas portas para controle de motores de passo, denominadas MP1 E MP2, cada uma fornecendo 4 bits de saída, responsáveis pela excitação de até 2 motores de passo, um em cada porta:



**Figura 24: Portas MP1 e MP2, controladoras de Motores de Passo**

Um uma porta controladora de motores DC com PWM, essa porta fornece duas saídas PWM (controle de velocidade) e duas saídas digitais (controle de direção), que são utilizadas para controle de um módulo controlador para dois motores DC, utilizando duas Pontes H.



**Figura 25: Conector de Motor DC com PWM.**

3. Porta de comunicação para display de LCD, essa porta, implementada sobre as portas RD2 a RD7 do microcontrolador, fornece uma interface de comunicação para utilização de displays LCD 16x2 (16 colunas por 2 linhas) sendo os pinos

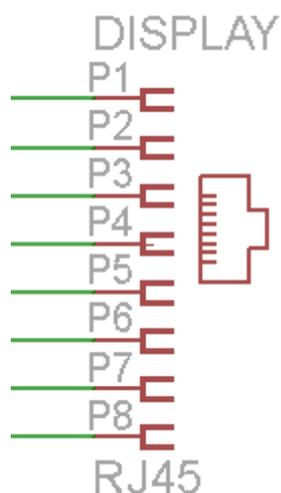


Figura 26: Porta para display LCD

4. Circuito de reset, composto por uma chave tipo push-button, que quando acionado interrompe o funcionamento do microcontrolador por alguns segundos forçando-o a entrar em modo bootloader, quando poder ser programado pela ide do Pinguino. Também é composto por um LED verde que indica o funcionamento do programa gravado no microcontrolador.

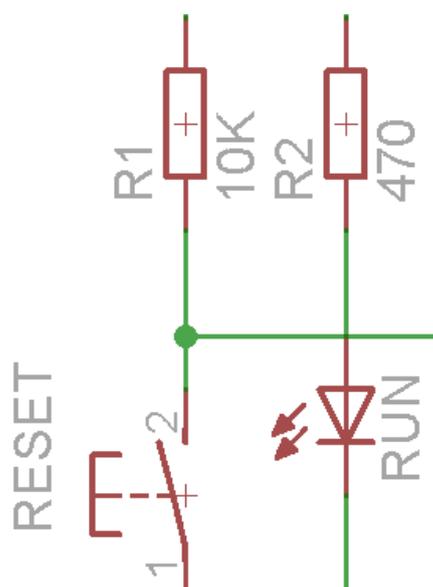


Figura 27: Circuito de reset

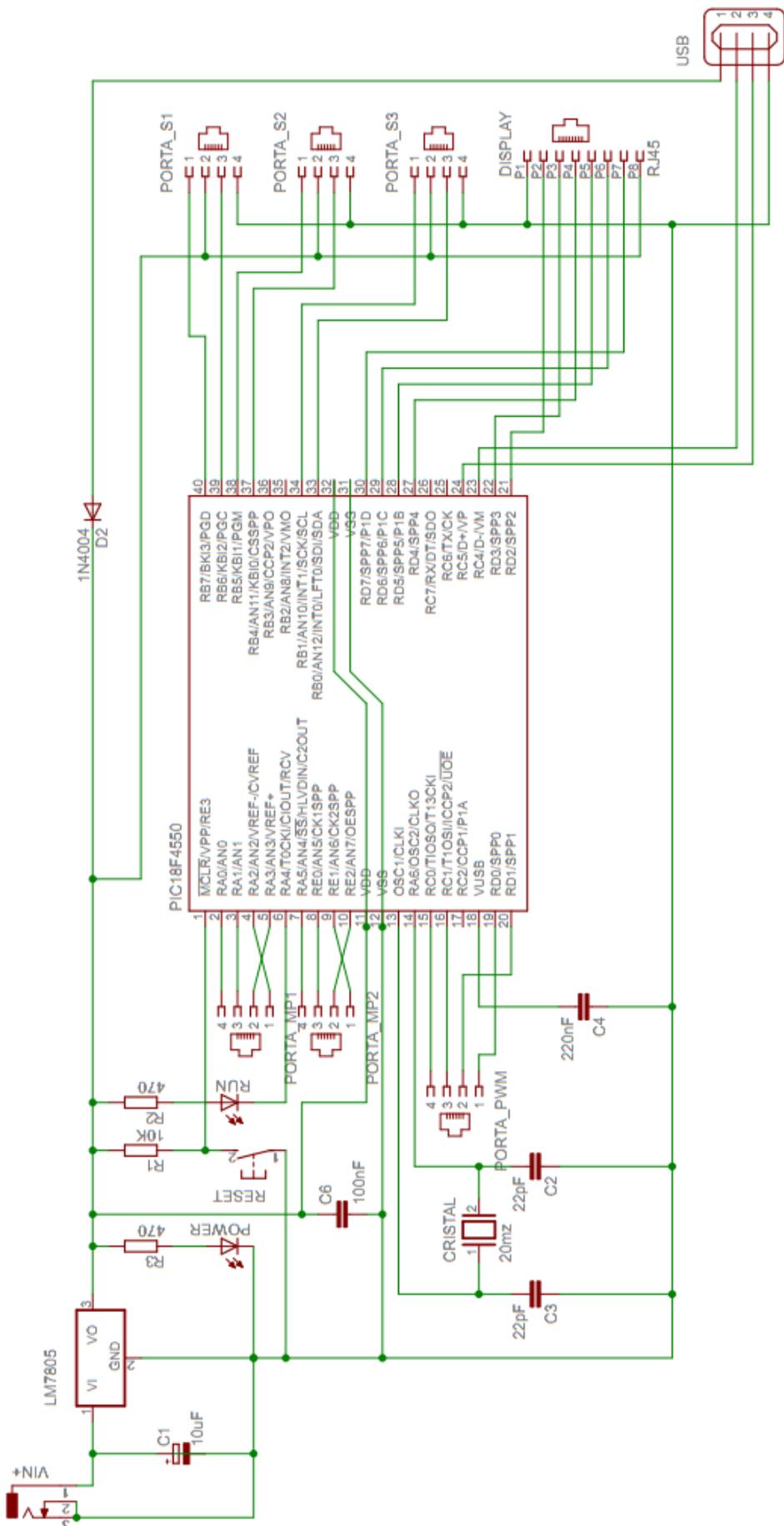


Figura 28: Circuito do módulo controlador (Ampliado)

### **3.6 Confecção da placa**

#### **3.6.1 Módulo controlador**

Para elaboração do circuito do projeto e da placa PCB, foi utilizado o software Eagle PCB da empresa Cadsoft, versão gratuita. O processo de confecção de placa pelo software Eagle segue duas fases, que são realizadas através de duas ferramentas distintas: a ferramenta schematic e a board. A ferramenta schematic é utilizada na primeira fase do processo, que consiste na elaboração do esquema do circuito, essa ferramenta disponibiliza uma biblioteca com a maioria dos componentes utilizados em eletrônica, oferecendo, também, a possibilidade de confecção de componentes personalizados, nessa fase são inseridos os componentes necessários ao circuito e feitas as ligações entre os mesmo. Após a elaboração do esquema entra em cena a ferramenta board, acessada através da tela do schematic, essa ferramenta importa a configuração do eschematic, apresentando em sua tela inicial os componentes, em seus respectivos formatos e tamanhos, e as conexões entre eles, bastando para a confecção da placa propriamente dita o posicionamento e o roteamento das conexões dos componentes na forma de trilhas, esse roteamento pode ser feito de forma manual, em que o usuário através do estudo do posicionamento dos componentes, cria as trilhas buscando o melhor aproveitamento do espaço da placa, e a forma automática, que é realizado através do comando autoroute, uma vez posicionados os componentes, esse comando é capaz de definir as trilhas de forma totalmente automática, sendo necessário apenas configurar alguns parâmetros como distancia mínima e espessura das trilhas e o número de faces da placa.

Após elaborar o esquema completo do circuito através da ferramenta schematic foi gerado o desenho da PCB (Printed circuit board), elaborado com a premissa de rotear todas as trilhas em uma placa de face simples, diminuindo ou eliminando assim jumpers ou a utilização de placa dupla face, mais cara e mais difícil de confeccionar artesanalmente. Após várias tentativas de roteamento automático, sem sucesso em diferentes

configurações, resultando em configurações com trilhas de dupla face, optou-se por fazer o roteamento manual, obtendo-se o resultado abaixo, 100% roteado em placa de face simples:

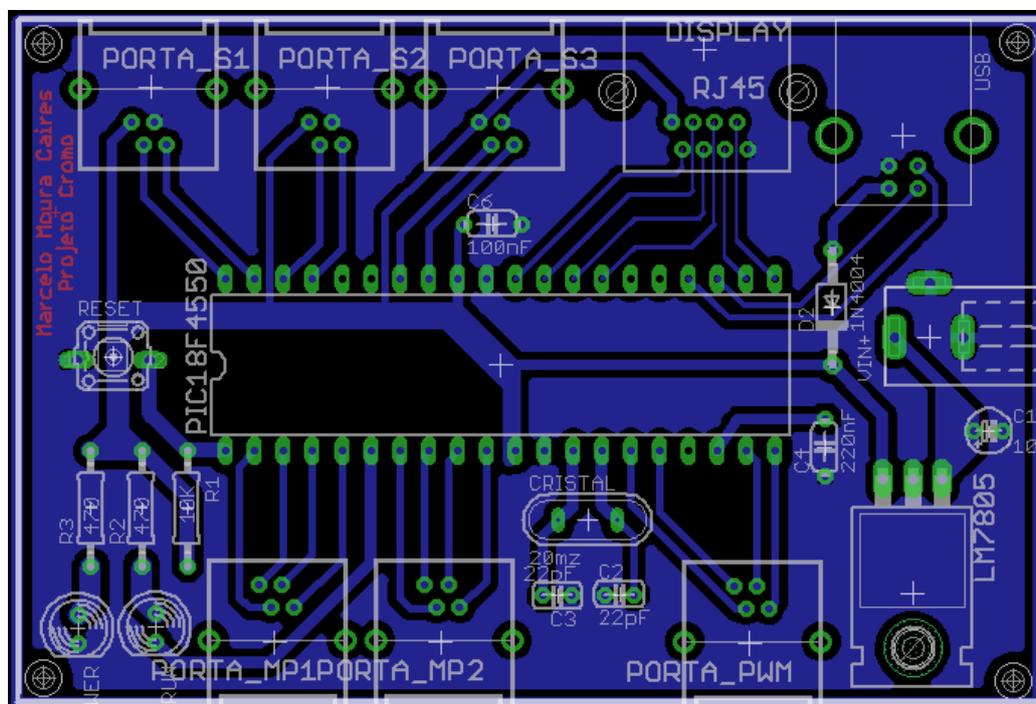


Figura 29: PCB do módulo controlador

A confecção física da placa foi realizada seguindo o método térmico, um método empírico que consiste em transferir um layout impresso a laser para uma placa através da aplicação de calor. Isso é possível devido à própria característica da impressão a laser, que se dá através da fixação do toner no papel através do calor, seguindo esse mesmo princípio, podemos então transferir o toner impresso em um papel para outra superfície, utilizando calor e pressão.

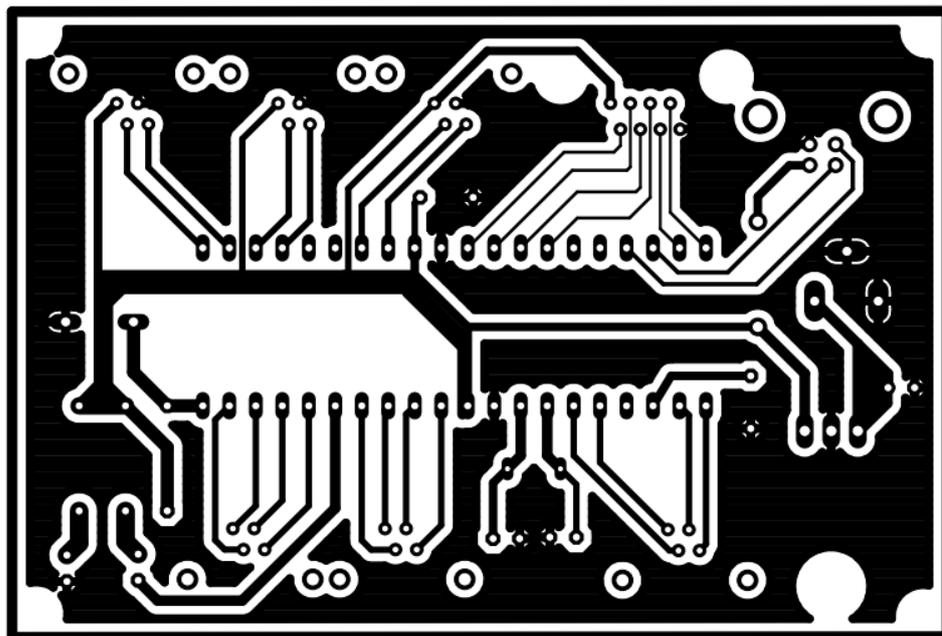
Método térmico segundo Becker (2013):

1. Material necessário:

- Layout da placa a ser confeccionada
- Papel Glossy 180g
- Placa de Circuito Impresso de fenolite (PCI)
- Ferro de passar roupas
- Solução para corroer placas (percloroeto de ferro)
- Palha de aço;
- Furador para PCI

2. Impressão

Após a elaboração do desenho da placa, deve-se imprimi-lo utilizando impressora a laser, em tom de preto, sobre papel glossy 180g, pelas experiências realizadas a gramatura que deu melhores resultados. O layout deve ser impresso de duas formas: a primeira apenas com as trilhas que comporão o circuito e que será transferida para a face cobreada da placa:



**Figura 30: Módulo controlador – Impressão das trilhas**

Além do circuito deve ser impresso também o verso da placa, com os nomes dos componentes, deve-se ter o cuidado de fazer essa impressão de forma espelhada, para que o desenho transferido para o verso da placa case com a face

cobreada.

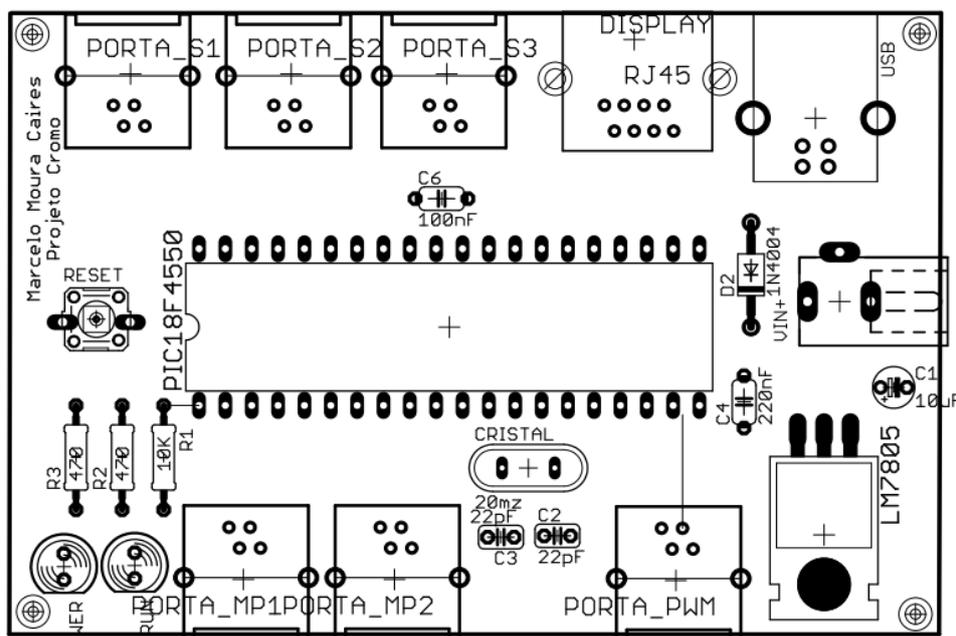


Figura 31: Módulo controlador - Impressão dos componentes

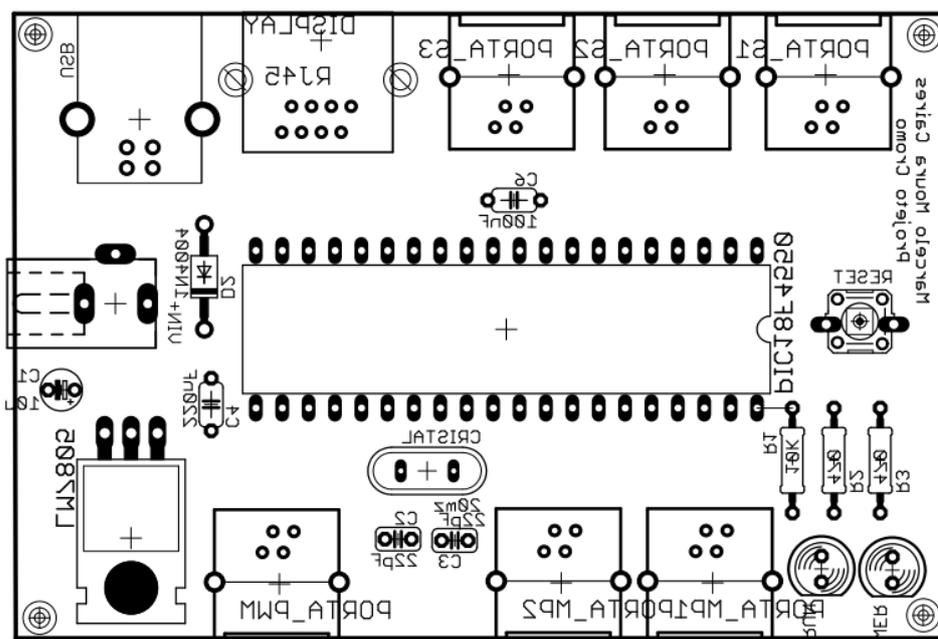


Figura 32: Módulo controlador - Impressão dos componentes (espelhada)

### 3. Transferência

Após a impressão dos layouts deve-se proceder com a transferência dos mesmos para a placa, primeiro deve-se cortar a placa no tamanho do layout, após isso executa-se a transferência do desenho para a placa, utilizando o ferro de passar aplicando pressão de forma uniforme em toda a superfície, pode ser usado álcool isopropílico para aumentar

a aderência do papel à placa, evitando que o mesmo se desloque sobre a placa, e o toner seja transferido de forma errada.

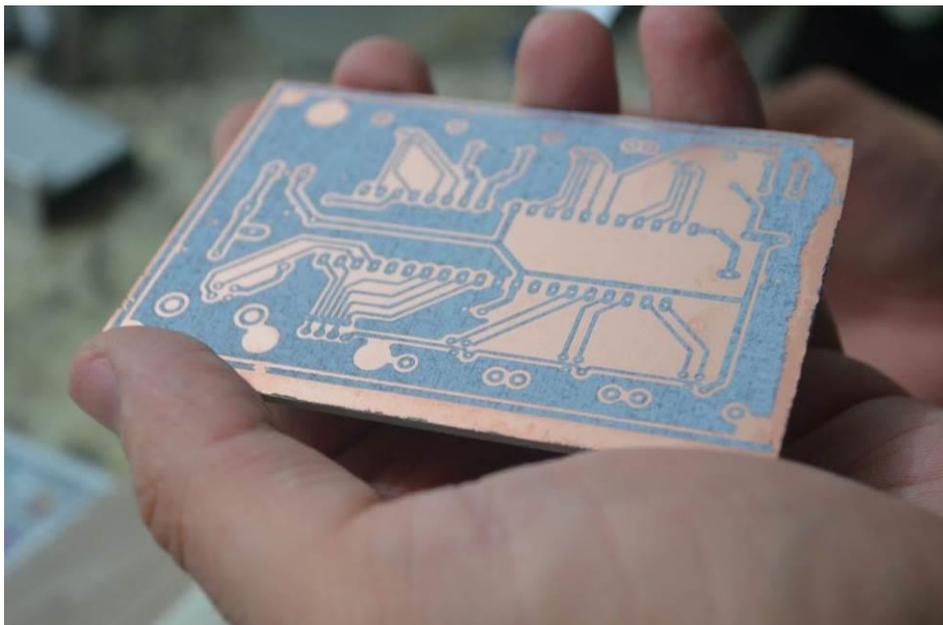


**Figura 33: Transferência térmica de Layout**

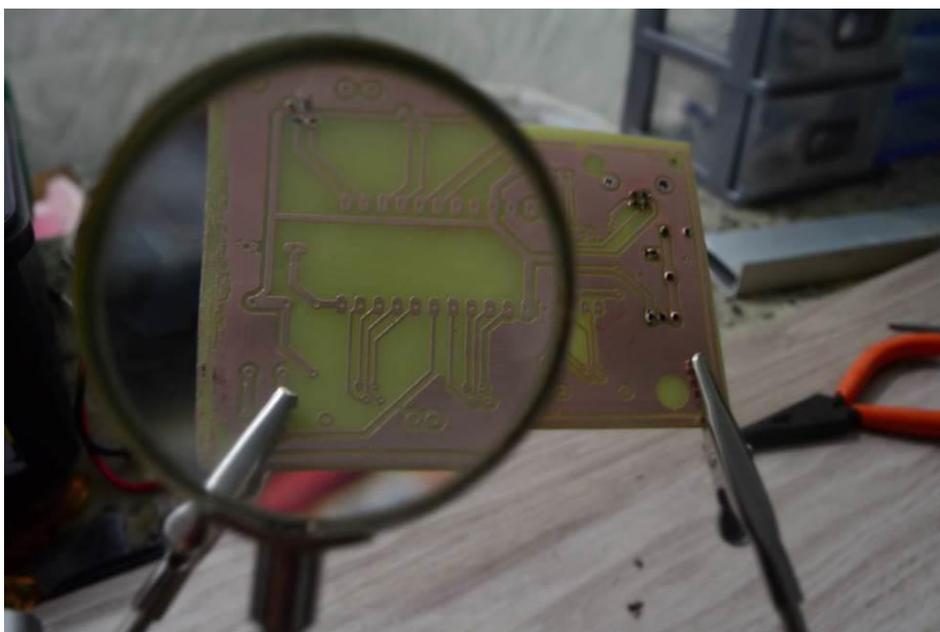
Após a transferência do toner para a placa, retira-se o papel, podendo em seguida proceder com a corrosão da placa com o percloro de ferro.



**Figura 34: Retirando o papel após a transferência do layout**



**Figura 35: Transferência do layout realizada**



**Figura 36: Placa corroída**

Depois de corroída, a placa está pronta para a furação, que pode ser feita com a utilização de perfurador de placa ou micro retífica. Nesse ponto o layout com a marcação dos componentes pode ser transferido para o verso da placa, através do mesmo processo de transferência das trilhas, facilitando assim a identificação dos componentes no momento da soldagem.



Figura 37: Perfurando a placa

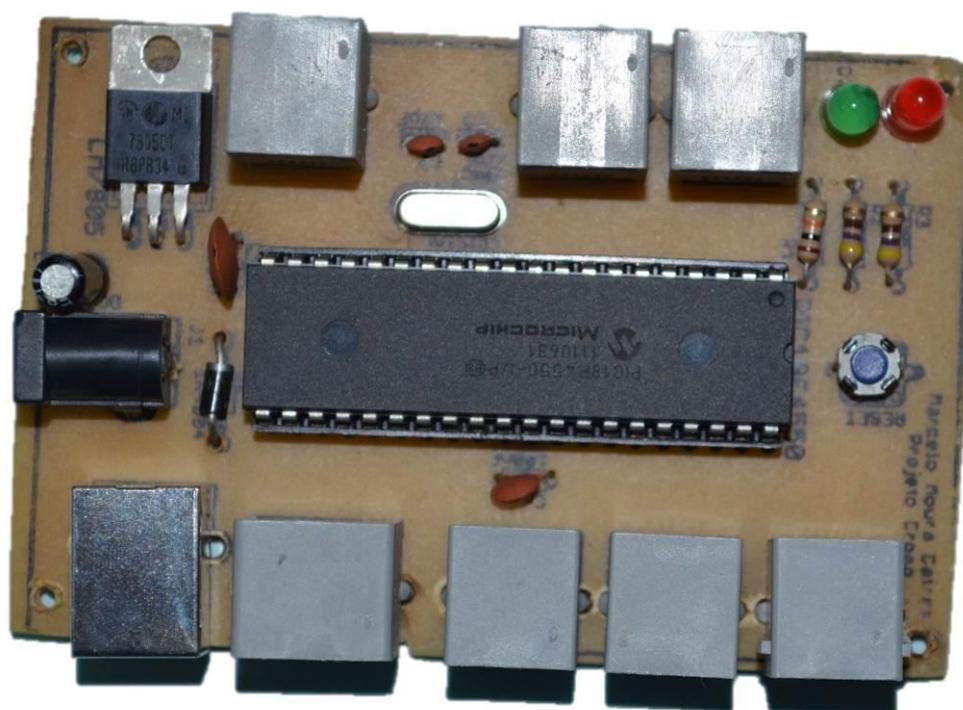


Figura 38: Módulo Controlador Pronto

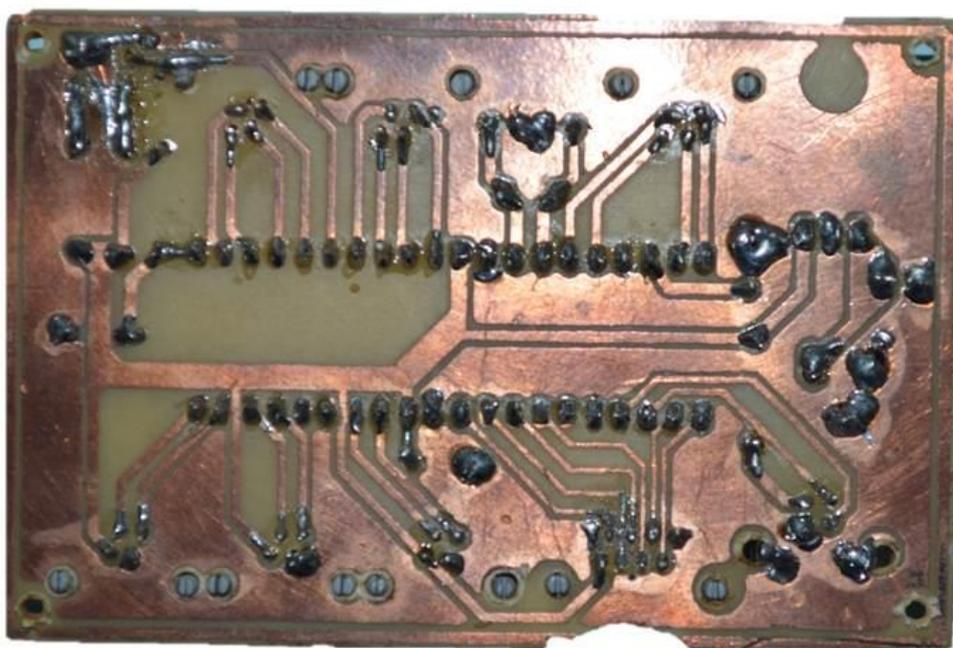


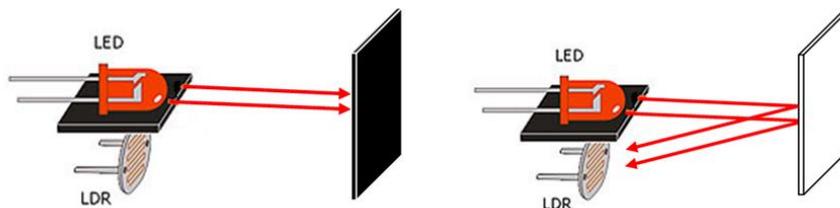
Figura 39: Módulo Controlador - Trilhas

### **3.6.2 Módulos auxiliares**

Seguindo a premissa de modularização do projeto, foram desenvolvidos dois módulos: sensor seguidor de linha e controlador para motores D.C e servos:

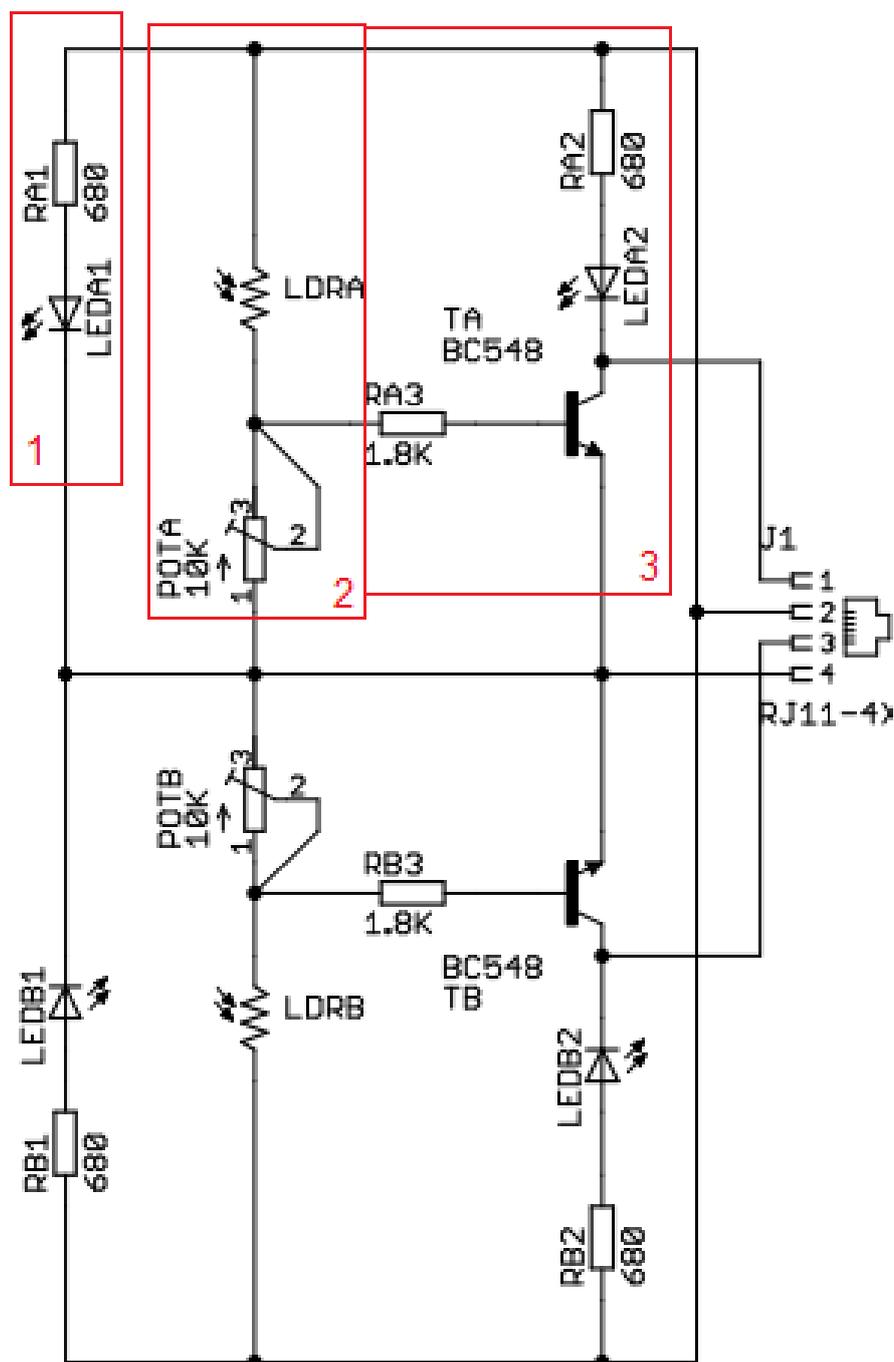
### **3.6.3 Módulo Sensor Seguidor de Linha**

Esse módulo é composto por dois sensores de luz, posicionados lado a lado, cuja finalidade é detectar a presença das cores branca e preta. Assim, quando posicionados entre uma linha preta sobre uma superfície branca, ou vice versa, é possível fazer com que um robô siga essa linha. Isso é possível devido ao fato de que a luz emitida pelo LED em uma superfície branca é refletida, podendo ser detectada pelo LDR, enquanto que, quando emitida sobre uma superfície preta, a luz é absorvida, não refletindo para o LDR, conforme a figura a seguir:



**Figura 40: Funcionamento do sensor seguidor de linha**

O circuito do sensor, conforme figura a seguir, é formado por 3 circuitos básicos, cujas funções são descritas abaixo:



**Figura 41: Sensor Seguidor de Linha - Esquema do Circuito**

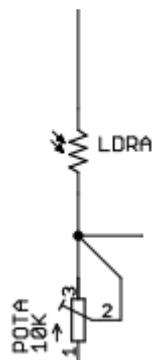
1. Este circuito, composto por um LED alto brilho e um resistor de 680ohm, é responsável pela emissão da luz sobre a superfície analisada, que pode ser refletida de volta ao LDR, conforme explicado anteriormente.



2. Este circuito é composto por um trimpot, um resistor variável, cujo valor de resistência pode variar de 0 a 10k, conforme o ajuste da chave, e um LDR (Light Dependent Resistor) ou resistor dependente de luz, cuja resistência pode variar, conforme a incidência de luz, de mais ou menos 10k, em ausência de luz, a 0 em luz alta. Ligados em série, esses componentes formam um divisor de tensão, cuja função é entregar um valor mínimo de 0.7 V, necessário à ativação do próximo circuito. Conforme Nilsson e Riedel (2009, 42) um circuito divisor de tensão possui a característica de entregar um valor de tensão menor do que a tensão de entrada, segundo a

fórmula a seguir:  $v_s = v_e \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ , onde  $v_s$  é a tensão de entrada

e  $v_e$  a tensão de saída, dessa forma podemos concluir que a tensão de saída ( $v_s$ ) poderá variar conforme os valores dos resistores  $R_1$  e  $R_2$ . Essa configuração permite que a sensibilidade do circuito seja ajustado através do trimpot, conforme a luminosidade do ambiente.



3. O circuito 3, responsável pelo envio do sinal ao microcontrolador, é composto por um transistor ligado à um resistor de 1.8K que, das muitas funções de um transistor, funciona nesse caso como uma chave eletrônica (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2004, p.103), permitindo, quando energizado na base com um valor mínimo de 0.7V, o chaveamento de um sinal positivo (5v) ou negativo (0V) no ponto a.

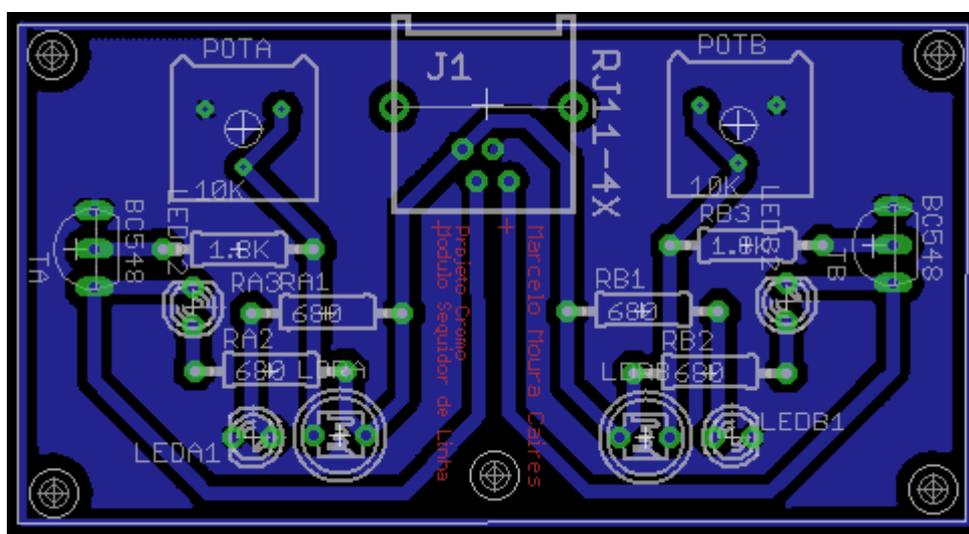
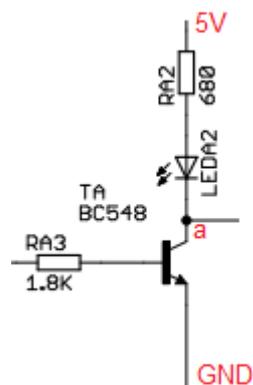


Figura 42: Sensor Seguidor de Linha - Placa

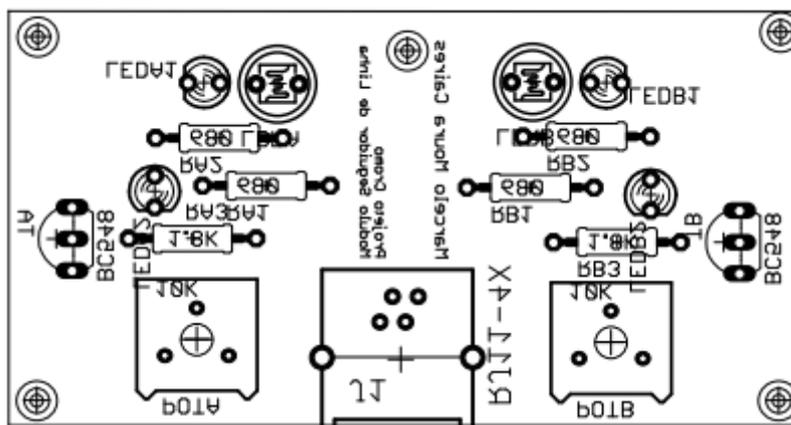


Figura 43: Sensor Seguidor de Linha - Impressão dos Componentes

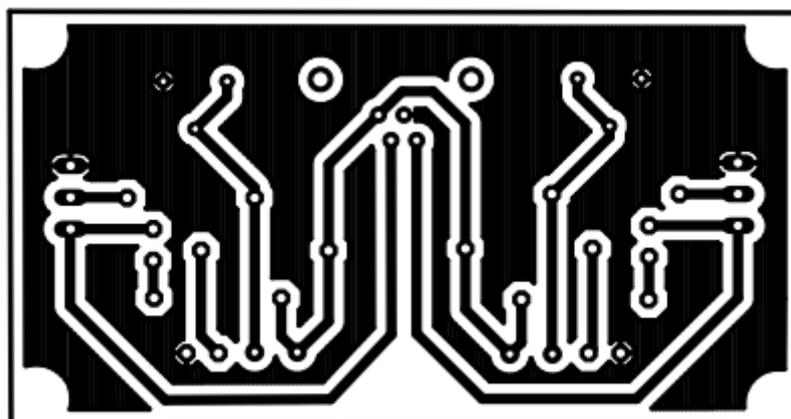


Figura 44: Sensor Seguidor de Linha – Impressão das Trilhas



Figura 45: Sensor Seguidor de Linha - Placa Pronta - Componentes

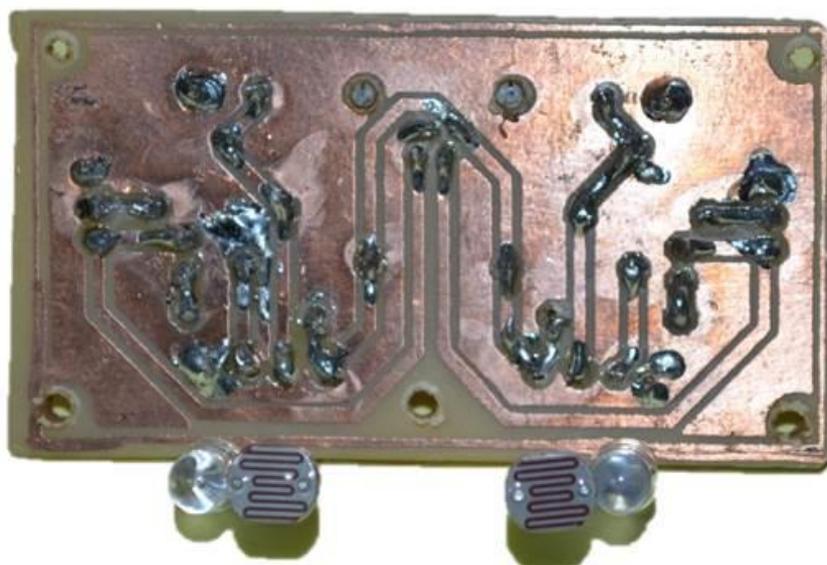


Figura 46: Sensor Seguidor de Linha - Placa Pronta - Trilhas

### 3.6.4 Módulo de Controle de Motores DC

Este módulo possui a função de controlar dois motores DC, através de duas pontes H, segundo Pazos (2002, p.102-103), uma ponte H pode ser utilizada para controlar o sentido de rotação de um motor D.C., através da circulação de correntes em sentidos diferentes, invertendo o sentido de rotação do motor.

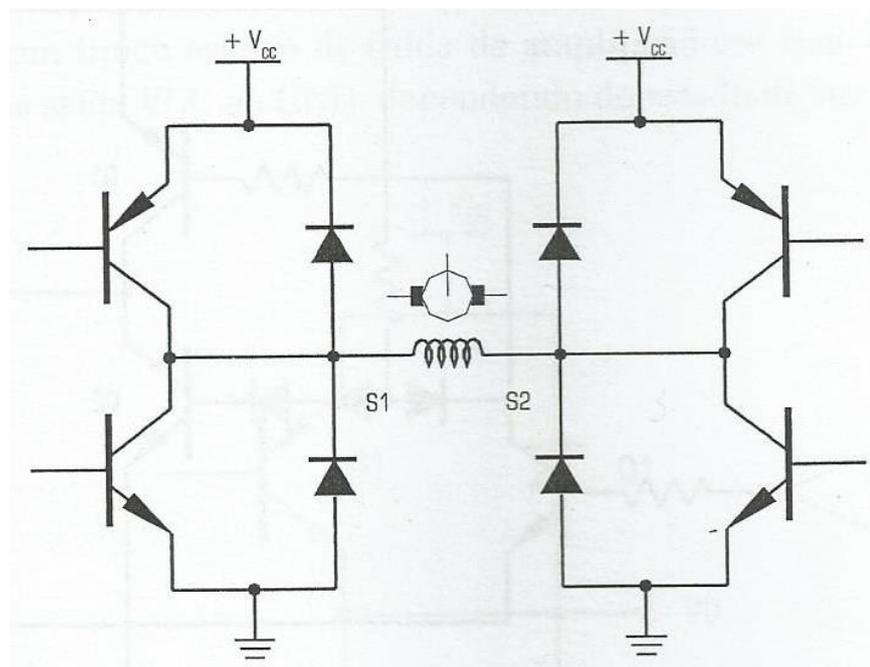


Figura 47: Exemplo de ponte H. Fonte: Pazos (2002, p. 103)

O circuito do módulo controlador de motores D.C foi feito com base no C.I. L293D. Um circuito integrado da Texas Instruments que implementa internamente duas pontes H, podendo operar com até dois motores, permitindo tanto o controle do sentido quanto da velocidade de rotação dos motores. Além desse componente, o circuito integra também um LM7805, regulador de tensão de 5V, para alimentação dos C.IS. e um C.I. 74LS04, circuito integrado que possui 6 portas inversoras, das quais duas são utilizadas para inverter o sinal de entrada do microcontrolador, conforme figura 48, além de conectores.

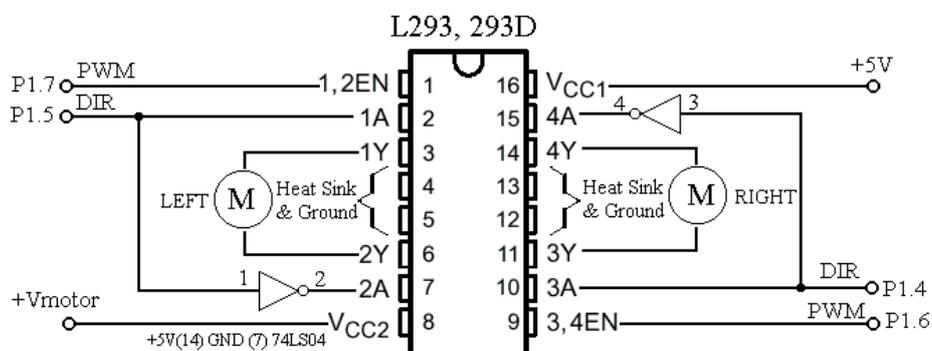


Figura 48: Exemplo de Ligação do C.I. L293D

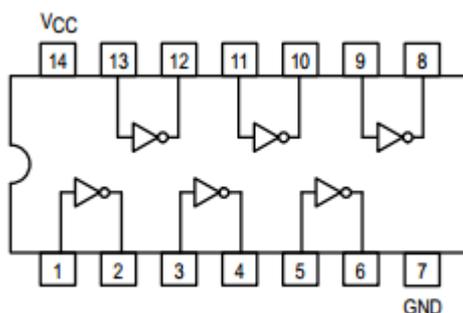


Figura 49: Pinagem do C.I. 74LS04

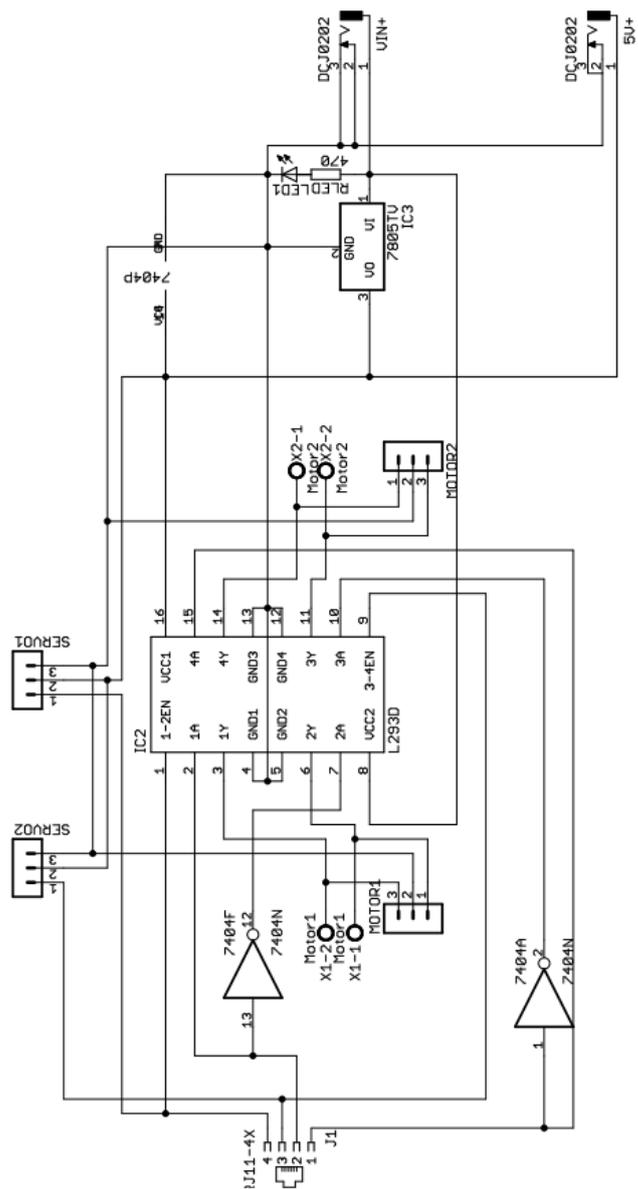


Figura 50: Módulo de Controle de Motores DC - Esquema do Circuito

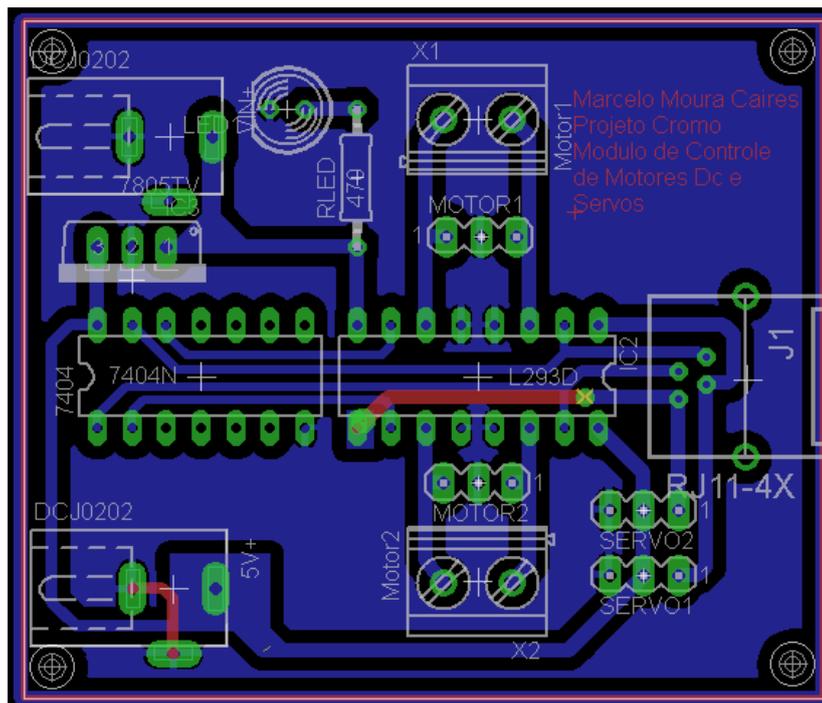


Figura 51: Módulo de Controle de Motores DC - Placa

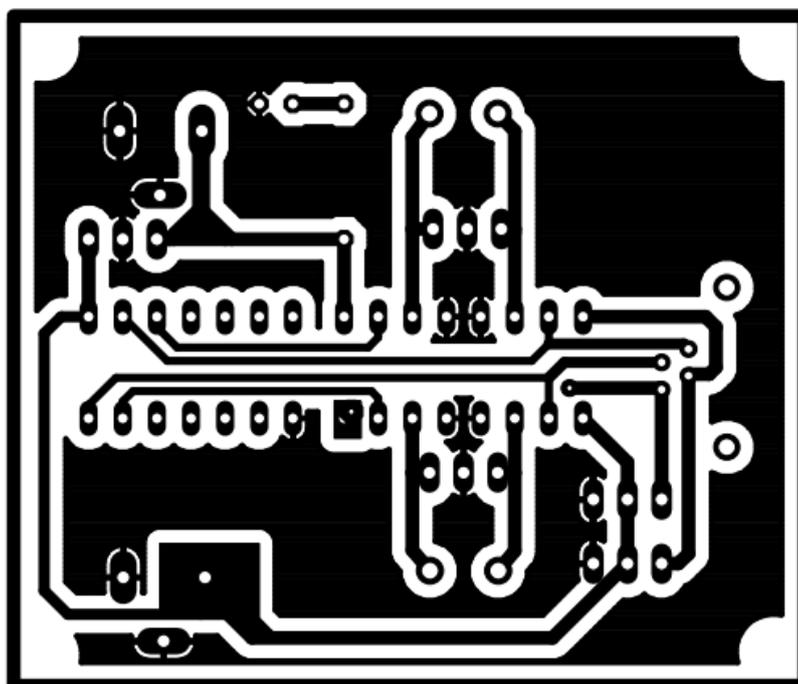
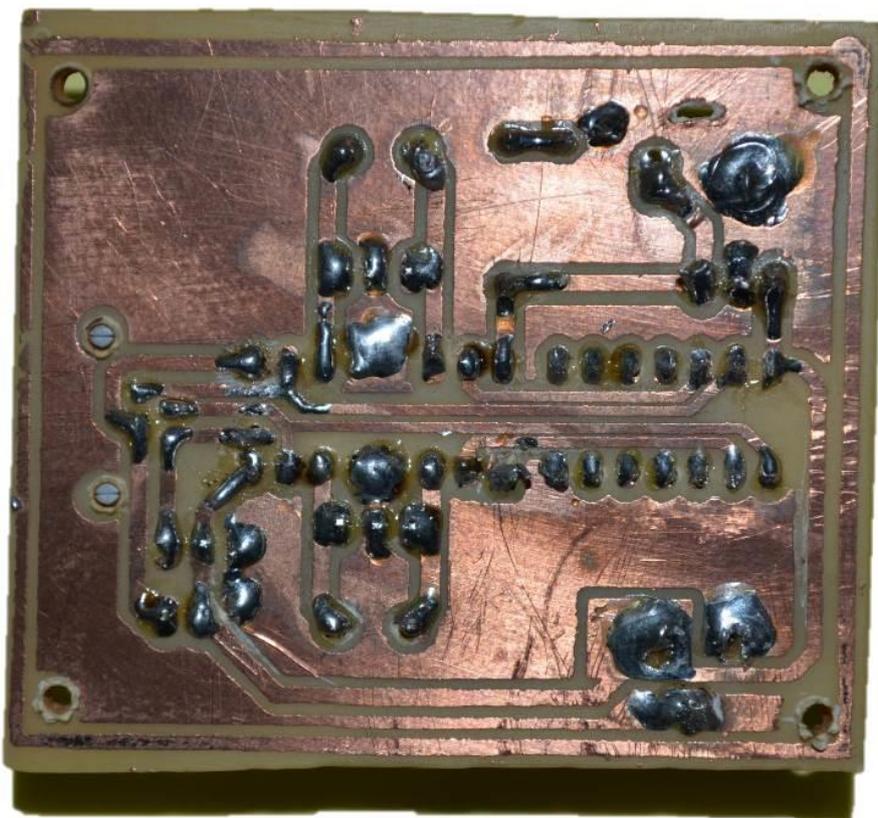


Figura 52: Módulo de Controle de Motores DC - Impressão das Trilhas





**Figura 55: Módulo de Controle de Motores DC - Placa Pronta - Trilhas**

### **3.7 Exemplo de aplicação**

Com o fim de demonstrar a viabilidade do projeto, foi desenvolvido um robô simples tipo seguidor de linha, composto pelos seguintes componentes:

1. Módulo Controlador
2. Sensor Seguidor de Linha
3. Módulo de Controle de Motores D.C
4. 2 Motores D.C
5. Estrutura composta de acrílico sobre conjunto de esteiras VEX (Tank Tread Kit)



**Figura 56: Kit de Esteiras VEX**

6. Pack de Bateria de 9V e 250 mA, composto por 5 baterias de 9V ligadas em paralelo.

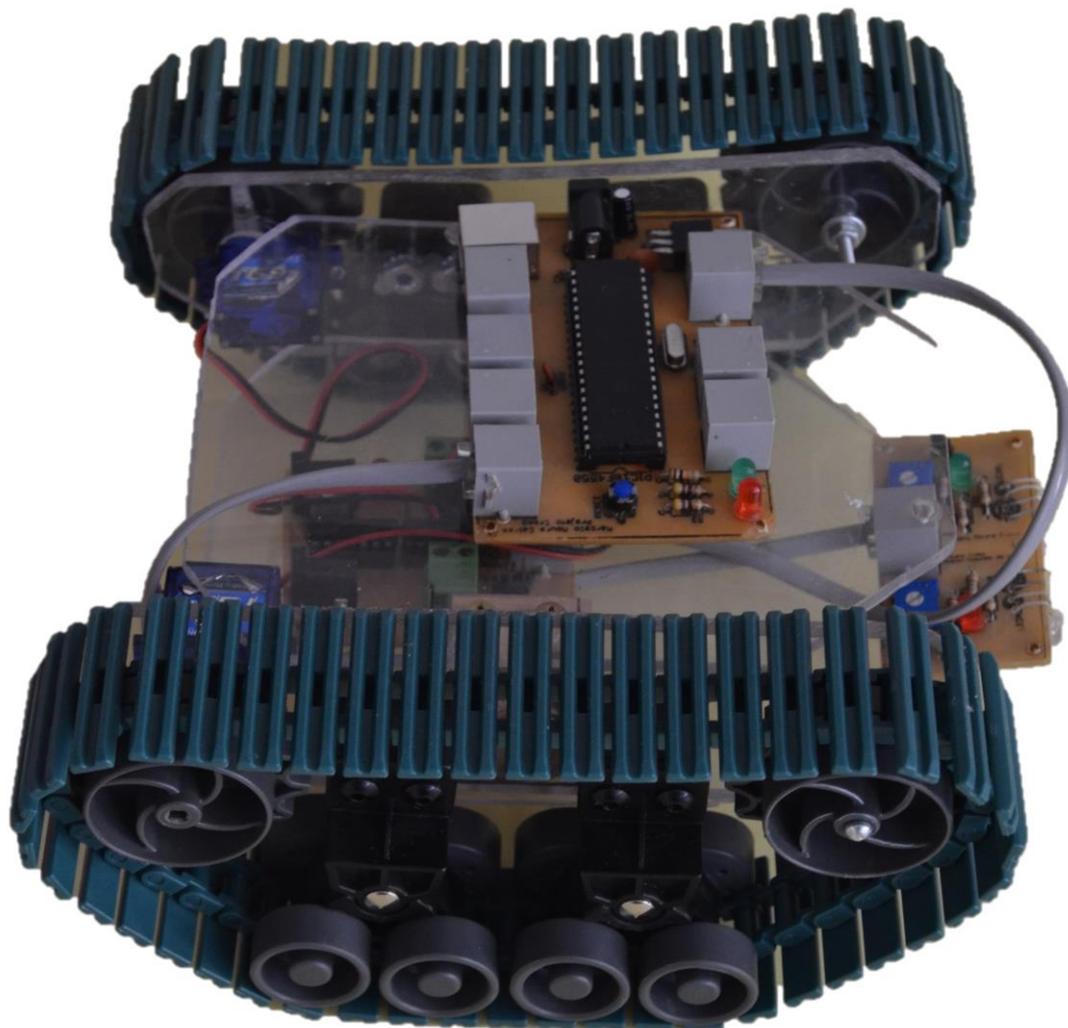


Figura 57: Robo Seguidor de Linha

### Programa

O programa abaixo foi escrito na IDE do Pinguino e Gravado no módulo controlador através de bootloader, trata-se de um código simples, cuja função é descrita através dos comentários:

```
/*-----
```

```
Autor:Marcelo Moura Caires
```

```
Nome: Projeto Cromo - Robô Seguidor de Linha
```

```
Agosto/2013
```

```
-----*/
```

```
const int MDdirecao = 22; //Pino 22 controla a direção do Motor Direito
```

```

const int MDenable = 12; //Pino 12 habilita ou desabilita o Direito
const int MEdirecao = 21; //Pino 21 controla a direção do Motor Esquerdo
const int MEenable = 11; //Pino 11 habilita ou desabilita o Esquerdo
const int SensorD = 7; //Pino 7 como sensor direito
const int SensorE = 6; //Pino 6 como sensor esquerdo

void setup() //Rotina de inicialização
{
  pinMode(MDdirecao, OUTPUT);
  pinMode(MEdirecao, OUTPUT);
  pinMode(MDenable, OUTPUT);
  pinMode(MEenable, OUTPUT); //Define os pino dos motores como saída
  pinMode(SensorD, INPUT);
  pinMode(SensorE, INPUT); //Define os pinos dos sensores como entrada
  digitalWrite(MDenable,HIGH);
  digitalWrite(MDdirecao,HIGH);
  digitalWrite(MEenable,HIGH);
  digitalWrite(MEdirecao,HIGH); //Liga os pinos dos motores
}

void loop() //Principal

{
  if(digitalRead(SensorD) == HIGH)
  {
    digitalWrite(MDenable,HIGH);
    digitalWrite(MDdirecao,HIGH);
    //Se o sensor Direito estiver em nível alto, liga motor direito
  }
  else
  {
    digitalWrite(MDenable,LOW);
    //Se o sensor Direito estiver em nível baixo, desliga motor direito
  }
  if(digitalRead(SensorE) == HIGH)
  {

```

```
digitalWrite(MEenable,HIGH);
digitalWrite(MEdirecao,HIGH);
//Se o sensor Esquerdo estiver em nível alto, liga esquerdo
}
else
{
digitalWrite(MEenable,LOW);
//Se o sensor Esquerdo estiver em nível baixo, desliga motor Esquerdo
}
}
```

#### 4. CONCLUSÃO

Desenvolver um módulo controlador para robótica educativa, a princípio, pareceu um objetivo um tanto quanto difícil de realizar, no entanto, apesar de muitas dificuldades encontradas com relação à compra de material e à própria construção, feita de forma artesanal, das placas dos protótipos, provou-se possível o desenvolvimento de um módulo que fosse de fácil utilização a um custo acessível. Somando-se o valor dos componentes, apenas o módulo controlador sairia em média a um custo de \$ 22,61, mais os dois módulos auxiliares, o de controle de motores, ao custo médio de \$ 9,04, e o seguidor de linha, ao custo médio de \$ 6,78, é possível então conseguir um kit que no valor médio de \$ 33,92, um custo acessível, considerando outros controladores, como o Arduino, que custa em média \$ 27,14, sem os módulos auxiliares.

A metodologia empregada no desenvolvimento dos protótipos, bem como a disponibilidade de boas ferramentas de design de circuitos e programação gratuitas, possibilitou a confecção de esquemas de circuitos quase profissionais. Porém, o método empregado para a construção das placas, embora consiga resultados muitos bons, não deixa de ser um processo artesanal, muito trabalhoso e que muitas vezes gera retrabalho, pois é comum algumas trilhas do circuito não serem transferidas para a placa ou ficarem incompletas, causando corrosão incorreta. Na realização deste trabalho precisei fazer quatro placas do módulo controlador para conseguir o resultado esperado.

Embora considere satisfatório o resultado obtido, o projeto possui potencial para melhorias relevantes, como o desenvolvimento de outros módulos de sensores, como: sensor ultra-som, sensor de luz, sensor de temperatura, sensor de cor (rgb), módulo display de LCD, e módulo para controle de motores de passo. Além disso seria muito importante o desenvolvimento de um kit de robótica que pudesse ser integrado ao módulo, oferecendo uma estrutura já pronta, a custo acessível e de fácil montagem, tornando assim a experiência educativa através da robótica prazerosa e construtiva.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- ANGELES, Jorge. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms. 2. ed. New York: Springer-verlag, 2003. 521 p.
- BARRIENTOS, Antonio et al. Fundamentos de Robótica. 1. ed. Madrid: Concepción Fernández Madrid, 1997. 327 p.
- BATES, Martin. Interfacing PIC Microcontrollers: Embedded Design by Interactive Simulation. New York: Newnes, 2006. 298 p.
- BECKER, Julio Henrique. Confeccionando uma Placa de Circuito Impresso - Método Térmico. Disponível em: <[http://www.cncmania.com.br/site/tutoriais\\_placa\\_pci.asp](http://www.cncmania.com.br/site/tutoriais_placa_pci.asp)>. Acesso em: 18 fev. 2013.
- BRITANNICA, Encyclopediá. Robotic. , 2009. Disponível em: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/1384950/robotics>>. Acesso em: 22 dez. 2009.
- BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. 8. ed. Sao Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. 656 p.
- CARVALHO, Geraldo. Máquinas Elétricas: Teorias e Ensaio. 4. ed. São Paulo: Editora Erica Ltda, 2011. 260 p.
- FOSLER, Ross M.; RICHEY, Rodger; INC, Microchip Technology. A FLASH Bootloader for PIC16 and PIC18 Devices. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/00851b.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2013.
- GIBILISCO, Stan. Concise encyclopedia of robotics. New York: Mcgraw-hill, 2003. 367 p.
- IBRAHIM, Dogan. Advanced PIC Microcontroller Projects in C: From USB to RTOS with the PIC18F Series. Burlington: Newnes, 2008. 544 p.
- MANDON, Jean-pierre. What is Pinguino? Disponível em: <[http://wiki.pinguino.cc/index.php/What\\_is\\_Pinguino%3F](http://wiki.pinguino.cc/index.php/What_is_Pinguino%3F)>. Acesso em: 08 jun. 2013.
- MAISONNETTE, Rogers. A Utilização dos Recursos Informatizados a Partir de uma Relação Inventiva com a Máquina: a Robótica Educativa. Disponível em: < <http://www.proinfo.gov.br/upload/biblioteca/192.pdf> >. Acesso em: 19 abr. 2013.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC (USA). PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet: 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2013.

MORAN, José Manuel. Ensino e aprendizagem Inovadores com Tecnologias. Informática na Educação: Teoria e Prática, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p.137-144, set. 2000. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/InfEducTeoriaPratica/article/viewFile/6474/3862>>. Acesso em: 26 set. 2009

MUNHOZ, César. A comodidade que contamina. Disponível em: <[http://www.educacional.com.br/noticiacomentada/020503\\_not01.asp](http://www.educacional.com.br/noticiacomentada/020503_not01.asp)>. Acesso em: 01 out. 2009.

NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A.. Circuitos Elétricos. 8. ed. Sao Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

PAPERT, Seymour. A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática. Porto Alegre: Artmed 1994. 210 p.

PAZOS, Fernando. Automação de Sistemas e Robótica. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil Editora, 2002. 377 p.

PREDKO, Myke. PROGRAMMING AND CUSTOMIZING THE PIC® MICROCONTROLLER. 3. ed. New York: Mcgraw-hill Companies, Inc., 2008. 1263 p.

OLIVEIRA, José Antônio Colvara. Robótica como interface da tomada de consciência da ação e do conhecimento do objeto, através de metacognição como propulsora da produção do conhecimento. 2007. 114 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SANDIN, Paul E.. Robot Mechanisms Devices Illustrated. New York: The Mcgraw-hill Companies, Inc, 2003. 300 p.

SIEGWART, Roland; NOURBAKHSH, Illah R.. Introduction to Autonomous Mobile Robots. Massachusetts: Massachusetts Institute Of Technology, 2004. 321 p.

SOMMER, Mark. O lado obscuro do lixo eletrônico. Disponível em: <<http://www.tierramerica.net/2005/0402/pgrandesplumas.shtml>>. Acesso em: 01 out. 2009.

- SOUSA, Daniel Rodrigues de; SOUZA, David José de; LAVINIA, Nicolás César. Desbravando o Microcontrolador PIC18: Recursos Avançados. New York: Editora Érica Ltda, 2010. 336 p.
- RIPKA, Pavel; TIPEK, Alois (Ed.). Modern Sensors: Handbook. London: Iste Ltd, 2007. 518 p.
- USATEGUI, José M.<sup>a</sup> Angulo; MARTÍNEZ, Ignacio Angulo. MICROCONTROLADORES «PIC» Diseño práctico de aplicaciones: Primera parte: El PIC16F84. Lenguajes PBASIC y Ensamblador. 3. ed. Madrid: Mcgraw-hill, 2003. 357 p.
- WEISS, Alba Maria Lemme; CRUZ, Mara Lúcia R. M. da. A informática e os problemas escolares de aprendizagem. 3. ed. Rio de Janeiro: Dp&a Editora, 2001. 104 p.
- WILSON, Jon S. (Ed.). Sensor Technology Handbook. Burlington: Elsevier Inc, 2005. 691 p.
- WISE, Edwin. Robotics Demystified: A self-teaching guide. Chicago: Mcgraw-hill, 2004. 314 p.
- ZEITOUNIAN, Kleber et al. Sobre o Pinguino. Disponível em: <<http://pinguinobrasil.wordpress.com/about/>>. Acesso em: 02 jun. 2013.