

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Curso de Engenharia Elétrica

MURILO GOMES TOLEDO

**MANIPULADOR INDUSTRIAL SELETOR DE OBJETOS POR
NÍVEL DE PIGMENTAÇÃO**

Itatiba

2012

MURILO GOMES TOLEDO – R.A. 002200800750

**MANIPULADOR INDUSTRIAL SELETOR DE OBJETO POR
NÍVEL DE PIGMENTAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: André Renato Bakalereskis

Itatiba

2012

MURILO GOMES TOLEDO

**MANIPULADOR INDUSTRIAL SELETOR DE OBJETOS POR
NÍVEL DE PIGMENTAÇÃO**

Monografia aprovada pelo curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Data da Aprovação __/__/____

Banca Examinadora:

Prof. André Renato Bakalereskis (Orientador)

Eng. Luiz Ricardo Ferreira Clemente Junior (Examinador)

Prof. João Alex Francisco Vaz (Examinador)

Dedico este trabalho a minha família maravilhosa, especialmente aos meus Pais, Maria da Penha e José Benedito, fundamentais em todas as conquistas da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao governo federal, que através do Programa Universidade para Todos possibilitou o ingresso à instituição de ensino superior. A meu tio João Batista de Toledo, o qual eu admiro pela honestidade, persistência e desejo puro de contribuir para os sonhos das pessoas que ama.

Logo em seguida, agradeço ao orientador desse trabalho André Bakalereskis, pela paciência e atenção disposta quando necessário. Aos amigos, Raul Munoz, Italo Cunha e Vinicius Campos, que durante essa fase inesquecível de nossas vidas contribuíram positivamente nessa trajetória de sucesso.

Aos meus Pais, Maria da Penha e José Benedito, por proporcionarem uma vida estável, repleta de apoio, essenciais para essa realização.

Por fim, agradeço ao Criador, que me deu forças para superar momentos difíceis, iluminando os meus passos.

*"Nunca perca a fé na humanidade, pois ela é
como um oceano. Só porque existem
algumas gotas de água suja nele, não quer
dizer que ele esteja sujo por completo."*
Mahatma Gandhi

RESUMO

O presente trabalho propõe a construção de um sistema automatizado cujo objetivo é explorar de forma simples uma análise de pigmentação, manipulando materiais pós-produzidos de acordo com o nível de pigmentação. Em processos de fabricação eficazes é natural a existência de um conjunto de dispositivos interagindo entre si que possuem a função de classificar o material produzido. Os assuntos tratados no desenvolvimento do projeto envolvem eletrônica digital e eletrônica de potência, entre os principais assuntos, pode se citar conversões de sinais analógicos para digitais, interpretação e acionamentos de entradas e saídas digitais, diferentes formas de acionamento de motores de corrente contínua, desenvolvimento de lógica de programação, tratamentos de formas para escrita de informações em LCD e comunicação serial com dispositivos diversos. Para isso, foi necessário desenvolver um manipulador industrial, com três motores de corrente contínua, responsáveis pela movimentação dos respectivos eixos, circuitos eletrônicos para tratamentos de sinais e um software embarcado utilizando microcontrolador para o processamento de dados. Devido à construção do protótipo e através das dificuldades encontradas durante essa etapa, foi possível aprimorar os conhecimentos relacionados à engenharia elétrica.

Palavras-chave: Controle. Microcontrolador. Sistemas embarcados.

ABSTRACT

This paper proposes an automated system build whose objective is to explore a pigmentations analysis in a simple way, manipulating post-produced materials according with the pigmentation level. In effective fabrication processes it is normal to have a device group interacting among themselves with the purpose of classifying the produced material. The topics involved in this development includes digital and power electronics, involving topics such as signal analogy-to-digital conversion, digital I/O interpretation, DC motor starting, programming logic development, LCD information writing and serial communication with other devices. It was necessary to develop an industrial manipulator with three DC motors responsible for moving their axis, electronic circuits for signal conditioning and an embedded software using microcontrollers for data processing. Because of prototype and the difficulties found during this stage, it was possible to enhance the electrical engineering related knowledge.

Palavras-chave: Control. Microcontroller. Embedded systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ESQUEMA 1 -	Sistema biológico versus sistema mecatrônico.....	07
ESQUEMA 2 -	Conceitos básicas de um robô.....	07
ESQUEMA 3 -	Elementos de construção física.....	09
ESQUEMA 4 -	Robô de coordenada cartesiana (PPP).....	09
ESQUEMA 5 -	Robô de coordenada cilíndrica (RPP).....	10
ESQUEMA 6 -	Robô de coordenada esférica ou polar (RRP).....	11
ESQUEMA 7 -	Robô de coordenada de revolução (RRR).....	11
ESQUEMA 8 -	Robô SCARA com três graus de liberdade (RRP).....	12
ESQUEMA 9 -	Alguns tipos de garras utilizadas em manipuladores.....	13
ESQUEMA 10 -	Sistema de controle de temperatura.....	15
ESQUEMA 11 -	Sistema de controle de temperatura com teclado e LCD.....	16
ESQUEMA 12 -	Arquitetura de Von –Neumann.....	20
ESQUEMA 13 -	Arquitetura de Harvard.....	21
ESQUEMA 14 -	Estrutura de programa MikroC.....	24
ESQUEMA 15 -	Sensores internos e sensores externos de um sistema.....	26
ESQUEMA 16 -	Sinais característicos encoder incremental.....	26
ESQUEMA 17 -	Potenciômetro linear.....	28
ESQUEMA 18 -	Posição angular em função da tensão resolução de 10 bits...	28
ESQUEMA 19 -	Diagrama de blocos sensor indutivo.....	30
ESQUEMA 20 -	Sensor magnético detector de posição.....	31
ESQUEMA 21 -	Circuito interno de um sensor óptico infravermelho.....	31
ESQUEMA 22 -	Circuito interno de um sensor óptico infravermelho.....	32
ESQUEMA 23 -	Disco parado e efeito gerado por disco girando.....	33
ESQUEMA 24 -	Conversão de luz para frequência.....	34
ESQUEMA 25 -	Cubo representativo RGB.....	34
ESQUEMA 26 -	Aspectos construtivos de máquinas de corrente contínua.....	36
ESQUEMA 27 -	Funcionamento motor CC etapa um.....	37
ESQUEMA 28 -	Funcionamento motor CC etapa dois.....	37
ESQUEMA 29 -	Funcionamento motor CC etapa três.....	38
ESQUEMA 30 -	Ambiente de desenvolvimento MikroC.....	40
ESQUEMA 31 -	Plataforma de desenvolvimento PicGenios 18F4520.....	41
ESQUEMA 32 -	Circuito eletrônico do projeto.....	42
ESQUEMA 33 -	Fluxograma simplificado do funcionamento.....	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Características construtivas família PIC18F.....	22
TABELA 2 -	Sensores, tecnologias e distâncias.....	29
TABELA 3 -	Alguns materiais e suas respectivas constantes dielétricas.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	01
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1	HISTÓRIA DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	03
2.2	MANIPULADORES INDUSTRIAIS.....	04
2.2.1	História.....	04
2.2.2	Necessidade de automatizar.....	05
2.2.3	Principais vantagens.....	05
2.2.4	Principais desvantagens.....	05
2.2.5	Comparativo com o corpo humano.....	06
2.2.6	Aspectos construtivos.....	08
2.2.7	Tipos de manipuladores.....	09
2.2.8	Tipos de órgãos terminais.....	12
2.3	SISTEMAS MICROCOMPUTADORIZADOS.....	14
2.3.1	Microcontroladores.....	14
2.3.2	Características dos microcontroladores.....	17
2.3.3	Tensão de alimentação.....	17
2.3.4	Clock.....	17
2.3.5	Temporizadores.....	18
2.3.6	Cão de guarda.....	18
2.3.7	Interrupções.....	18
2.3.8	Conversor analógico digital.....	18
2.3.9	Comunicação serial.....	19
2.3.10	EEPROM Memória de dados.....	19
2.3.11	Comparador analógico.....	19
2.3.12	Capacidade de corrente.....	19
2.3.13	Arquitetura do microcontrolador.....	20
2.3.14	Periféricos PIC família 18F.....	21
2.3.15	Fluxograma	23
2.3.16	Linguagem de programação “C”.....	23
2.3.17	Compiladores.....	23
2.3.18	Estrutura de programa em MikroC.....	24
2.5	SENSORES INDUSTRIAIS.....	24
2.5.1	Sensores internos.....	26

2.5.1.1	Posicionamento.....	27
2.5.2	Sensores externos.....	29
2.5.2.1	Sensores de presença.....	29
2.5.2.2	Sensores indutivos.....	30
2.5.2.3	Sensores óptico infravermelhos.....	31
2.5.2.4	Sensores capacitivos.....	32
2.5.2.5	Sensores de cor.....	33
2.6	MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.....	35
2.6.1	Aspectos construtivos motor CC.....	35
2.6.2	Princípio de funcionamento.....	36
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	COMPOSIÇÃO DO PROJETO.....	39
3.2	PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAÇÃO.....	40
3.3	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	40
3.4	DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE.....	42
3.5	FLUXOGRAMA.....	42
3.6	DIFICULDADES ENCONTRADAS DURANTE A CONSTRUÇÃO.....	44
4	RESULTADO E DISCUSSÕES.....	45
	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	47

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de produzir mais em menos tempo com uma melhor qualidade do produto manufaturado em si fez com que o ser humano inventasse um jeito inteligente para realizar essas tarefas. A partir daí, foram criados uma série sistemas automáticos sequenciais, buscando a interação entre sistemas mecânicos e eletroeletrônicos. A automação é compreendida como a integração do conhecimento nas áreas de eletrônica, mecânica e computação, cujo principal objetivo é criar soluções inteligentes para viabilizar processos específicos.

Com a evolução e facilidade de acesso a tecnologia, os sistemas automatizados foram avançando no mesmo ritmo, fazendo com que houvesse uma grande demanda de fabricação desses sistemas. Alguns fatores que contribuíram pra redução de custo desses dispositivos foi justamente a concorrência acirrada no segmento, tanto dos integradores fabricantes de máquina quanto os fornecedores de equipamento que compõem partes específicas de máquinas automatizadas.

Uma parte fascinante da automação são os manipuladores industriais, que foram inventados baseados no braço humano. Os manipuladores do tipo SCARA, robô de coordenada cartesiana, robô de coordenada esférica, robô de coordenada por revolução e DELTA são alguns exemplos da variedade existente nas indústrias de grande, médio e pequeno porte.

Em geral, o manipulador industrial é composto basicamente por um sistema mecânico e eletrônico, os quais possibilitam movimentos controlados. Normalmente as partes físicas desses manipuladores são conhecidas como sensores, atuadores, efetuador, unidade de potência, unidade de controle e a estrutura mecânica do manipulador. Sua função é executar movimentos controlados e pré-definidos dentro de um determinado espaço, realizando tarefas como transporte de materiais, soldagem de metais, montagem de equipamentos, pintura de automóveis, entre outras.

O primeiro sistema robótico que se tem notícia foi criado e instalado pela *UNIMATION Inc.* chamado de *UNIMATE*, no chão de fábrica de uma empresa em 1961. O projeto deste robô era uma combinação de movimentos articulados, que utilizava comando numérico. Desde então, a evolução da mecânica somada a da eletrônica proporcionou uma maior confiabilidade e minimização de custos em atividades industriais.

Sistemas baseados na funcionalidade da máquina humana são comumente implantados nos processos de fabricação. Esse propósito de criar algo similar ao criador vem sendo explorado desde a década de 40, quando Isaac Asimov, teve a brilhante ideia de

tornar o robô em uma máquina semelhante ao ser humano não dotado de sentimentos. O objetivo era substituir de maneira efetiva a mão de obra em determinadas situações onde a repetição de movimentos causava determinados prejuízos para o trabalhador e ao produto manufaturado. O processo evolutivo previsto do robô superou as expectativas até mesmo dos mais entusiasmados, que hoje veem tal aplicação vital, em constante melhoria, buscando maior rapidez, otimização das tarefas e em um intervalo de tempo cada vez mais rmenor [3].

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História da Automação Industrial

O homem sempre buscou simplificar o trabalho, fazia isso para minimizar o esforço corporal e prolongar o tempo para realizar outros afazeres. Ao longo da história, a humanidade aprendeu que inventar novos métodos para resolver os problemas rotineiros não era somente cômodo como também a chave para um futuro de sucesso [1].

O objetivo de simplificar tarefas simples foi se aprimorando ao longo do tempo, esses avanços foram iniciados por grandes inventores, como James Watt, físico e engenheiro escocês, inventor da máquina a vapor, em 1781; Henry Ford, idealizador da produção em série, caracterizada pela maior rapidez na montagem de automóveis utilizando linhas de produção. Esse método foi responsável por alavancar a indústria automobilística e é empregado nos dias de hoje como modelo de produção.

Iniciada na Inglaterra em meados do século XVIII, a Revolução Industrial foi consolidada por um conjunto de alterações tecnológicas, causando um impacto imensurável no modo de produção daquela época, afetando diretamente a economia e a sociedade. No decorrer dessa mudança, a era da agricultura não mecanizada foi deixada para trás, a máquina passou a substituir o trabalho antes feito pelo ser humano e uma nova relação entre o capital e trabalho se impôs, novas relações entre nações se estabeleceram. Os ingleses James Hargreaves e Richard Arkwright, ambos inventores considerados como pioneiros das técnicas de produção em série, aceleraram o processo de produção com a invenção de máquinas revolucionárias, como a máquina de tecer que fiava oito fusos simultaneamente, utilizando água corrente como fonte de energia. Essa revolução industrial causou preocupação entre os trabalhadores da época, que se sentiam desfavorecidos, justamente pelo fato de uma “engenhoca” poder substituir o trabalho de dezenas de funcionários comuns. O único problema que impossibilitava a proliferação dessas máquinas, na época, era o alto custo desses equipamentos. Os mestres tecelões abastados adquiriram máquinas e armazenaram em um único local, dando origem às indústrias. A partir de então, foram formulados direitos trabalhistas, como jornada de trabalho, moradia em um local distinto ao que trabalhava, entre outros. [1].

Ao longo do tempo, com o crescimento na demanda e do nível de exigência dos consumidores, foi necessário realizar melhorias nos processos de fabricação e criar métodos mais eficientes, que atendessem o desafio de aumentar a produção, juntamente

com qualidade dos produtos fabricados. Foram obtidos avanços tecnológicos que possibilitaram processos de fabricação precisos, visto nos dias de hoje [1].

2.2 Manipuladores industriais

A robótica é uma parte fundamental da automação industrial e é considerada por muitos profissionais do segmento uma das áreas mais fascinantes. A palavra robô é oriunda do termo da língua tcheca “robota”, cujo significado é “servidão ao trabalho forçado ou servo”.

Uma definição concreta é apresentada pela norma ISO 10218, como sendo: *"uma máquina manipuladora com vários graus de liberdade controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial"* (ISO 10218)

2.2.1 História

Um dos primeiros trabalhos que se tem registro na história da humanidade relacionado com dispositivos automáticos foram os relógios d'água, projetados inicialmente pelo engenheiro Grego Ctesibius (270 AC) e a invenção do motor a vapor pelo engenheiro Grego Hero de Alexandria (85 AC). Apesar de hoje vistos como revolucionários comparados à época do acontecimento, esses projetos não surgiram de uma necessidade específica, classificados então como obras de caráter lúdico e estético [5].

Apesar da inteligência da cultura grega e dos registros históricos existentes relacionados à matemática, anatomia humana e a grandes pensadores, eles não obtiveram sucesso no desenvolvimento de aplicações úteis de dispositivos automáticos. A noção de aplicabilidade foi concedida por homens como Badías-Zaman Isma'Il bin ar-Razzaz al-Jazari, Leonardo da Vinci e Nicola Tesla. Esses foram alguns dos nomes mais importantes para o que se vê hoje. Tesla, em 1898, apresentou no Madison Square Garden de Nova York um submarino comandado à distância por impulsos hertzianos codificados, ou seja, radiofrequência. [5].

O primeiro manipulador industrial, o “Ultimate”, foi desenvolvido por Geoge Devol e Joseph Engelberger (1959 – 1962), foi inventado para ser inserido em diversas aplicações, dependendo somente de alguns ajustes de reprogramação, realizada por um computador e ferramentas mecânicas inerentes ao processo de fabricação. Obviamente, o pioneirismo

limitava-o, mas a invenção foi de grande valia para o aprimoramento do conceito, dando origem a diversos tipos de robô cada vez mais sofisticados [5].

2.2.2 Necessidade de automatizar

Os robôs industriais surgiram das necessidades de substituir o ser humano em atividades que ofereciam riscos aos trabalhadores, diminuição das variações nos resultados finais de processos, aumento da produtividade e a minimização da quantidade de trabalhos onde a repetitividade de movimentos era intensa [2].

2.2.3 Principais vantagens

As vantagens de se automatizar são numerosas, dentre as principais, cita-se o aumento da produtividade, a melhoria na qualidade final do produto, a minimização de retrabalhos, a diminuição na contratação de mão-de-obra operacional, controle geral do processo de produção, facilidade de implantação, operação em ambientes que oferecem riscos a vida ou em tarefas repetitivas, e por último, o diferencial de trabalhar vinte e quatro horas sem cessar.

Em alguns processos a aplicação de robô é inviável devido à complexidade ou podem atingir valores finais de aplicação não acessíveis. Porém, na maioria dos casos são aplicáveis, podendo substituir inteiramente um processo de fabricação manual [3].

2.2.4 Principais Desvantagens

É evidente que a implantação de robôs em ambientes fabris gera problemas sociais, já que os processos de automação diminuem o número de empregos diretos. Além disso, há falta de mão-de-obra especializada para a tecnologia, há redução da carga de trabalho [1].

O custo para implantar uma determinada linha de robôs pode parecer alto a curto prazo, porém, a longo prazo se torna barato, tendo em vista que o custo mensal fixo com manutenção, consumo de energia, alimentação, plano de saúde e outros fatores são menores. Com o aumento do número de fabricantes de robô tornou-se mais acessível financeiramente o custo final do investimento, incentivando ainda mais essa prática. Esses

fatores fazem com que as empresas multinacionais desacelerem os investimentos em países emergentes, apesar de possuírem mão-de-obra abundante [1].

Um estudo conduzido no Japão em 1983 mostrou que em 1981 havia cerca de US\$ 25 mil robôs, e que cada um custava em média cerca de US\$ 17 mil. Com uma expectativa de vida útil de seis anos, visto que o mesmo trabalhasse vinte e duas horas por dia durante sete dias da semana, totalizando 48 mil horas. Já um trabalhador comum levaria cerca de trinta anos para trabalhar a mesma quantidade de horas com um custo anual de US\$ 13 mil.

O uso de robôs é tido pelas empresas hoje em dia como vital, qualquer protesto contra a adoção dessa tecnologia seria uma desavença contra a evolução das nações. Porém, as pessoas não devem assistir essa transformação de braços cruzados, a melhor maneira é reivindicar novos direitos que minimizem a transição tecnológica.

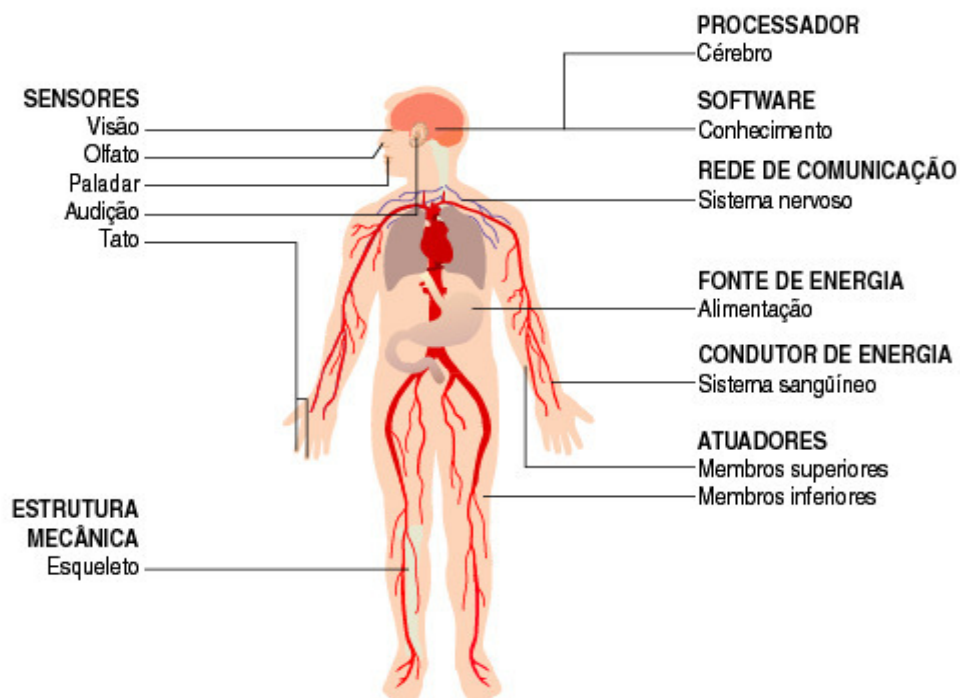
2.2.5 Comparativo com corpo humano

O termo substituir possui uma determinada abrangência, porém quando é citado numa situação cujo assunto envolve engenharia, logo vem em mente o significado de trocar um determinado conceito de funcionamento por outro, totalmente diferente ou não, mas partindo do mesmo princípio. O conceito do surgimento do robô parte da premissa de que quem realizava as funções antes da era robô eram os seres humanos, que utilizavam como principal ferramenta o membro superior do corpo humano [5].

O membro superior do corpo humano é constituído por mecanismos articuladores, chamados de ombro, com três graus de liberdade, cotovelo, com um grau de liberdade e pulso, com três graus de liberdade, totalizando sete graus de liberdade [5].

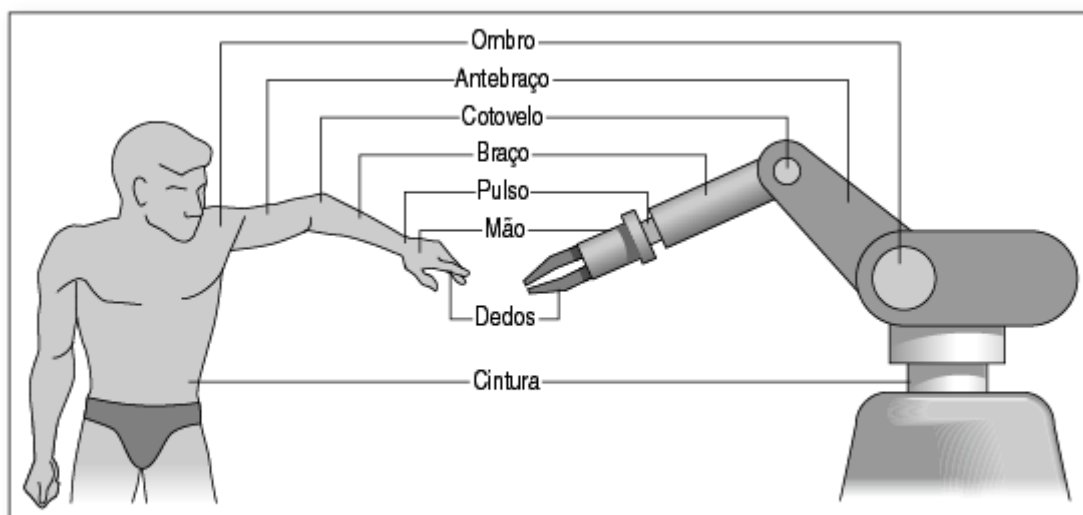
Baseado no braço humano, os robôs industriais possuem geralmente seis eixos ou seis graus de liberdade, o que caracteriza os como suficientes para atingir a maioria dos pontos cartesianos necessários. Visto isso, os eixos podem ser classificados como posicionadores e orientativos. Os posicionadores podem ser comparados com o ombro e cotovelo, pois são responsáveis por posicionar o conjunto em um determinado local, já os orientativos são responsáveis por orientar o composto terminal, podendo ser comparado com o pulso [5].

No ESQUEMA 1 e ESQUEMA 2 podem ser compreendidos algumas semelhanças entre o homem e a máquina.



Fonte: ROSÁRIO, João Maurício (2005).

ESQUEMA 1 – Sistema biológico versus sistema mecatrônico.



Fonte: ROSÁRIO, João Maurício (2005).

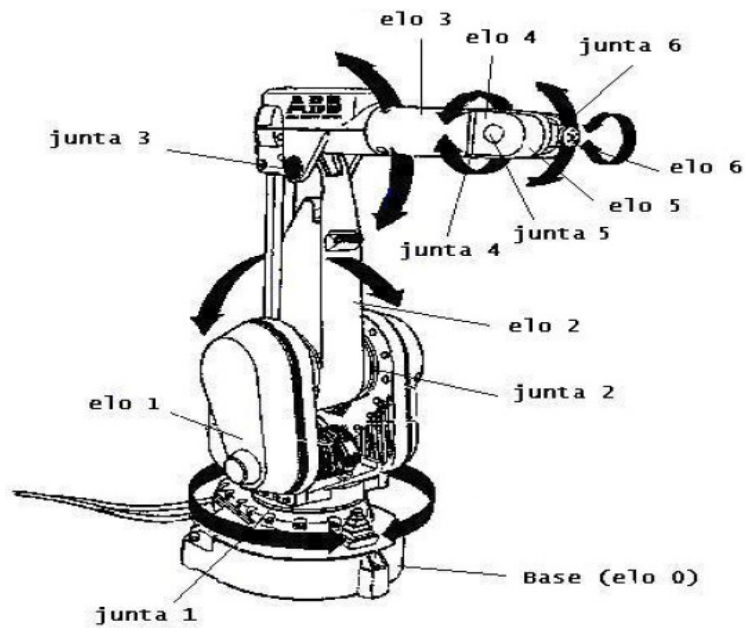
ESQUEMA 2 – Conceitos básicos de um robô.

2.2.6 Aspectos construtivos

O manipulador industrial é composto pela junção dos seguintes componentes:

- a) **manipulador mecânico:** componente mecânico ou estrutural do robô, consiste em componentes estruturais rígidos elos ou corpos, unidos entre si por articulações (juntas), sendo o primeiro corpo a base e o último a extremidade terminal, onde será unido um componente efetuator.
- b) **atuadores:** são componentes que transformam algum tipo de energia (elétrica, termoeleétrica, pneumática, hidráulica) para energia mecânica, aplicada diretamente nos componentes elos do robô, obtendo o movimento do manipulador mecânico.
- c) **sensores:** são denominados componentes responsáveis por monitorar e fornecer parâmetros de processo, geralmente fornecem informações de velocidade e força em função do tempo e a integração do ambiente externo de operação.
- d) **unidade de controle:** Responsável por processar informações recebidas através de sensores e enviar sinais elétricos para atuadores de acordo com o algoritmo em execução, controladores lógicos programáveis, computador industrial, microcontrolador são alguns exemplos de unidade de controle.
- e) **unidade de potência:** responsável por disponibilizar potência necessária para os atuadores. A fonte de tensão, a bomba hidráulica e o compressor são classificados como **unidade de potência**.
- f) **efetuator:** é o elemento responsável por interligar o ambiente de operação com o robô. Existem efetutores do tipo garra e ferramentas, cujo a função é executar uma determinada ação e/ou manipulação sobre o objeto alvo.

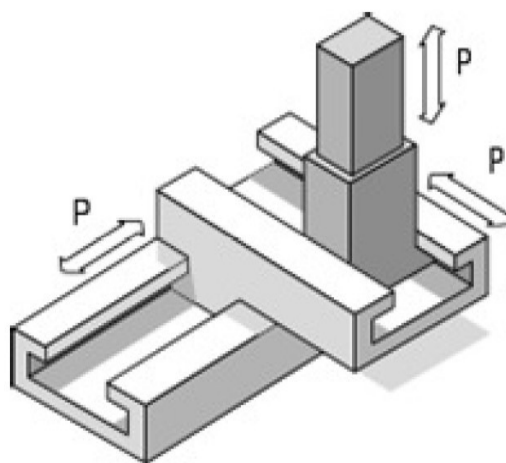
O ESQUEMA 3 detalha um manipulador industrial com seis graus de liberdade, destacando os elos e os pontos de articulação.



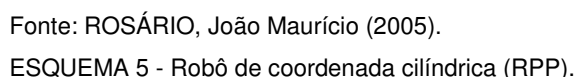
Fonte: ROMANO, Vitor Ferreira (2002).
ESQUEMA 3 – Elementos de construção física.

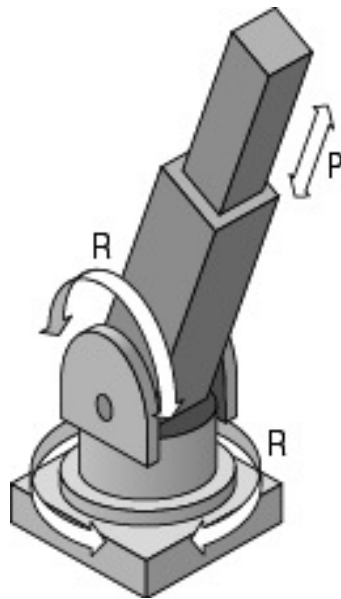
2.2.7 Tipos de manipuladores

Os robôs são classificados de acordo com o número de eixos, tipo de controle, tipo de acionamento e a geometria. A seguir, será abordado variados tipos de manipuladores industriais, comumente encontrados nas indústrias.



Fonte: ROSÁRIO, João Maurício (2005).
ESQUEMA 4 - Robô de coordenada cartesiana (PPP).

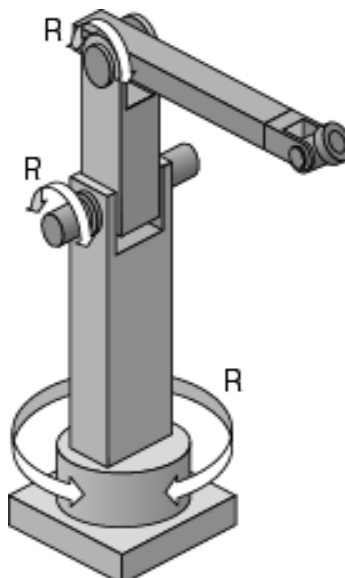




Fonte: ROSÁRIO, João Maurício (2005).

ESQUEMA 6 - Robô de coordenada esférica ou polar (RRP).

O robô de coordenada esférica ou polar, mostrado no ESQUEMA 6 possui três eixos e combina três movimentos, dois rotacionais e um linear. O primeiro e segundo eixos realizam movimentos rotacionais e o terceiro eixo realiza movimentos lineares. Na maioria das vezes, esse manipulador é aplicado em situações semelhantes ao robô de coordenadas cilíndricas, com a vantagem de possuir um maior espaço de trabalho e a desvantagem do controle mais complexo [2].

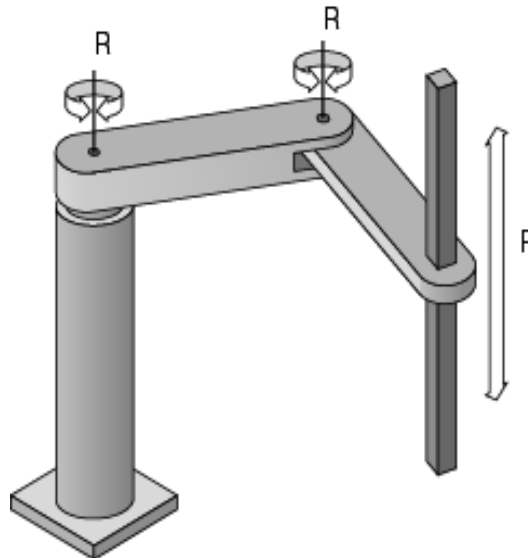


Fonte: ROSÁRIO, João Maurício (2005).

ESQUEMA 7 - Robô de coordenada de revolução (RRR).

O robô de coordenadas de revolução, mostrado no ESQUEMA 7 possui três eixos e realiza somente movimentos rotacionais, semelhante ao braço humano. Esse modelo de

robô trabalha em espaços reduzidos e é usualmente aplicado em processos de extrema precisão. A principal vantagem é a precisão. As principais desvantagens são: parametrização altamente complexa devido à quantidade de movimentos rotacionais e espaço de trabalho reduzido [2].



Fonte: ROSÁRIO, João Maurício (2005).

ESQUEMA 8 – Robô SCARA com três graus de liberdade.

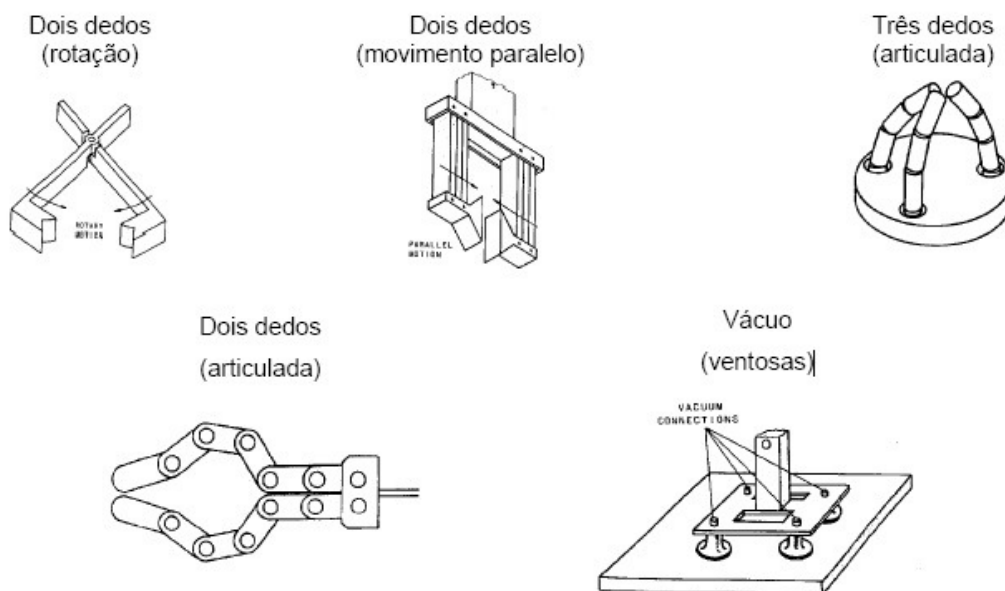
O robô SCARA, mostrado no ESQUEMA 8 possui três eixos e combina três movimentos, dois rotacionais e um linear. O primeiro e segundo eixos realizam movimentos rotacionais e o terceiro eixo realiza movimentos lineares. Na maioria das vezes, esse modelo possui a função de realizar montagens de maneira precisa, como exemplo uma placa eletrônica. A principal vantagem desse modelo é o nível de precisão e a principal desvantagem é o espaço reduzido de trabalho [2].

2.2.8 Tipos de órgãos terminais

O órgão terminal do manipulador é a parte essencial, sua função é basicamente agarrar tal material para transporte ou manipulação do mesmo. Para isso, o conjunto deve apresentar características construtivas cabíveis a tal fim, de modo que o processo de manejo seja possibilitado. Há vários tipos de órgãos terminais para vários tipos de objetos que podem ser classificados basicamente como garras e ferramentas.

As garras possibilitam a fixação do objeto ao terminal através de “dedos”, geralmente são aplicadas para o transporte orientado de objetos. Já as ferramentas possuem uma

determinada função, como pintura, furação, corte, soldagem, etc. Alguns exemplos de órgãos terminais são mostrados no ESQUEMA 9.



Fonte: ROSÁRIO, João Maurício (2005).

ESQUEMA 9 – Alguns tipos de garras utilizadas em manipuladores.

2.3 Sistemas Microcomputadorizados

O termo microcomputador é usado para descrever sistema que incluem no mínimo um microprocessador, memória de programa, memória de dados e um conjunto de entradas e saídas. Alguns microcomputadores possuem artifícios adicionais como timers, contadores e conversores analógicos digitais. Portanto, um microcomputador pode ser compreendido desde de um computador de grande porte, o qual tem disco rígidos, cartão de memória e impressoras até um único chip de sistema embarcado.

Os microcontroladores são implementados nas mais variadas categorias de produtos, tais como controle remoto de TV, micro-ondas, CD players, computadores pessoais, refrigeradores, celulares, automóveis, entre outros [7].

2.3.1 Microcontroladores

O microcontrolador é um dispositivo pequeno, aplicado em tarefas cujo a necessidade é controlar sistemas.

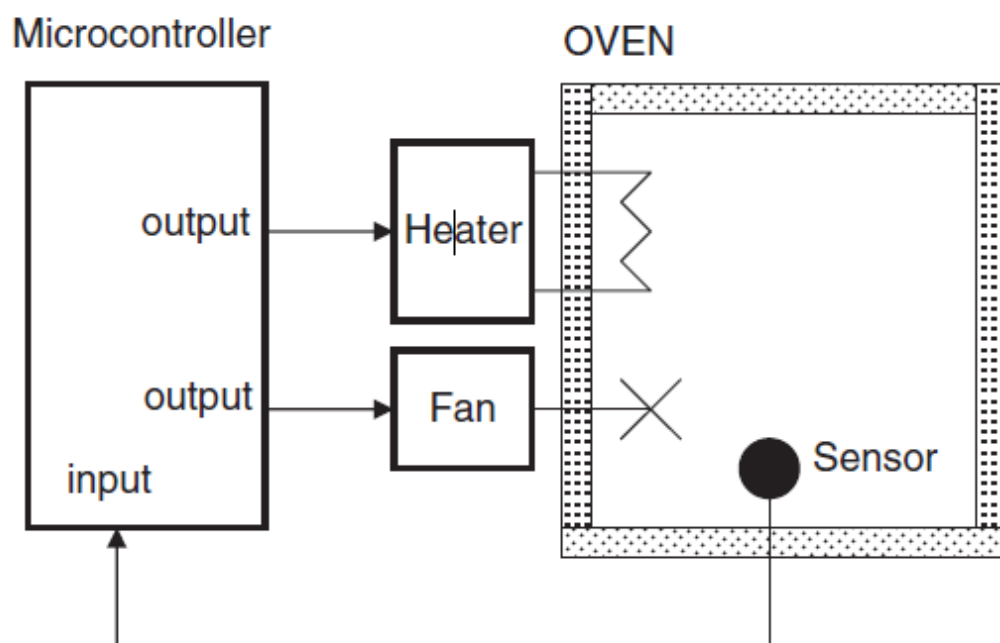
Um microprocessador difere de um microcontrolador em vários aspectos, a principal distinção é que o microprocessador exige inúmeros outros componentes para operação efetiva, como memória de programa e memória de dados, dispositivo de entradas e saídas e um circuito externo oscilador. O microcontrolador, por outro lado, dispõem em seu interior essas funções. Todos os microcontroladores operam com um conjunto de instruções pré-definidas armazenado em sua memória, buscando essas instruções uma por uma, realizando as operações exigidas.

Microcontroladores são tradicionalmente programados usando a linguagem Assembly, que é classificada como uma linguagem de baixo nível. Embora a linguagem de programação Assembly seja enxuta e rápida, um programa em Assembly consiste em mnêmicos, o que torna o aprendizado da linguagem difícil.

Microcontroladores são na maioria das vezes programadas em linguagem de alto nível, como BASIC, PASCAL e C. Essas linguagens são aprendidas mais facilmente e também podem contribuir para simplicidade de construção e entendimento de lógicas.

Na teoria, um único chip é o suficiente para ter um sistema microcontrolado. Em aplicações práticas, entretanto, componentes adicionais pode ser requeridos para realizar a interface com o ambiente [7].

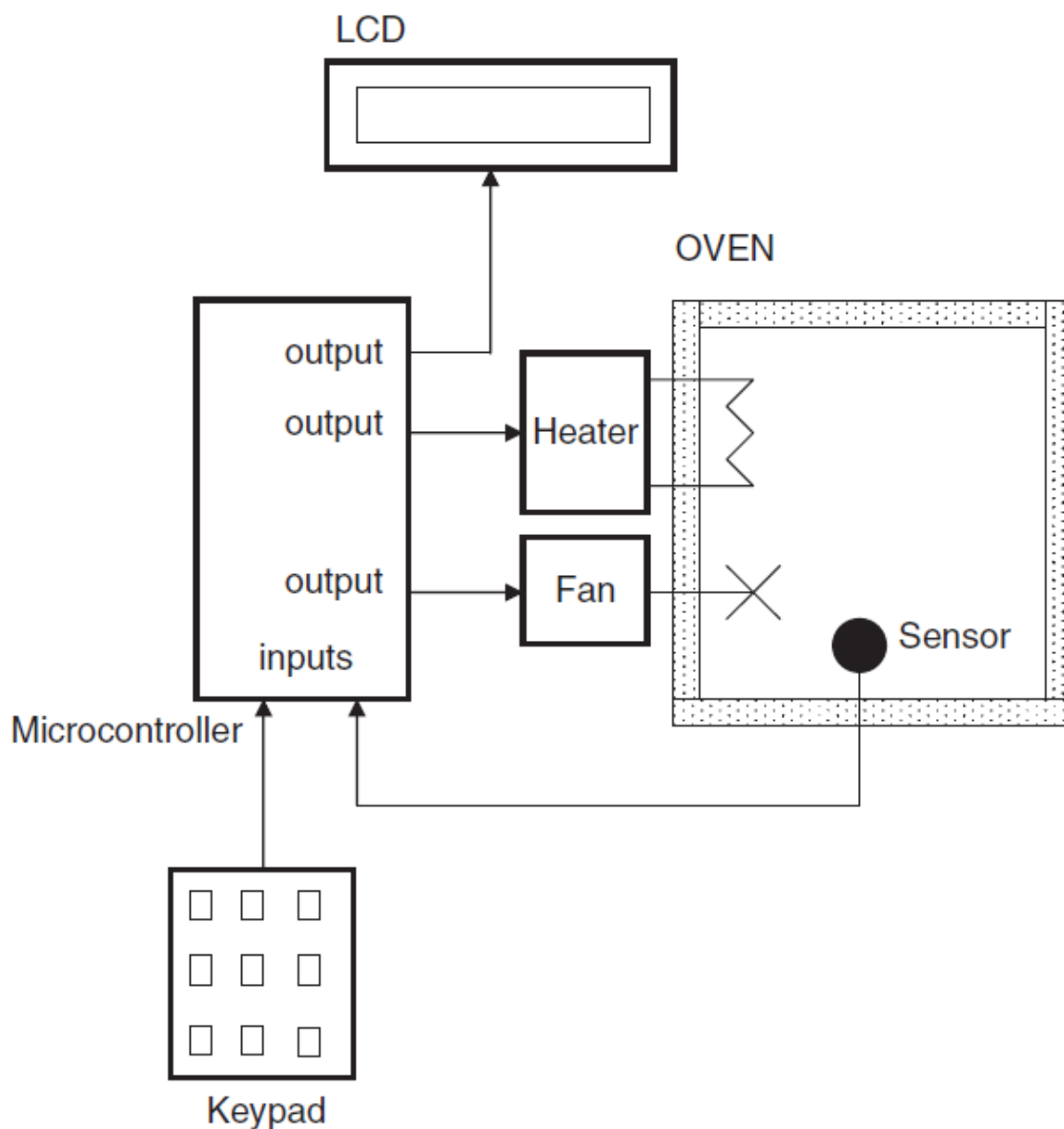
Basicamente, um microcontrolador executa um programa que é carregado em sua memória de programa. Sob o controle desse programa, dados externos são recebidos pelas entradas, esses então são manipulados de acordo com a necessidade, e, então enviados ao ambiente externo através das saídas. O exemplo a seguir expõe o controle de temperatura executado por um microcontrolador comumente encontrado em fornos industriais, o sistema interpreta um sinal recebido do sensor de temperatura, decidindo em qual faixa de temperatura é necessário ligar ou desligar um ventilador e um aquecedor como mostra o ESQUEMA 10 [7].



Fonte: Dongan Ibrahim (2008)

Esquema 10 – Sistema de controle de temperatura utilizando microcontrolador

O ESQUEMA 10 é considerado uma aplicação simples e ajuda a compreensão do sistema. O ESQUEMA 11 mostra um sistema um pouco mais sofisticado elaborado com a inclusão de um teclado e visor LCD, possibilitando a entrada de parâmetros juntamente com a visualização das variáveis de processo.



Fonte: Dongan Ibrahim (2008)

Esquema 11 – Sistema de controle de temperatura com teclado e LCD.

Microcontrolador é uma ferramenta extremamente eficaz que permite o usuário criar sofisticadas manipulações de entradas e saídas baseado em instruções. São classificados por números de bits que podem processar, os de 8 bits são os mais populares e são usados aplicações mais básicas, já os 16 e 32 bits são usados em controles mais complexos, geralmente são mais caros, não sendo necessário a aplicação desses em aplicação de pequeno e médio porte [7].

A arquitetura simples de um microcontrolador consiste de um microprocessador, memória e entradas e saídas. O microprocessador é constituído por uma unidade central de processamento ou CPU e uma unidade de controle ou CU. A CPU é a parte principal do

microcontrolador, e é responsável pela execução de todas as operações aritméticas e operações lógicas. O CU possui a função de controlar as operações internas para realização sequencial das instruções pré-programadas.

A memória pode ser classificada em até dois tipos: memória de programa e memória de dados. Memória de programa armazena o programa escrito pelo programador e é não volátil, ou seja, os dados não são perdidos quando ocorre a desenergização. Entretanto, a memória de dados armazena os dados de programa e são voláteis, ou seja, quando ocorre a desenergização, os dados gravados são perdidos [7].

2.3.2 Características dos microcontroladores

Os microcontroladores possuem diferentes tipos de arquiteturas construtivas que variam de fabricante a fabricante, sendo que alguns podem ser totalmente compatíveis, enquanto outros podem não ser para a mesma aplicação em questão [7].

2.3.3 Tensão de alimentação

A maioria dos microcontroladores operam com uma alimentação padronizada de +5 volts. Alguns microcontroladores conseguem operar com alimentação reduzida para +2.7 volts, e outros suportam até +6 volts sem causar nenhum problema ao componente [7].

2.3.4 Clock

Todos os microcontroladores necessitam de um oscilador ou clock para operar, normalmente essas oscilações são geradas através do uso de um cristal, que operam nas diversas faixas de frequência. Alguns microcontroladores possuem o oscilador internamente, que podem ser configurados pelo programador.

As instruções são executadas baseadas na memória de programa e então decodificadas. Essa ação consome alguns ciclos de clock e é conhecida como ciclo de instrução. Em microcontroladores PIC, uma instrução necessita de quatro períodos de clock para ser executada [7].

2.3.5 Temporizadores

O temporizador ou timer é basicamente um contador que é orientado por uma fonte de *clock* externa ou interno, podendo ser de 8 até 16 bits. O uso dessa opção é definida pelo programador no programa armazenado. A maioria dos timers pode ser configurados para gerar interrupções quando eles atingirem uma determinada configuração, conhecida como tempo de estoura do timer ou *overflow*. O programador pode utilizar uma interrupção para realizar a rotinas com uma frequência determinada [7].

2.3.6 Cão de guarda

É um artifício utilizado para realizar a reinicialização do microcontrolador caso aconteça algum inconveniente no processamento das instruções. O tempo pode ser configurado pelo programador e a principal função desses sistemas é evitar acontecimentos indesejados durante sua operação, contribuindo diretamente para a segurança do sistema [7].

2.3.7 Interrupções

As interrupções são um importante conceito em microcontroladores. Uma interrupção causa uma resposta a eventos externos e internos rapidamente. Quando ocorrida, o microcontrolador deixa de executar o fluxo normal do programa e salta para uma parte especial conhecida como rotina de serviço de interrupção (ISR). O código de programa dentro do ISR é executado, e quando finalizado a execução das instruções o mesmo retorna para o fluxo normal [7].

2.3.8 Conversor analógico digital

Como o próprio nome diz, o conversor analógico digital é utilizada para converter uma grandeza analógica em digital, como tensão por exemplo. Alguns microcontroladores possuem em seu encapsulamento conversores A/D [7].

A conversão analógica digital deve ser iniciada pelo programador e pode levar alguns centésimos de microssegundos para ser completada. Geralmente são utilizadas no controle e monitoração de aplicações, como sensores de temperatura, sensor de pressão, sensores de força que produzem uma variação analógica [7].

2.3.9 Comunicação serial

Comunicação serial habilita o microcontrolador para ser conectado com um outro dispositivo com mesma função, como microcontroladores ou computadores. A USART (*universal synchronous-asynchronous receiver-transmitter*) é responsável por realizar a comunicação serial, o qual o programador pode selecionar a taxa de transmissão e o formato dos dados [7].

2.3.10 EEPROM memória de dados

Essa modalidade de memória é comum em muito microcontroladores. A vantagem da EEPROM é que o programador pode armazenar dados não voláteis e alterar esses dados se necessário. Um monitoramento de velocidade angular, o programador pode usar o recurso salvando permanentemente os valores máximos e mínimos de rotação, podendo ser lidos a qualquer momento por funções pré-definidas [7].

2.3.11 Comparador analógico

Comparadores analógicos são utilizados para comparar dois valores distintos de leituras analógicas. Apesar de esses circuitos serem comumente implementados nos microcontroladores PIC, eles não são comuns em outros microcontroladores [7].

2.3.12 Capacidade de corrente

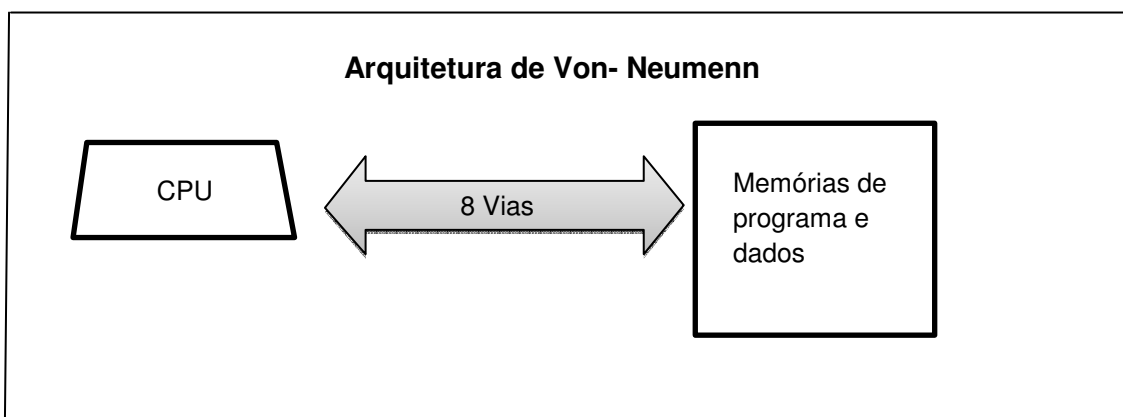
A capacidade de escoamento de corrente é importante para determinar se é necessária a utilização de um driver para acionar determinados dispositivos. Em geral, os

microcontroladores PIC podem liberar no máximo 25 mA por cada pino de saída, maiores informações devem serem consultadas na folha de dados do dispositivo [7].

2.3.13 Arquitetura do microcontrolador

Como o próprio nome diz, a arquitetura de um microcontrolador consiste na forma de como o circuito é construído internamente, do qual os mais utilizados são: Harvard e Von-Neumann;

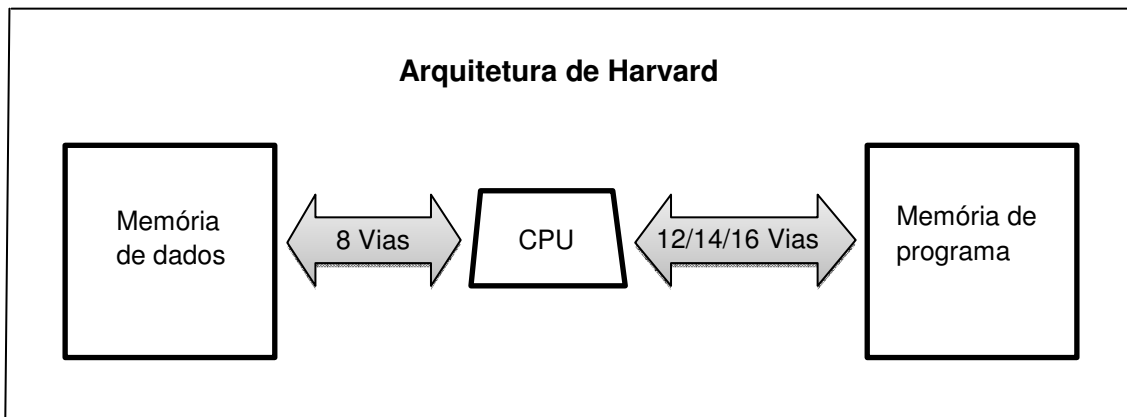
Historicamente os microprocessadores são baseados na arquitetura Von Neumann, cuja principal diferença e mais impactante é a presença de uma única memória principal, do qual possui a função de armazenar o programa e os dados processados, que são acessados por um único barramento, como mostra a ESQUEMA 7 [4].



Fonte: Renato Silva (2006)

ESQUEMA 12 - Arquitetura de Von -Neumenn

Já a arquitetura Harvard possui duas memórias, uma dedicada ao armazenamento do programa e a outra ao armazenamento dos dados, que são acessadas aleatoriamente por barramentos diferentes, como mostra a ESQUEMA 9 [4].



Fonte: Renato Silva (2006)

ESQUEMA 13 – Arquitetura de Harvard

2.3.14 Periféricos PIC família 18F

A Microchip Inc. desenvolveu a série de microcontroladores PIC18 para uso em alta-contagem, alta-densidade e aplicações complexas. Os microcontroladores oferecem soluções eficientes com custo reduzido para a maioria das aplicações que usam um sistema operacional de tempo real que exija um protocolo de comunicação como TCP/IP, CAN, USB ou ZigBee. PIC18F possui memória de programa flash de diversos tamanhos, podendo ter de 8Kbytes até 128Kbytes e memória de dados de 256 até 4Kbytes, operando com uma alimentação de 2 a 5 volts, com um clock externo de até 40Mhz [7].

As principais características dos microcontroladores da família PIC18 são:

- 77 instruções
- Código fonte compatível com a família PIC16
- Memória programável de até 2Mbytes
- Memória de dados de até 4Kbytes
- Oscilador externo de até 40Mhz
- Nível de prioridades de interrupções
- Até dois timers de 8 bits
- Até três timers de 16bits
- Até quatro interrupções externa
- Fluxo de corrente de no máximo 25mA
- Módulos de captura/comparação/módulos PWM
- Módulo de sincronismo serial mestre (SPI e I²C modos)
- Dois módulos USART

- Conversor analógico de digital de 10 bit

Além dessas características básicas, os microcontroladores da família PIC18F oferecem as seguintes características especiais:

- Interface de comunicação direta CAN 2.0
- Interface de comunicação direta USB 2.0
- Interface de controle LCD
- Interface TCP/IP
- Interface ZigBee
- Interface direta de controle de motor

A tabela 1 apresenta características técnicas de alguns microcontroladores da família PIC18F.

Tabela 1 – Características construtivas família PIC18F

Feature	PIC18F242	PIC18F252	PIC18F442	PIC18F452
Program memory (Bytes)	16K	32K	16K	32K
Data memory (Bytes)	768	1536	768	1536
EEPROM (Bytes)	256	256	256	256
I/O Ports	A,B,C	A,B,C	A,B,C,D,E	A,B,C,D,E
Timers	4	4	4	4
Interrupt sources	17	17	18	18
Capture/compare/PWM	2	2	2	2
Serial communication	MSSP USART	MSSP USART	MSSP USART	MSSP USART
A/D converter (10-bit)	5 channels	5 channels	8 channels	8 channels
Low-voltage detect	yes	yes	yes	yes
Brown-out reset	yes	yes	yes	yes
Packages	28-pin DIP 28-pin SOIC	28-pin DIP 28-pin SOIC	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP	40-pin DIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP

Fonte: Dongan Ibrahim (2008)

2.3.15 Fluxograma

O fluxograma consiste em uma ferramenta gráfica importantíssima cujo objetivo é auxiliar na programação em qualquer linguagem. Na realidade, estabelece a sequência correta para realizar determinada tarefa, conseqüentemente o fluxograma contribui para diminuição e organização do código gerado [4].

2.3.16 Linguagem de programação “C”

A linguagem “C” é um tipo de sintaxe voltada para desenvolvimento de diversos tipos de aplicação, desenvolvida na Bell Labs, divisão da AT&T, por Dennis Ritchie. A premissa da obra era gerar uma linguagem de alto nível, diferentemente da linguagem de máquina (*Assembly*), denominada como uma linguagem de baixo nível. As principais características são [7]:

- Portabilidade;
- Recursos de baixo e alto nível;
- Confiabilidade;
- Conjunto de instruções enxuto;
- Confiabilidade;

2.3.17 Compiladores

Os compiladores são plataformas de desenvolvimentos específicas voltadas a diversas aplicações. Em aplicações com microcontroladores, o propósito de um compilador é “traduzir” o código escrito em determinada linguagem de programação em um arquivo específico de máquina. Veja exemplos de compiladores disponíveis no mercado [7]:

- CCS C (Custom Computer Services);
- Microchip;
- Hi-Tech;
- MikroC

2.3.18 Estrutura de um programa em MikroC

Por mais de uma década a mikroElektronika, empresa fabricante do compilador MikroC, tem sido uma das poucas empresas no mundo que produzem ferramentas de desenvolvimento inteiras para as principais arquiteturas de microcontroladores, comercializando placas de desenvolvimento, compiladores, placas de acessórios, software adicionais e livros voltados ao desenvolvimento de competências relacionadas a eletrônica embarcada [16].

O ESQUEMA 12 mostra uma estrutura simples de um programa em MikroC. Esse programa faz com que uma diodo emissor de luz que está conectado ao port B pin 0 pisque a cada um segundo.

LED FLASHING PROGRAM

This program flashes an LED connected to port pin RB0 of PORTB with one second intervals.

Programmer : D. Ibrahim
File : LED.C
Date : May, 2007
Micro : PIC18F452

*****/

```
void main()
{
    for(;;)                // Endless loop
    {
        TRISB = 0;         // Configure PORTB as output
        PORTB.0 = 0;       // RB0 = 0
        Delay_Ms(1000);    // Wait 1 second
        PORTB.0 = 1;       // RB0 = 1
        Delay_Ms(1000);    // Wait 1 second
    }                      // End of loop
}
```

Fonte: Dongan Ibrahim (2008)

Esquema 14 – Estrutura de programa MikroC.

2.5 Sensores Industriais

Os sensores são componentes essenciais para obtenção de informações do ambiente externo. Com isso, podem ser elaboradas condições relacionadas de acordo com

as respostas dos sensores e assim executar um conjunto de ações para controle de um manipulador ou algo qualquer que possa ser controlado [3].

Geralmente os sensores conseguem detectar a maior parte dos fenômenos físicos – luz, som, gás, campo elétrico, campo magnético, formas de objeto, cores, etc. Os sensores são utilizados em várias áreas como:

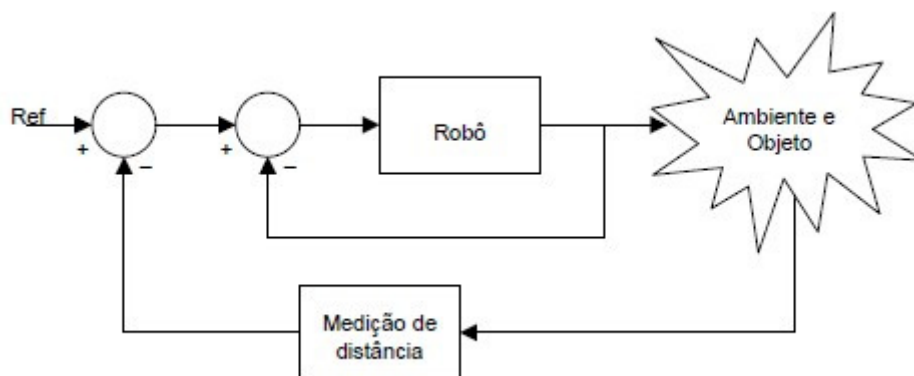
- Automação industrial: presença de peça, sensor de visão, medição, etc.
- Automação residencial: Sensor de presença, sensores para controle de temperatura, sensores de detecção de vazamento de gás, sensores de fumaça para detecção de incêndio, etc.
- Automação veicular: Sensores de temperatura, sensores de velocidade, sensores de posição, sensores de estacionamento, sensores de chuva, etc.

Um sensor altera seu estado de acordo com uma grandeza física, podendo proceder a informação através de sinais que indicam essa grandeza convertida num sinal elétrico. Basicamente existem dois tipos de sensores, digitais e analógicos. Os sensores digitais funcionam apresentando dois estados, 0 ou 1, como um sensor de presença, que quando está nível lógico zero significa ausência de peça, e quando está em nível lógico um significa presença de peça. Já os sensores analógicos de grandezas físicas, ou seja, captam uma determinada grandeza física e a transformam em intervalos de sinais elétricos analógicos, em automação é comum esses sinais serem de 4 a 20 mA ou 0 a 10 Volts [6].

Os sensores mais utilizados em ambiente industrial são:

- De proximidade: mecânicos, ópticos, indutivos e capacitivos.
- De posição e velocidade: potenciômetros, LVDT, encoders absolutos e incrementais e taco-geradores.
- De força e pressão: célula de cargas.
- Analógico de temperatura (termopares).
- De vibração e aceleração.

Para realizar o controle de um manipulador industrial é importante entender e classificar as funções dos sensores. Para se movimentar com precisão um manipulador é necessário monitorar seus movimentos, buscar instantaneamente as posições de cada parte articuladora, de modo a obter um controle de malha fechada. Esses sensores que informam ao controlador as grandezas físicas relacionadas ao manipulador são classificados como sensores internos. Além dessas variáveis relacionadas aos sensores internos, também existem outras variáveis de integração com ambiente pelo qual o sistema deve obter as informações, essa classe de sensores são chamados de sensores externos.



Fonte: Victor Ferreira (2002)

ESQUEMA 15 - Sensores internos e sensores externos de um sistema.

A principal diferença entre um sensor interno e um externo está no tempo de resposta pelo qual o mesmo deve ter. A ESQUEMA 15 mostra um diagrama de blocos de um manipulador representado por um sistema de controle de malha fechada realimentado por informações sensoriais, composto por sensores internos e sensores externos.

A malha de realimentação interna indica que o sistema deve ser informado em tempo real sobre o estado dos sensores internos, pois para se controlar um movimento rápido de um determinado conjunto deve se ter uma leitura mais rápida ainda, garantido a precisão e a segurança dos movimentos. De modo diferente, a malha de realimentação externa utiliza as informações do ambiente adquiridas pelos sensores externo para a execução da tarefa num tempo maior do que os sensores internos [6].

De maneira geral, a leitura das variáveis do manipulador realizada pelo microcontrolador acontece com maior frequência que a leitura das variações externas, justamente por questões de necessidade, já que a variação dessas grandezas acontece com maior frequência e devem ser consultadas em tempo real para obter-se uma determinada precisão.

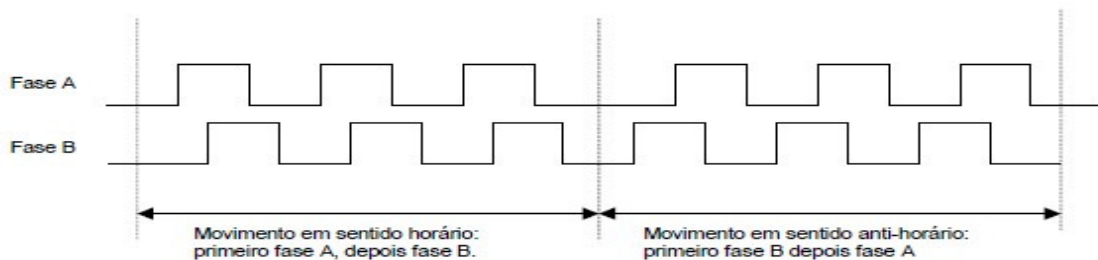
2.5.1 Sensores internos

Os sensores internos são utilizados para mensurar o estado interno do sistema robotizado, como posição real dos eixos, velocidade, aceleração, torque, em um determinado instante. Essas informações são processadas e controladas pela unidade específica.

2.5.1.1 Posicionamento

Como visto, os manipuladores possuem no mínimo três pontos de movimentação, isso exige que cada coordenada tenha um controle de posição. Um dos sensores interessantes para realizar o controle de posição angular são os encoders incrementais e absolutos.

O princípio de funcionamento dessa classe de sensores consiste na interrupção de um feixe luminoso que incide sobre um sensor óptico por meio de um disco fixo ao eixo do atuador. Esses discos possuem regiões passantes e opacas para o feixe luminoso. Conforme a força externa incide sobre o eixo do encoder o disco tende a girar, gerando pulsos em sua saída, o ESQUEMA 16 mostra uma resposta característica de um encoder incremental [6].

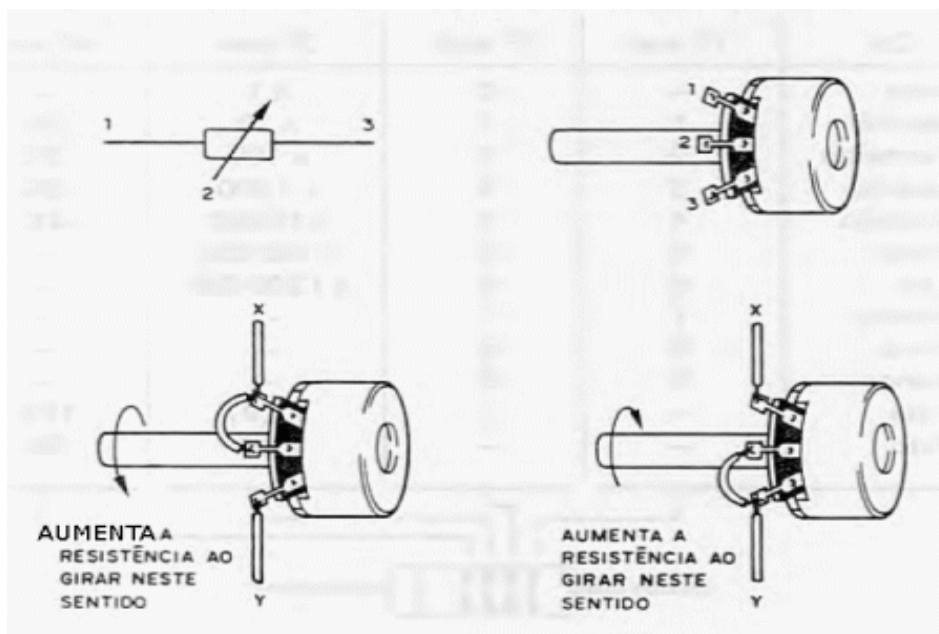


Fonte: Victor Ferreira (2002)

ESQUEMA 16 – Sinais característicos encoder incremental

O controle de posição angular também pode ser realizado baseado em um transdutor resistivo, cuja função é transformar movimento angular mecânico em uma reta ou curva resistiva, dependendo das características construtivas do potenciômetro.

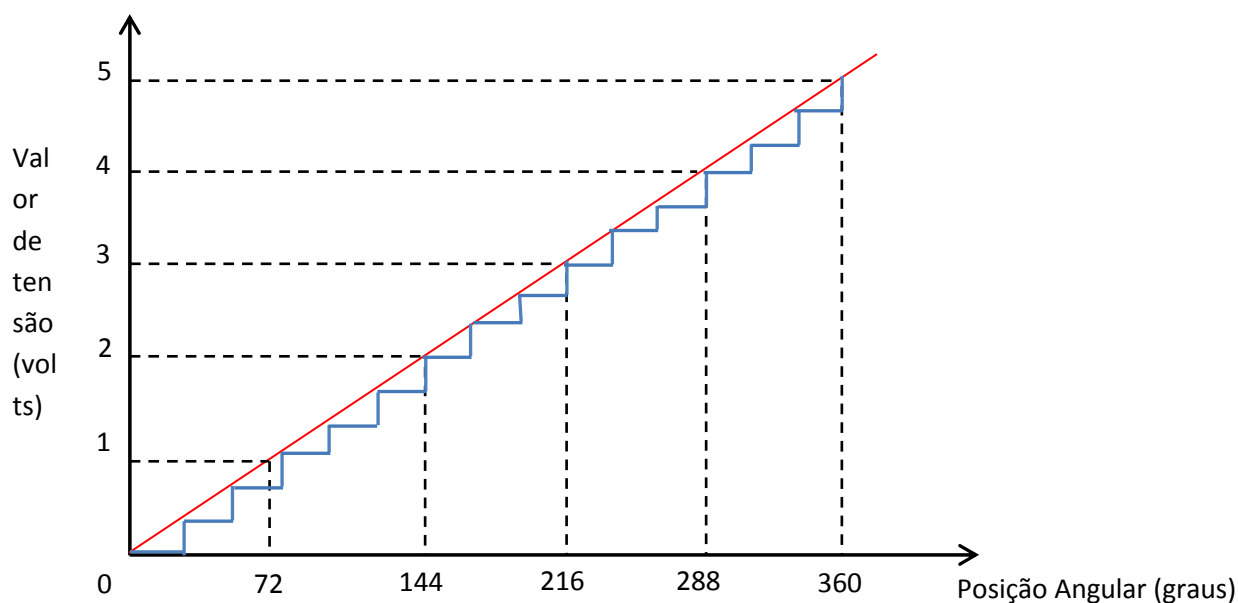
A variação de resistência ocorre quando o motor inicia uma rotação em qualquer sentido, impulsionando mecanicamente o eixo do potenciômetro através de um acoplamento entre o motor e o potenciômetro, provocando a variação da resistência. Com uma fonte de tensão conhecida aplicada sobre os terminais do transdutor, é possível realizar a leitura analógica da queda de tensão sobre o divisor resistivo, o ESQUEMA 17 ilustra as características de um potenciômetro linear.



Fonte: <<http://www.profelectro.info/?tag=componentes>>

ESQUEMA 17: Potenciômetro linear

O propósito dessa configuração é gerar um valor conhecido de tensão e relacioná-lo com a posição efetiva em graus. O ESQUEMA 18 mostra a saída gerada pela variação da posição angular em função da tensão sobre os terminais do potenciômetro.



ESQUEMA 18 – Posição angular em função da tensão resolução de 10 bits

Para que essa reta seja interpretada por um microcontrolador é necessário uma interface de conversão analógica digital. Teoricamente, para obter uma conversão real o

fator n deveria tender ao infinito. Porém, esses conversores possuem geralmente valores de 8 a 10 bits, equação 1 mostra como descobrir a resolução do conversor AD:

$$RC = \frac{\Delta V}{2^n} \quad (1)$$

RC = Resolução conversor (volts)

ΔV = Variação de tensão (volts)

n = resolução do conversor analógico digital

2.5.2 Sensores externos

De uma maneira global, os sensores externos possuem o objetivo de interagir com o ambiente externo, verificando em um intervalo de tempo as mutações do meio.

2.5.2.1 Sensores de presença

A detecção da presença de objetos é muito comum em processos industriais, geralmente é necessária em esteiras, estações de produção, etc. Há diversas maneiras de detectar se um objeto está presente em um determinado local, dependendo basicamente de três fatores, das características do objeto, da velocidade de medição e da distância em que o objeto se encontra do sensor específico. A tabela 2 a seguir mostra alguns dos sensores mais comuns e suas respectivas distâncias de atuação:

Tabela 2 – Sensores, tecnologias e distâncias.

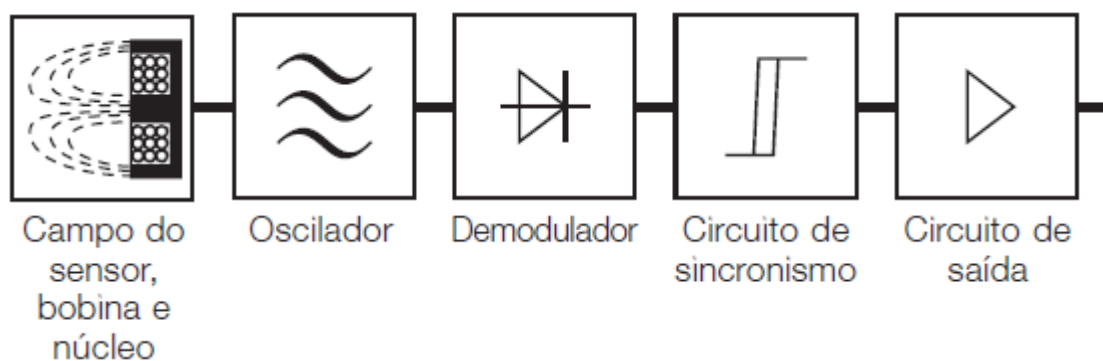
Sensor	Tecnologia	Faixa de Detecção
Magnético	Efeito Hall	0,1 - 3 mm
Óptico	Infravermelho reflectivo (baixa potência)	1mm - 300mm
Ultra-som	Tempo-de-vôo	500mm - 10000mm
Óptico	Infravermelho ou laser reflectivo (alta potência)	3000mm - 100000mm

Fonte: Victor Ferreira (2002)

2.5.2.2 Sensores indutivos

Os sensores indutivos de proximidade funcionam com o princípio baseado no efeito da interação de campos eletromagnéticos e condutores metálicos. No condutor são induzidas correntes parasitas e que conseqüentemente reduzem a amplitude de oscilação. Esta variação é interpretada pelo sensor indutivo.

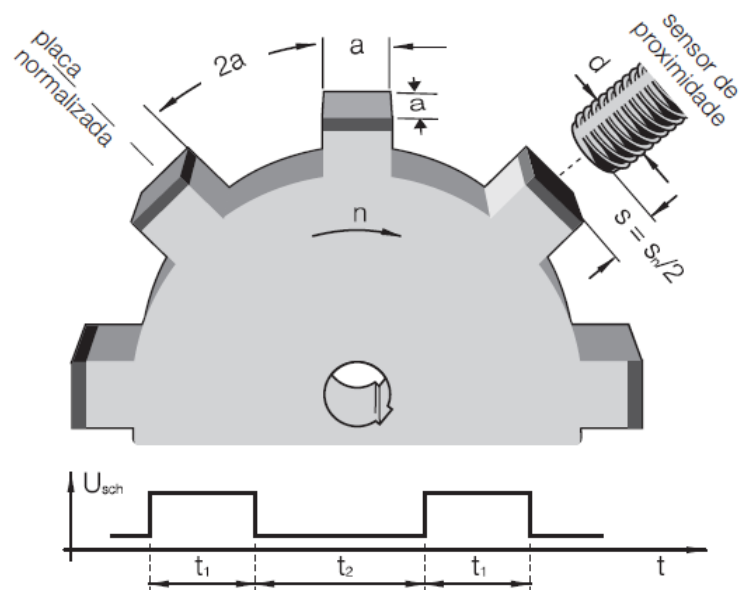
Alguns fabricantes baseiam-se no seguinte princípio de funcionamento como mostra o ESQUEMA 19.



Fonte: <http://www.balluff.com.br/admin/produtos/linhas/arquivos-pdf/1/Sensores%20Indutivos%20-%20Conceitos%20B%C3%A1sicos.pdf>

ESQUEMA 19 – Diagrama de blocos sensor indutivo

Um fator importante e decisivo na aplicação de um sensor é a frequência de comutação que corresponde à quantidade máxima de comutações por segundo, podendo chegar dependendo da tecnologia a até 20kHz. O ESQUEMA 20 mostra a aplicação de um sensor indutivo [8].

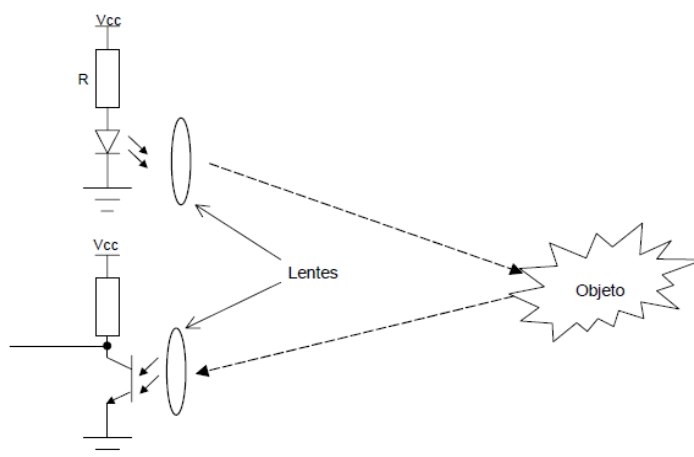


Fonte: <<http://www.balluff.com.br/admin/produtos/linhas/arquivos-pdf/1/Sensores%20Indutivos%20-%20Conceitos%20B%C3%A1sicos.pdf>>

ESQUEMA 20 – Sensor magnético detector de posição

2.5.2.3 Sensores óptico infravermelhos

O sensor óptico infravermelho possui um led emissor e um receptor de luz montados em um mesmo encapsulamento. A luz refletida num objeto próximo é captada pelo receptor que produz um sinal digital. A distância varia conforme a superfície do material refletor de luz. A ESQUEMA 21 ilustra o circuito interno de um sensor óptico infravermelho [3].

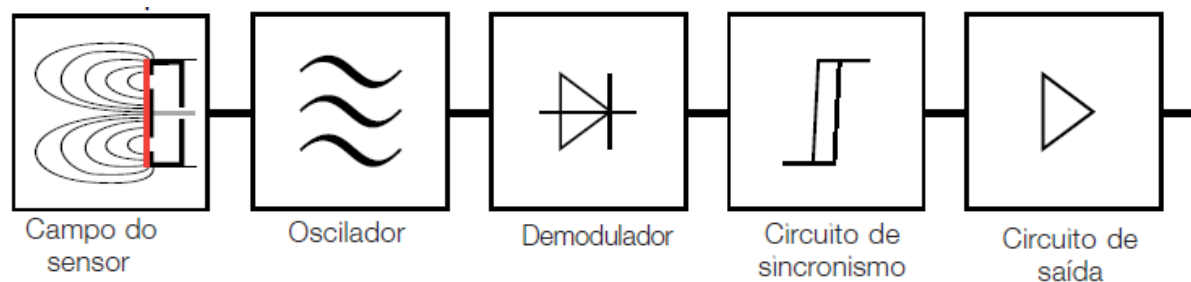


Fonte: José Maurício Rosário (2005).

ESQUEMA 21 – Circuito interno de um sensor óptico infravermelho

2.5.2.4 Sensores capacitivos

Os sensores capacitivos possuem um princípio de funcionamento semelhante ao de um capacitor, cujo objetivo é armazenar cargas em função do tempo. Em um sensor capacitivo o material dielétrico é o ar, que possui uma constante dielétrica de aproximadamente um, possuindo um valor de capacitância muito baixo. Quando um objeto com maior constante dielétrica do que o ar é aproximado, o campo magnético gerado pela atração entre as cargas incide sobre objeto e a capacitância passa a aumentar naturalmente. Um pequeno circuito eletrônico detecta essa variação, mudando de estado parte desse mesmo circuito para nível lógico um. O digrama de blocos do ESQUEMA 22 ilustra o princípio de funcionamento de um sensor capacitivo [9].



Fonte: <<http://www.balluff.com.br/admin/produtos/linhas/arquivospdf/1/Sensores%20Indutivos%20-%20Conceitos%20B%C3%A1sicos.pdf>>

ESQUEMA 22 – Diagrama de blocos sensor capacitivo

A tabela 3 a seguir mostra alguns tipos de materiais e suas respectivas constantes dielétricas [3].

Tabela 3 – Alguns materiais e suas respectivas constantes dielétricas.

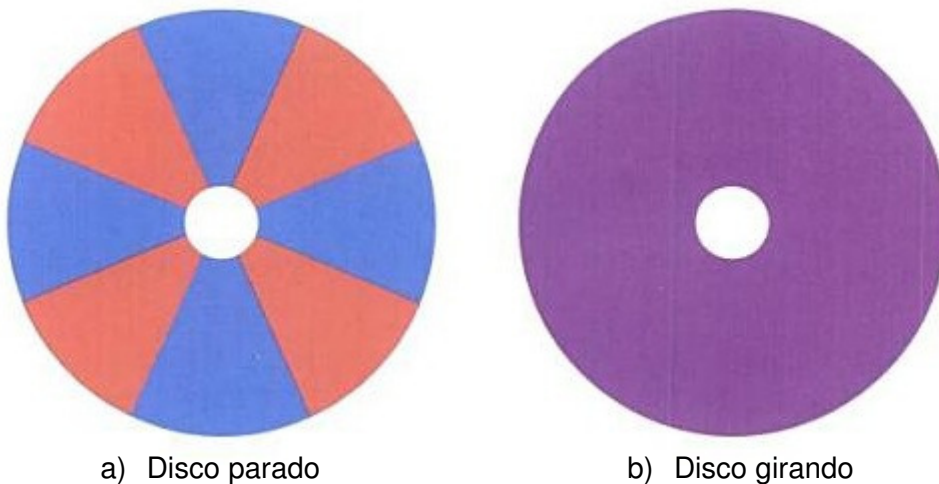
Material	Constante dielétrica	Material	Constante dielétrica
Ar, vácuo	1	Petróleo	2,2
Álcool	25,8	Polietileno	2,3
Madeira	2...7	Polipropileno	2,3
Celulose	3	Poliestireno	3
Água	80	Porcelana	4,4
Mica	6	Areia de quartzo	4,5
Mármore	8	Teflon	2
Papel	2,3	Vidro	5

Fonte: José Maurício Rosário (2005)

2.5.2.5 Sensores de cor

Em alguns processos industriais o índice de cor de determinado objeto sob uma irradiação de luz conhecida é uma grandeza que deve ser conhecida, justamente pela necessidade de controlar a qualidade do processo de fabricação.

Basicamente, as cores são divididas em três categorias: primárias, secundárias e terciárias. As cores primárias são definidas como cores puras, ou seja, irredutíveis, são elas: vermelho, amarelo e azul. As cores secundárias são a combinação de duas cores primárias, como exemplo, a cor violeta, criada a partir da combinação das cores vermelha e azul. Por último, a terciária é definida pela combinação de uma secundária com quaisquer duas primárias. O ESQUEMA 23 ilustra o resultado da mistura de duas cores primárias. [10].

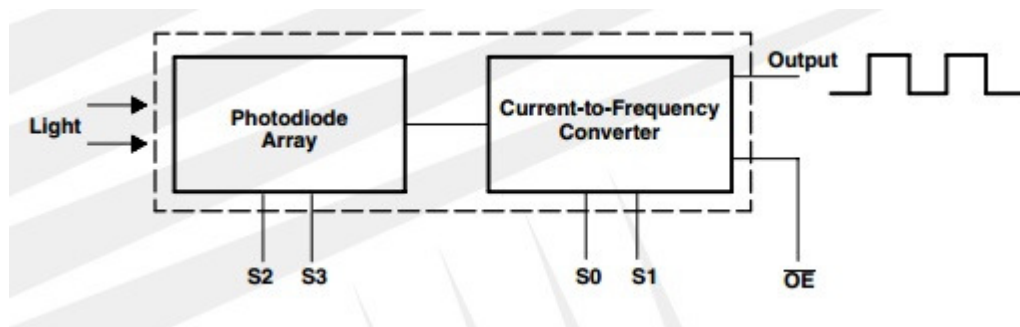


Fonte: Israel Pedrosa (2003).

ESQUEMA 23: Disco parado e efeito gerado por disco girando

A maioria dos sensores RGB (vermelho, verde e azul) encontrados no mercado quantificam a luz irradiada sobre sua superfície dedicada, obtendo valores individuais de luz vermelha, verde e azul refletida pela superfície do objeto avaliado, podendo variar 0 a 100% para cada cor. Logo em seguida, as cores são informadas para unidade de processamento que compara os valores de aquisição com valores previamente conhecidos [11].

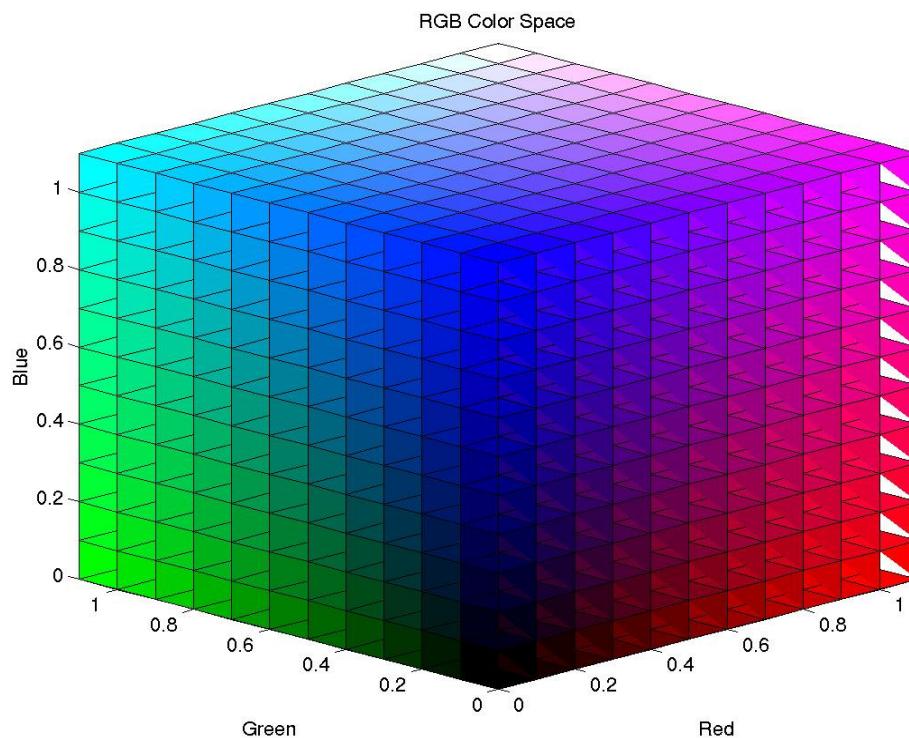
O ESQUEMA 24 mostra uma das formas em que os sensores RGB operam.



Fonte: <<http://elecbreaks.com/store/download/TCS320OD.pdf>>

ESQUEMA 24: Conversão de luz para frequência.

A combinação das cores vermelho, verde e azul estão fundamentadas na mistura cromática, em outras palavras, quando ocorre a mistura dessas três porções de cores temos como resultado final uma única cor. O ESQUEMA 25 ilustra a combinação das cores vermelho, verde e azul e a respectiva cor resultante.



Fonte: <http://www.clear.rice.edu/elec301/Projects02/artSpy/color.html>

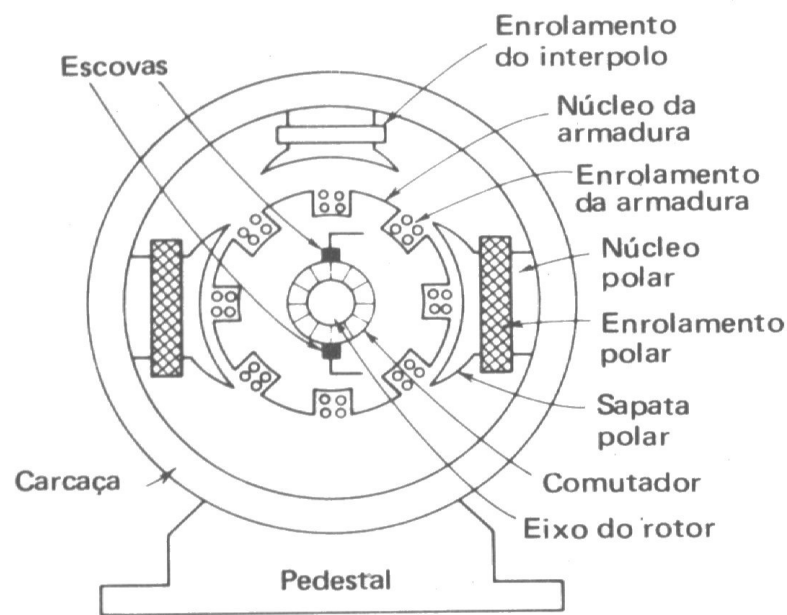
ESQUEMA 25: Cubo representativo RGB.

2.6 Motores de corrente contínua

As máquinas rotativas de corrente contínua e alternada possuem o mesmo propósito, converter energia elétrica em energia mecânica. O motor CC possui esse nome devido a fonte de alimentação ser contínua. Normalmente, essa fonte de energia é encontrada em baterias, pilhas e também pode ser gerada a partir de uma retificação.

2.6.1 Aspectos construtivos motor CC

Os principais componentes de um motor CC são: pólos principais, rotor ou armadura, comutador, escovas e interpólos.. Os pólos principais são compostos por núcleo e sapata polar, os quais devem ter um bom índice de permeabilidade. Os pólos são bobinados e quando percorridos por uma corrente elétrica, geram um fluxo magnético; geralmente os motores CC de tamanho reduzido possuem um material magnetizado ao invés dos pólos principais bobinados; o rotor ou armadura é constituído de chapas com ranhuras, onde estão armazenadas as bobinas, podendo ser imbricado ou ondulado. Cada elemento do enrolamento é ligado a uma determinada lâmina do comutador fixado no eixo do motor; o comutador é constituído por lâminas condutoras de cobre isoladas entre si; as escovas deslizam sobre o comutador, realizando sistematicamente a energização das bobinas do rotor; interpólos são pequenos pólos situados entre os pólos principais e seus enrolamentos são ligados em série com os do rotor através das escovas, o ESQUEMA 26 mostra as partes que compõem motor CC [12].



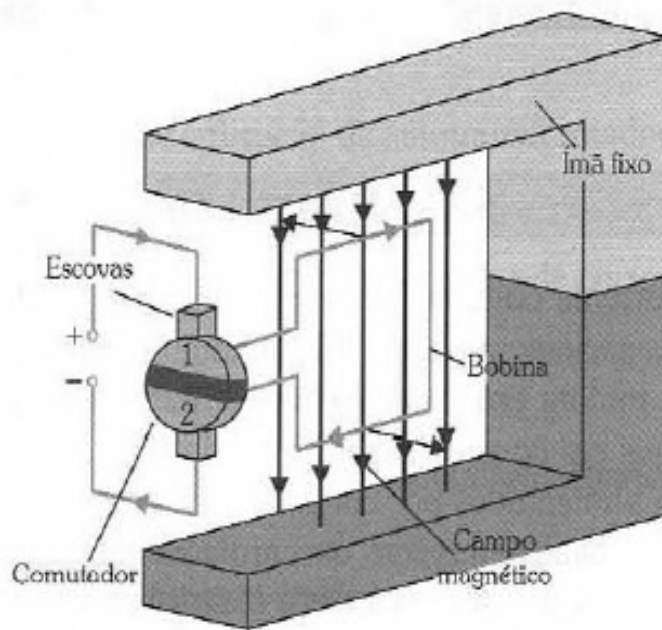
Fonte: DUTRA, Adriane (2010)

ESQUEMA 26: Aspectos construtivos de máquinas de corrente contínua.

2.6.2 Princípio de funcionamento

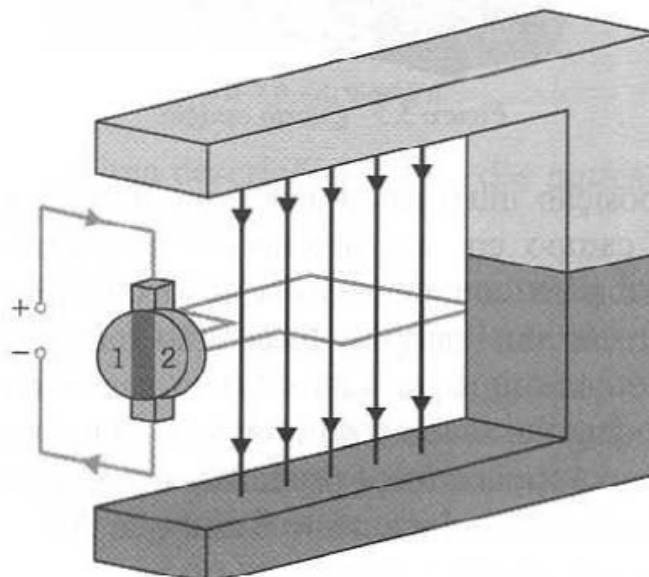
Para facilitar a compreensão do modo de funcionamento de um motor CC, é interessante diminuir a complexidade, para isso, o funcionamento será dividido em três etapas [12].

Na primeira fase de operação, a bobina do rotor está posicionada paralelamente ao campo gerado, recebendo o máximo da força magnética. Imerso em um campo, uma fonte externa de tensão contínua disponibiliza uma corrente na bobina do rotor. As leis de eletromagnetismo dizem que quando uma corrente atravessa uma bobina imersa em fluxo magnético tende a produzir uma força mecânica onde o sentido pode ser conhecido se aplicada à regra da mão esquerda, onde o dedão indica o sentido da força, o indicador o sentido do fluxo magnético do meio e o dedo médio indica o sentido da corrente na bobina, mostrado no ESQUEMA 27 [12].



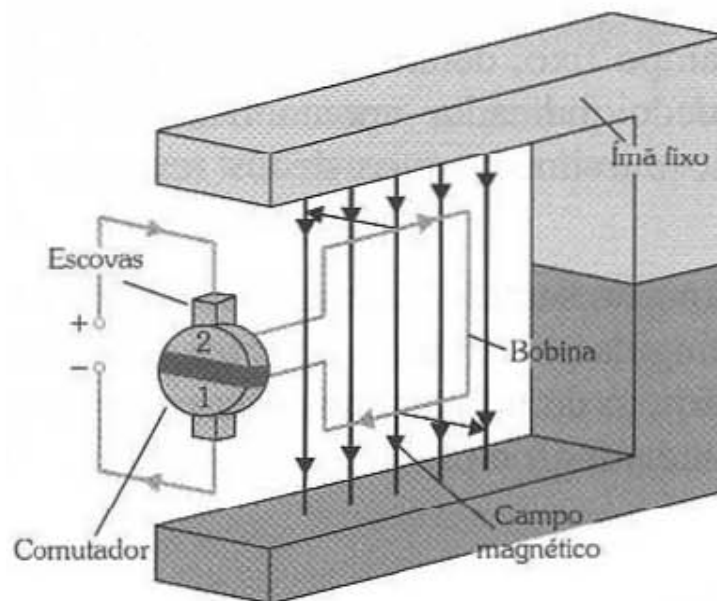
Fonte: NASCIMENTO JUNIOR, G. Carvalho (2010)
 ESQUEMA 27: Funcionamento motor CC etapa um.

Na segunda etapa, a bobina atingiu um determinado ponto e está em uma posição em que é pouco atingida pelas linhas de campo, não reagindo como na fase anterior, mas, pela inércia gira até atingir a próxima etapa.



Fonte: NASCIMENTO JUNIOR, G. Carvalho (2010)
 ESQUEMA 28: Funcionamento motor CC etapa dois.

Na terceira etapa, ocorre à inversão parcial da bobina; ao observar, é visto que a bobina está deslocada a exatos 180 graus da posição inicial, mas devido à ação do comutador, a corrente mantém-se no mesmo sentido, com a corrente elétrica fluindo na bobina cria-se um campo magnético em torno da bobina e com a interação do campo externo, aparece uma força no mesmo sentido, provocando a rotação do mesmo.



Fonte: NASCIMENTO JUNIOR, G. Carvalho (2010)
ESQUEMA 29: Funcionamento motor CC etapa três.

Essas etapas de funcionamento aconteceram sucessivamente, possibilitando dessa maneira o funcionamento pleno do motor em questão.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de verificação e seleção de objetos, utilizando como critério a pigmentação do objeto examinado. Esse sistema possibilita uma análise rápida de cores de objetos de qualquer natureza, podendo ser aplicado em diversos tipos de processos.

O propósito desse trabalho é demonstrar um sistema de controle e automação dedicado a tarefas específicas, que atuam em processos de qualidade, gerando novas possibilidades para futuras aplicações.

A simulação do processo de fabricação possui um manipulador industrial com três graus de liberdade, construído sobre uma plataforma sólida, que atuará em pontos fixos do plano cartesiano. A principal função desse dispositivo é posicionar o sensor de cor RGB sobre os objetos cujas posições são pré-definidas, e após o término do processamento dos dados, deslocá-los para pontos pré-determinados de acordo com a cor do objeto.

O controle desse sistema é feito por um hardware específico, munido de alguns componentes eletrônicos como: microcontrolador PIC18F4520, potenciômetro de precisão, sensores indutivos, sensores capacitivos, sensores RGB, motores de corrente contínua e drivers de acionamento de motores.

3.1 Composição do projeto

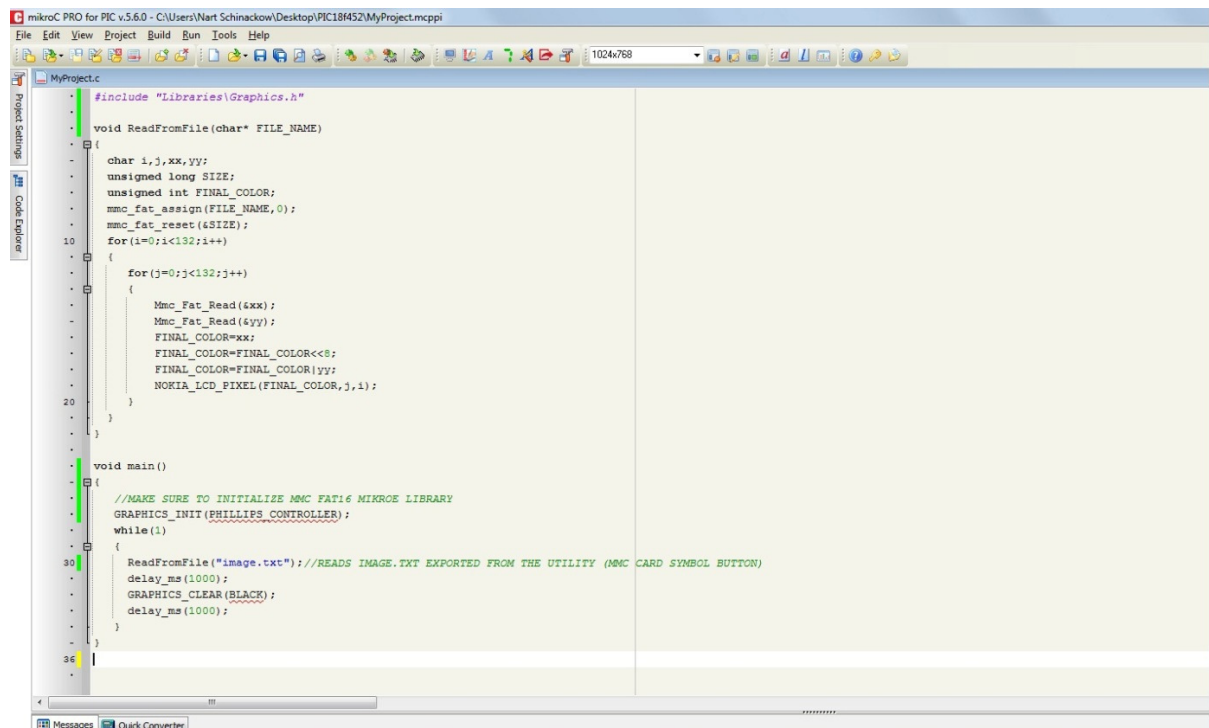
O desenvolvimento desse trabalho foi baseado na integração dos seguintes componentes:

- Kit de desenvolvimento microgenios PICGenios PIC18F e PIC16F;
- Microcontrolador 18F4520;
- Ponte H ST L293;
- Circuitos integrados reguladores de tensão;
- Motores 12VDC com redução;
- Potenciômetros de precisão multivoltas.

3.2 Plataforma de desenvolvimento de programação

A lógica de funcionamento foi desenvolvida com o auxílio de uma apostila desenvolvida e comercializada pela empresa Microgenios, utilizando o software da MikroC para a elaboração da programação embarcada.

O ESQUEMA 30 ilustra a tela principal do MikroC.



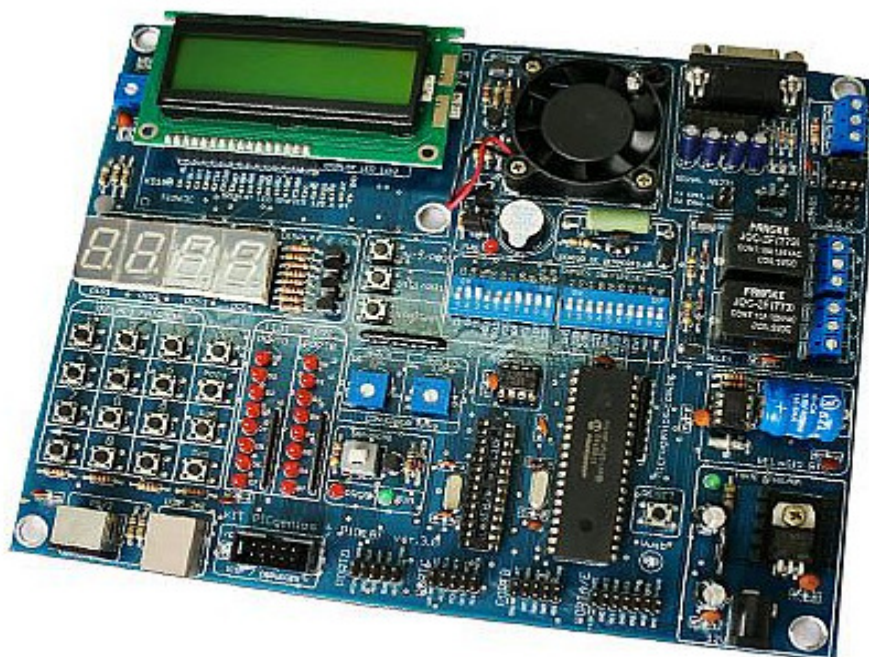
ESQUEMA 30 Ambiente de desenvolvimento MikroC

3.3 Princípio de funcionamento

Para executar o controle de posição foi necessário inserir um potenciômetro em cada eixo dos motores. Dessa forma, aplica-se constantemente 5 volts sobre os terminais do potenciômetro de cinco mil ohms e conforme o motor é acionado, acontece uma queda de tensão que varia de 0 a 5 volts. Para interpretar a posição atual do eixo, foram definidas três entradas analógicas digitais no microcontrolador. Portanto, quando estiver aproximadamente em 2,5 volts, o microcontrolador converte esse valor em digital, tendo como resultado 512 em decimal para tal situação, sabendo que a resolução da conversão é de 10 bits.

Para realizar o acionamento dos motores foi utilizado uma ponte H cujo código é L293D. Esse circuito integrado é o drive dos motores, podendo girar o motor em dois sentidos, além de permitir o acionamento utilizando técnicas de PWM. Basicamente, o circuito integrado altera o sentido da corrente sobre a carga, de acordo com os sinais disponibilizados pelo microcontrolador.

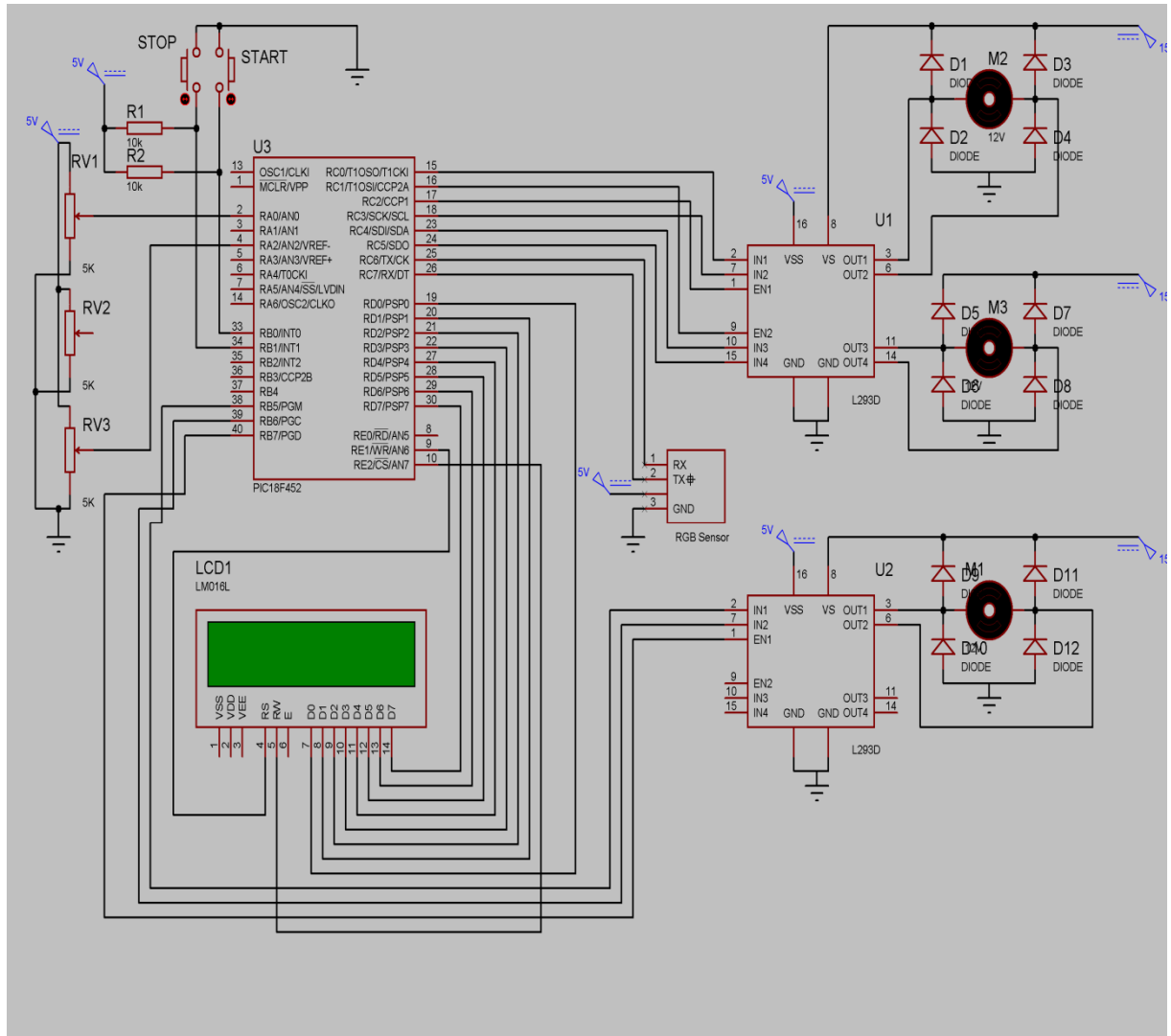
Durante a manipulação do sistema, foi inserido um LCD cristal líquido. O objetivo dessa aplicação é possibilitar a interação do usuário com o sistema. O ESQUEMA 31 mostra o kit utilizado no trabalho produzido pela microgenios PicGenios PIC18F4520.



ESQUEMA 31 – Plataforma de desenvolvimento PicGenios 18F4520

3.4 Desenvolvimento do hardware

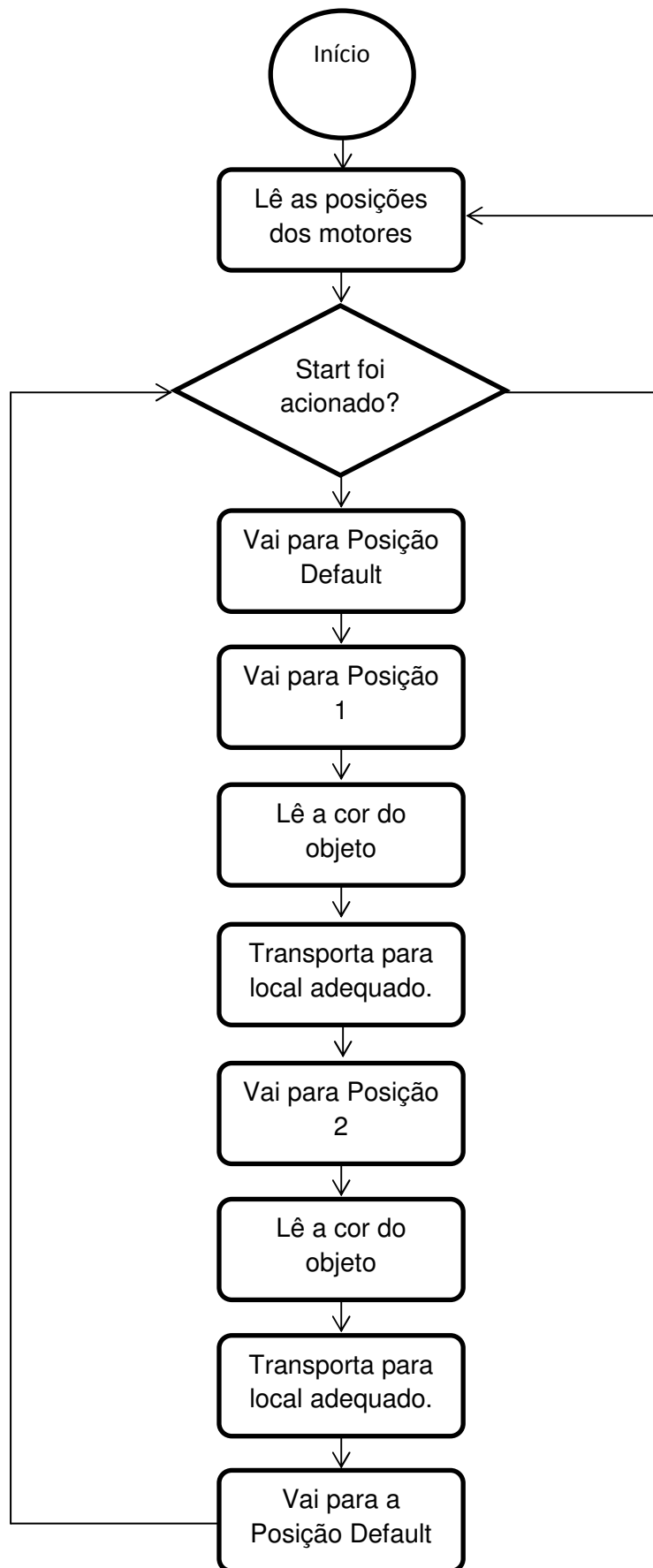
O hardware desenvolvido pode ser visto no ESQUEMA 32.



ESQUEMA 32 : Circuito eletrônico do projeto

3.5 Fluxograma

O fluxograma do projeto representa de um modo simplificado as etapas do funcionamento em geral, veja o ESQUEMA 33.



ESQUEMA 33: Fluxograma simplificado do funcionamento

3.6 Dificuldades encontradas durante a construção

Durante as provas práticas do manipulador industrial notou-se que o dimensionamento do sistema mecânico interfere no posicionamento do eixo. O motor M2 foi subdimensionado para a carga mecânica do sistema, causando uma falta de torque considerável quando o conjunto encontrava-se em uma determinada posição. Para solucionar esse problema existia duas possibilidades, ou adquirir um motor com maior torque ou criar um regime de funcionamento específico para o motor atual. Devido a questões relacionadas ao custo do projeto foi escolhido a segunda alternativa.

Na prática, em uma determinada posição de trabalho do motor M2, notou-se que quando o duty cycle estava abaixo de 60%, o motor não realizava o deslocamento do eixo, ocasionando a parada do conjunto. Para isso, foi previsto no software um offset do PWM que quando o motor estivesse nessa região de atuação à faixa de operação variasse de 60% a 100% ou 0% do duty cycle.

Outras dificuldades de menores impactos surgiram como ajustes mecânicos, migração do uso do compilador CCS para o MIKROC e a substituição dos encoders incrementais pelos potenciômetros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados atingidos foram de grande valia visto que a construção do projeto permitiu o aprimoramento e aprendizado de novas ferramentas de desenvolvimento de software, aplicações de circuitos integrados específicos de acionamento de motores de corrente contínua, conversões analógicas digitais, técnicas de controle PI e o estudo de formas para realizar aquisição de dados relacionados a cores de objetos.

Esse trabalho está disponível para implantação de novas técnicas de controle, de forma que possa melhorar o desempenho no funcionamento do conjunto. Dentre elas, pode-se aplicar nesse projeto um supervisor, que possibilite o controle do sistema, afim armazenar em um banco de dados as variáveis pertinentes ao processo.

CONCLUSÃO

A automatização representa para os consumidores, operadores e empreendedores vantagens bastante evidentes nos dias de hoje, dentre elas o maior índice de satisfação referente à qualidade final do produto para o consumidor em questão, exigência de qualificação técnica para prestação de mão de obra especializada e maior segurança e controle do processo produtivo de uma planta produtiva.

Visto em âmbitos profissionais, esse trabalho possibilitou conhecer a integração de diferentes tipos de componentes eletrônicos, unidos a técnicas de controle, necessários impreterivelmente no desenvolvimento de projetos eletrônicos para máquinas destinadas a automação.

O desenvolvimento do projeto permitiu a fixação dos temas compreendidos no curso de engenharia elétrica, além de possibilitar o conhecimento e a atualização profissional constante referente a novas tecnologias da área de atuação, imprescindíveis na carreira de qualquer engenheiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SILVEIRA, Paulo Rogério da. **Automação e controle discreto**. 1.ed. São Paulo: Érica, 1998.
- [2] BASTOS FILHO, Teodiano Freire. **Aplicação de Robôs nas Indústrias**. Vitória, ES: Universidade federal do Espírito Santo, 1999.
- [3] ROSÁRIO, João Mauricio. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- [4] SILVA, Renato A. **Programando microcontroladores PIC : Linguagem “C”**. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.
- [5] PIRES, J. Norberto. **Das máquinas gregas à robótica industrial**. Portugal, Coimbra: Universidade de Coimbra, 2002.
- [6] ROMANO, Vitor Ferreira. **Robótica industrial: aplicação na indústria de manufatura e de processos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- [7] IBRAHIM, Dogan. **Advanced PIC microcontroller projects in C: from USB to RTOS with the PIC18F series**. Butterworth-Heineman, 2008
- [8] BALLUFF. Sensores indutivos. Disponível em:
<<http://www.balluff.com.br/admin/produtos/linhas/arquivos-pdf/1/Sensores%20Indutivos%20-%20Conceitos%20B%C3%A1sicos.pdf>>. Acesso em: 21/09/2012.
- [9] BALLUFF. Sensores Capacitivos. Disponível em:
<<http://www.balluff.com.br/admin/produtos/linhas/arquivos-pdf/4/Sensores%20Capacitivos%20-%20Princ%C3%ADpios.pdf>>. Acesso em: 21/09/2012.
- [10] PEDROSA, Israel. **Da cor à cor inexistente**. 9. ed. Rio de Janeiro: Léo Christiano Editorial, 2003, 256p.
- [11] Elecfreaks, disponível em:
<<http://elecfreaks.com/store/download/TCS320OD.pdf>>. Acesso em: 06/10/2012.

[12] NASCIMENTO JUNIOR, G. Carvalho. **Máquinas elétricas: Teoria e ensaios**. 4 .ed. São Paulo: Érica, 2011.

[13] DUTRA, Adriane. **Motores CC**. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

[14] RIVIN, E., **Mechanical Design of Robots**, 1 ed., McGraw-Hill Inc., New York, 1988.

[15] ISO 10218 - **Manipulating Industrial Robots** - Safety, ISO Publications, France, 1992.

[16] MikroElektrotronika, disponível em:

<<http://www.mikroe.com/about/>>. Acesso em: 12/12/2012.