

**CURSO DE EXTENSÃO
FAT-UERJ**

INTRODUÇÃO A AUTOMAÇÃO



PREFÁCIO

Caros estudantes,

Agradeço sinceramente pela leitura deste conteúdo e a motivação em realizar este curso de extensão, tenham a certeza que vocês estão construindo um diferencial na formação acadêmica. Atualmente, os profissionais da área de exatas enfrentam uma crescente exigência do mercado de trabalho em relação aos conhecimentos de mecânica, em especial a interface com a automação, comandos e controladores lógicos programáveis. Em um mundo globalizado e caracterizado pela rápida transferência de informações, é fundamental não negligenciar nenhum detalhe na formação acadêmica, e aproveitar o tempo e investir na formação acadêmica.

Este curso é dividido em 3 etapas, desta forma aproveite ao máximo e construa seu futuro, e lembrem-se que o campo da engenharia está em constante evolução, e novas tecnologias e metodologias surgem a todo momento. Portanto, estar atualizado e aberto a novas ideias é um diferencial que pode levar vocês a se destacarem em suas carreiras.

Por fim, aprendam a buscar informações, a questionar e a colaborar com seus colegas, pois o trabalho em equipe é uma habilidade valiosa no ambiente profissional.

Desejo a todos muitos sucessos em sua jornada! Que este material sirva como um guia e uma inspiração para o desenvolvimento de suas habilidades e conhecimentos.

Sucesso!

Prof; Luiz Cordeiro

SUMÁRIO

1. O QUE É AUTOMAÇÃO?	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Conceito.....	1
1.3 Desenvolvimentos da Automação.....	1
1.4 Tipos de Automação.....	4
1.4.1 Automação Fixa.....	5
1.4.2 Automação Programável.....	5
1.4.3 Automação Flexível.....	6
1.5 Automação Residencial.....	7
2. COMANDOS ELÉTRICOS	9
2.1 Motores.....	9
2.1.1 Motor Monofásico com Capacitor de Partida.....	9
2.1.2 Motor de Indução Trifásico Assíncrono.....	11
2.1.3 Motor Trifásico de Rotor Bobinado.....	13
2.1.4 Tabela de Motores.....	15
2.1.5 Cálculo da Corrente Nominal de Motores.....	16
2.1.6 Relação entre Número de Polos e Velocidade.....	16
2.2 Dispositivos de Proteção.....	18
2.2.1 Disjuntores Termomagnéticos.....	18
2.2.2 Relé Térmico de Sobrecarga.....	19
2.2.3 Disjuntor Motor.....	20
2.2.4 Protetores Térmicos.....	21
2.3 Dispositivos de Comando e Sinalização.....	22
2.3.1 Botão de Comando e Comutadores.....	22
2.3.2 Sinalizadores.....	24
2.3.3 Contadores e Relés.....	24
2.3.4 Fins de Curso.....	28
3. NORMAS DE SEGURANÇA EM ELETRICIDADE...	29
3.1 NR10.....	29
3.1.1 Fases que se aplica a NR 10.....	29
3.1.2 Prontuário de Instalações Elétricas.....	29
3.1.3 Medidas de Proteção Coletiva.....	30
3.1.4 Segurança em Projetos.....	31
3.1.5 Segurança em Instalações Desenergizadas.....	31
3.1.6 Segurança em instalações elétricas Energizadas.....	32
3.1.7 Responsabilidade os trabalhadores nos serviços em eletricidade.....	32
3.2 NBR-5410.....	32
3.2.1 NBR-5410 se aplica.....	33
3.2.2 NBR-5410 não se aplica.....	33
3.2.3 Importância do cumprimento da Norma.....	34
4. INVERSORES DE FREQUÊNCIA.....	35

4.1 Blocos componentes do Inversor de Frequência	35
4.1.1 Unidade Central de Processamento (CPU).....	36
4.1.2 Interface Homem/Maquina (IHM).....	36
4.1.3 Interfaces.....	36
4.1.4 Etapa de potência.....	37
4.2 Princípios básicos de funcionamento da etapa de Potência.....	37
4.3 Controle de Chaveamento.....	39
4.4 Diagramas de ligação típicos de um Inversor de Frequência.....	43
4.5 Aplicação dos Inversores de Frequência para economia de energia.....	44
4.6 Frenagem por Injeção de Corrente Contínua.....	46
4.7 Frenagem Reostática.....	46
4.8 Parâmetros do Inversor de Frequência.....	47
5. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS..	52
5.1 Utilização dos CLPs.....	52
5.2 Arquitetura dos CLPs e princípio de funcionamento.....	53
5.3 Tipos de memória.....	56
5.4 Estrutura de Memória e Capacidade.....	58
5.4.1 Definições importantes.....	58
5.5 Modo de Execução.....	59
5.6 Linguagem de Programação.....	61
5.6.1 Norma IEC 61131-3.....	61
5.6.2 Tipos de Linguagem de Programação.....	62
5.6.2.1 Linguagem Ladder (LD).....	62
5.6.3 Exemplo Resolvido.....	63
6. BIBLIOGRAFIA.....	65

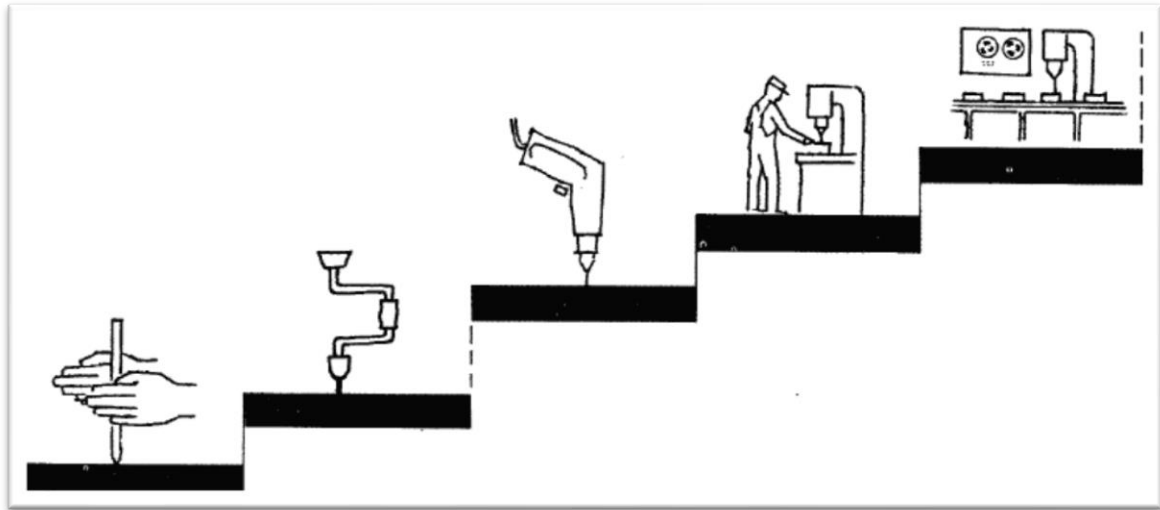
1. O QUE É AUTOMAÇÃO?

1.1 Introdução

Você já reparou que a automação faz parte do dia-a-dia do homem moderno? Pela manhã, o rádio relógio automaticamente dispara o alarme para acordá-lo e começa a dar as notícias do dia. Nessa mesma hora, alguém esquentar o pão para o café da manhã numa torradeira elétrica, ajustando tempo de aquecimento. Na sala, uma criança liga o aparelho de DVD, que havia sido programado para gravar seu programa infantil predileto da semana anterior. Quando a casa esquentar pela incidência dos raios solares, o ar condicionado insufla mais ar frio, mantendo a temperatura agradável. Esses simples fatos evidenciam como a automação faz parte da vida cotidiana.

1.2 Conceito

Automação é um sistema de equipamentos eletrônicos e/ou mecânicos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção do homem. Automação é diferente de mecanização. A mecanização consiste simplesmente no uso de máquinas para realizar um trabalho, substituindo assim o esforço físico do homem. Já a automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de se regularem sozinhas.



1.3 Desenvolvimentos da Automação

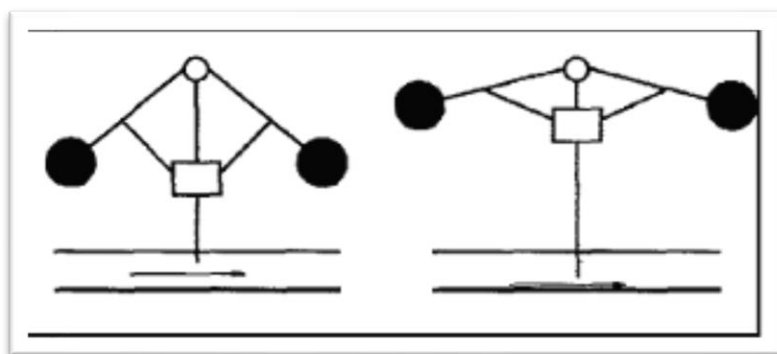
As primeiras iniciativas do homem para mecanizar atividades manuais ocorreram na pré-história com invenções como a roda. O moinho movido por vento ou força animal e as Porém, a automação só ganhou destaque na sociedade quando o sistema de produção

agrário e artesanal transformou-se em industrial, a partir da segunda metade do século XVIII, inicialmente na Inglaterra.

Os sistemas inteiramente automáticos surgiram no início do século XX, entretanto, bem antes disso foram inventados dispositivos simples e semi-automáticos. Devido à necessidade de aumentar a produção e a produtividade, surgiram uma série de inovações tecnológicas:

- Máquinas modernas, capazes de produzir com maior precisão e rapidez em relação ao trabalho feito à mão.
- Utilização de fontes alternativas de energia, como o vapor, inicialmente aplicada a máquinas em substituição às energias hidráulica e muscular.

Por volta de 1788, James Watt desenvolveu um mecanismo de regulação do fluxo do vapor em locomotivas. Isto pode ser considerado um dos primeiros sistemas de controle com realimentação e regulador e consistia num eixo vertical com dois braços próximos ao topo, tendo em cada extremidade uma bola pesada. Com isso, a máquina funcionava de modo a se regular sozinha, automaticamente, por meio de um laço de Realimentação.



A partir de 1870, também a energia elétrica passou a ser utilizada e a estimular indústrias como a do aço, a química e a de máquinas-ferramenta e o setor de transportes progrediu bastante graças à expansão das estradas de ferro e à indústria naval.

No século XX, a tecnologia da automação passou a contar com computadores, servomecanismos e controladores programáveis. Os computadores são o alicerce de toda a tecnologia da automação contemporânea. Encontramos exemplos de sua aplicação praticamente em todas as áreas do conhecimento e da atividade humana, por exemplo, ao entrarmos num banco para retirar um simples extrato somos obrigados a interagir com um computador. Passamos o cartão magnético, informamos nossa senha e em poucos segundos obtemos a movimentação bancária impressa.

A origem do computador está relacionada à necessidade de automatizar cálculos, evidenciada inicialmente no uso de ábacos pelos babilônios, entre 2000 e 3000 a.C. O marco seguinte foi à invenção da régua de cálculo e, posteriormente, da máquina

aritmética, que efetuava soma e subtração por transmissões de engrenagens. George Boole desenvolveu a álgebra booleana, que contém os princípios binários, posteriormente aplicados às operações internas de computadores.

Em 1880, Herman Hollerith criou um novo método, baseado na utilização de cartões perfurados, para automatizar algumas tarefas de tabulação do censo norte-americano. Os resultados do censo, que antes demoravam mais de dez anos para serem tabulados, foram obtidos em apenas seis semanas. O êxito intensificou o uso desta máquina que, por sua vez, norteou a criação da máquina IBM, bastante parecida com o computador.

Em 1946, foi desenvolvido o primeiro computador de grande porte, completamente eletrônico o Eniac, como foi chamado, ocupava mais de 180 m² e pesava 30 toneladas. Funcionava com válvulas e relês que consumiam 150.000 watts de potência para realizar cerca de 5.000 cálculos aritméticos por segundo: Esta invenção caracterizou o que seria a primeira geração de computadores que utilizava tecnologia de válvulas eletrônicas.

A segunda geração de computadores é marcada pelo uso de transistores (1952). Estes componentes não precisam aquecer-se para funcionar, consomem menos energia e são mais confiáveis. Seu tamanho era cem vezes menor que o de uma válvula, permitindo que os computadores ocupassem muito menos espaço.

Com o desenvolvimento tecnológico, foi possível colocar milhares de transistores numa pastilha de silício de 1 cm², o que resultou no circuito integrado (CI): Os CIs deram origem à terceira geração de computadores, com redução significativa de tamanho e aumento da capacidade de processamento.

Em 1975, surgiram os circuitos integrados em escala muito grande (VLSI): Os chamados chips constituíram a quarta geração de computadores. Foram então criados os computadores pessoais, de tamanho reduzido e baixo custo de fabricação. Para se ter idéia do nível de desenvolvimento desses computadores nos últimos quarenta anos, enquanto o Eniac fazia apenas 5 mil cálculos por segundo, um chip atual faz 50 milhões de cálculos no mesmo tempo.

Voltando a 1948, o americano John T Parsons desenvolveu um método de emprego de cartões perfurados com informações para controlar os movimentos de uma máquina-ferramenta. Demonstrado o invento, a Força Aérea patrocinou uma série de projetos de pesquisa, coordenados pelo laboratório de servomecanismos do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Poucos anos depois, o MIT desenvolveu um protótipo de uma fresadora com três eixos dotados de servomecanismos de posição. A partir desta época, fabricantes de máquinas-ferramenta começaram a desenvolver projetos particulares. Essa atividade deu origem ao comando numérico, que implementou uma forma programável de automação com processo controlado por números, letras ou símbolos. Com esse equipamento, o MIT desenvolveu uma linguagem de programação que auxilia a entrada de comandos de trajetórias de ferramentas na máquina. Trata-se da linguagem APT (do inglês, *Automatically Programmed Tools*, ou "Ferramentas Programadas Automaticamente").

Os robôs (do tcheco *robota*, que significa "escravo, trabalho forçado") substituíram a mão de obra no transporte de materiais e em atividades perigosas. O robô programável

foi projetado em 1954 pelo americano George Devol, que mais tarde fundou a fábrica de robôs Unimation. Poucos anos depois, a GM instalou robôs em sua linha de produção para soldagem de carrocerias.

Ainda nos anos 50, surge a ideia da computação gráfica interativa: forma de entrada de dados por meio de símbolos gráficos com respostas em tempo real. O MIT produziu figuras simples por meio da interface de tubo de raios catódicos (idêntico ao tubo de imagem de um televisor) com um computador. Em 1959, a GM começou a explorar a computação gráfica.

A década de 1960 foi o período mais crítico das pesquisas na área de computação gráfica interativa. Na época, o grande passo da pesquisa foi o desenvolvimento do sistema *sketchpad*, que tornou possível criar desenhos e alterações de objetos de maneira interativa, num tubo de raios catódicos.

No início dos anos 60, o termo CAD (do inglês *Computer Aided Design* ou "Projeto Auxiliado por Computador") começou a ser utilizado para indicar os sistemas gráficos orientados para projetos. Nos anos 70, as pesquisas desenvolvidas na década anterior começaram a dar frutos. Os setores governamentais e industriais passaram a reconhecer a importância da computação gráfica como forma de aumentar a produtividade.

Na década de 1980, as pesquisas visaram à integração e/ou automatização dos diversos elementos de projeto e manufatura. Com o objetivo de criar a fábrica do futuro, o foco das pesquisas foi expandir os sistemas CAD/CAM (Projeto e Manufatura Auxiliados por Computador). Desenvolveu-se também o modelamento geométrico tridimensional com mais aplicações de engenharia (CAE - Engenharia Auxiliada por Computador). Alguns exemplos dessas aplicações são a análise e simulação de mecanismos, o projeto análise de injeção de moldes e a aplicação do método dos elementos finitos.

Hoje, os conceitos de integração total do ambiente produtivo com o uso dos sistemas de comunicação de dados e novas técnicas de gerenciamento estão se disseminando rapidamente, já sendo uma realidade o CIM (Manufatura Integrada por Computador).

1.4 Tipos de Automação

Embora a automação industrial tenha sido desencadeada, fundamentalmente, pela necessidade de melhorar os níveis de produtividade, as alterações do tipo de mercado têm feito evoluir o conceito de automação. Quando o mercado era caracterizado pela abundância de produtos iguais e duradouros, em que a economia de escala dominava a cena industrial, a automação era fixa, isto é, a sequência de operações no sistema era fixada pela configuração do equipamento projetado para um determinado produto.

Embora com taxas altas de produtividade, essas alterações exigiam operações complexas, demoradas e dispendiosas. Com o aparecimento de um mercado caracterizado pela diversidade de produtos com vida útil reduzida, o sistema produtivo, para dar resposta, teve de se flexibilizar, sem, contudo pôr em causa os níveis médios de produtividade. Assim, a sequência de operações passa a ser controlada por um programa (listagem de instruções), permitindo a flexibilização do processo automático de produção. Esta mudança provocou alterações ao nível da tecnologia utilizada nos dispositivos de controle.

A evolução tecnológica tem vindo a permitir a implementação de novos sistemas de automação que acompanham as novas concepções das linhas de produção. Podemos distinguir genericamente os seguintes tipos de automação:

- Automação fixa;
- Automação programada;
- Automação flexível.

Vamos seguidamente caracterizar de uma forma resumida cada um destes tipos de automação.

1.4.1 Automação Fixa

Este tipo de automação é caracterizado pela rigidez da configuração do equipamento. Uma vez projetada uma determinada configuração de controle, não é possível alterá-la posteriormente sem realizar um novo projeto. As operações a realizar são em geral simples e a complexidade do sistema tem, sobretudo a ver com a integração de um elevado número de operações a realizar. Os aspectos típicos da automação fixa são:

- Investimentos iniciais elevados em equipamentos específicos;
- Elevadas taxas de produção;
- Impossibilidade em geral de prever alterações nos produtos;

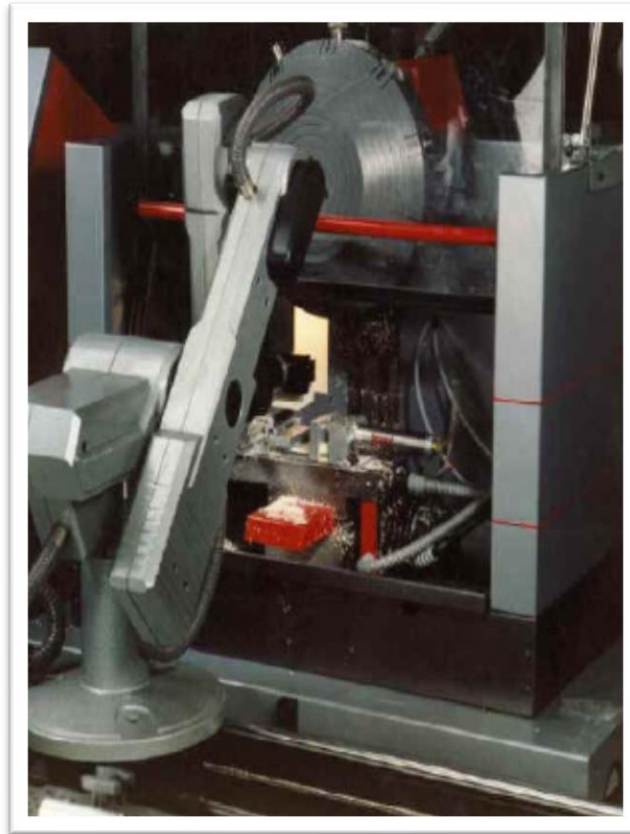
Este tipo de automação justifica-se do ponto de vista económico quando se pretende realizar uma elevada produção. Como exemplos de sistemas deste tipo, podemos citar as primeiras linhas de montagem de automóveis nos Estados Unidos. (Ex: linha de produção do Ford T, 1913).

1.4.2 Automação Programável

Neste caso, o equipamento é montado com a capacidade de se ajustar a alterações da sequência de produção quando se pretende alterar o produto final. A sequência de operações é controlada por um programa. Assim, para cada novo produto terá que ser realizado um novo programa. Os aspectos típicos da automação programável são:

- Elevado investimento em equipamento genérico,
- Taxas de produção inferiores à automação fixa,
- Flexibilidade para alterações na configuração da produção,
- Bastante apropriada para produção por lotes (“*batch processing*”).

No final da produção de um lote, o sistema é reprogramado. Os elementos físicos envolvidos como, por exemplo, ferramentas de corte e parâmetros de trabalho das máquinas ferramentas, devem ser reajustadas. O tempo despendido na produção de um lote deve incluir o tempo dedicado aos ajustamentos iniciais e o tempo de produção do lote propriamente dito. Podem-se referir como exemplos de sistemas de automação programável as máquinas de Comando Numérico (“*CNC – Computer Numeric Control*”) com início de atividade em 1952 e as primeiras aplicações de robôs industriais em 1961.



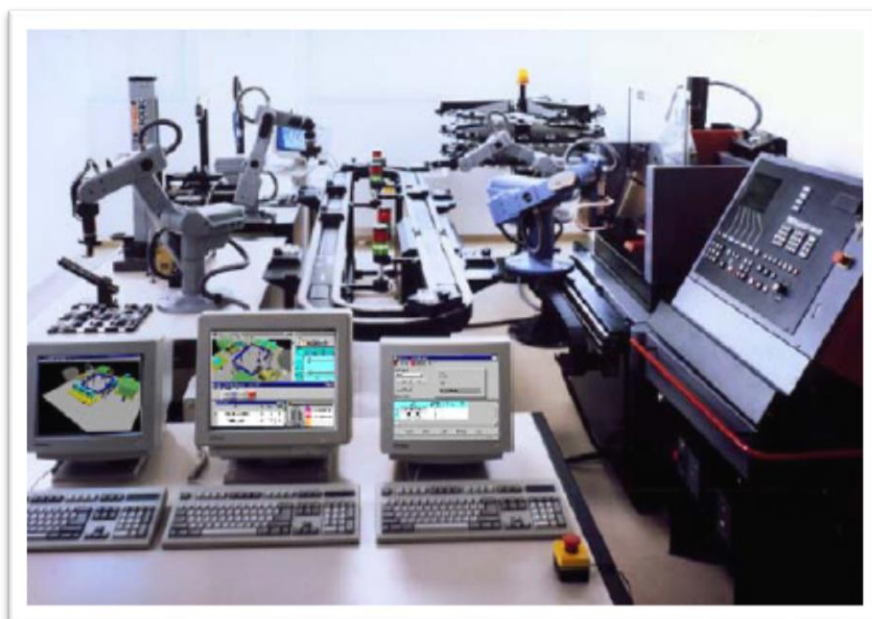
1.4.3 Automação Flexível

É uma extensão da automação programável. A definição exata desta forma de automação está ainda em evolução, pois os níveis de decisão que envolve podem neste momento incluir toda a organização geral da produção. Um sistema flexível de produção é capaz de produzir uma determinada variedade de produtos sem perda significativa de tempo de produção para ajustamentos entre tipos diferentes. Assim, o sistema pode produzir várias combinações de produtos sem necessidade de organizá-los em lotes separados. Os aspectos típicos da automação flexível são:

- Elevados investimentos no sistema global;
- Produção contínua de misturas variáveis de produtos;
- Taxas de produção média;
- Flexibilidade de ajustamento às variações no tipo dos produtos;

Os aspectos essenciais que distinguem a automação flexível da programável são:

- Capacidade de ajustamento dos programas a diferentes produtos sem perda de tempo de produção;
- Capacidade de ajustamento dos elementos físicos da produção sem perda de tempo de produção;



As alterações dos programas são feitas normalmente “*off-line*” num nível hierárquico superior, sendo transmitidas ao computador do processo via ligação em rede. A evolução previsível da automação flexível no futuro próximo será função dos desenvolvimentos que se vierem a dar nas seguintes áreas:

- Desenvolvimento de computadores cada vez mais rápidos e em comunicação com todos os sistemas envolvidos na produção, através de redes industriais (Ex: redes Ethernet, Telway, PROFIBUS, etc).
- Desenvolvimento de programas “*inteligentes*” (“*Expert Systems*”),
- Desenvolvimentos nos campos da robótica e da visão artificial,
- Desenvolvimento nos veículos guiados automaticamente (AGV’s).

1.5 Automação Residencial

É o conjunto de serviços proporcionados por sistemas tecnológicos integrados como o melhor meio de satisfazer as necessidades básicas de segurança, comunicação, gestão energética e conforto de uma habitação. Nesse contexto, costumamos achar mais adequado o termo “domótica”, largamente empregado na Europa, pois é mais abrangente. No entanto, no Brasil, optamos pela tradução literal de home automation, denominação americana mais restrita, uma vez que, conceitualmente, o termo “automação” não englobaria, por exemplo, sistemas de comunicação ou sonorização.

Uma definição bastante completa é obtida nas publicações da Asociación Española de Domótica (Cedom):

Domótica: É a automatização e o controle aplicados à residência. Esta automatização e controle se realizam mediante o uso de equipamentos que dispõem de capacidade para se comunicar interativamente entre eles e com capacidade de seguir as instruções de um programa previamente estabelecido pelo usuário da residência e com possibilidades de

alterações conforme seus interesses. Em consequência, a domótica permite maior qualidade de vida, reduz o trabalho doméstico, aumenta o bem-estar e a segurança, racionaliza o consumo de energia e, além disso, sua evolução permite oferecer continuamente novas aplicações. Como se percebe, o principal fator que define uma instalação residencial automatizada é a integração entre os sistemas aliada à capacidade de executar funções e comandos mediante instruções programáveis. A integração deve abranger todos os sistemas tecnológicos da residência, a saber:

- Instalação elétrica, que compreende: iluminação, persianas e cortinas, gestão de energia e outros;
- Sistema de segurança: alarmes de intrusão, alarmes técnicos (fumaça, vazamento de gás, inundação), circuito fechado de TV, monitoramento, controle de acesso;
- Sistemas multimídia: áudio e vídeo, som ambiente, jogos eletrônicos, além de vídeos, imagens e sons sob demanda;
- Sistemas de comunicações: telefonia e interfonia, redes domésticas, TV por assinatura;
- Utilidades: irrigação, aspiração central, climatização, aquecimento de água, bombas e outros.

A Automação da Instalação Elétrica compreende o fornecimento de controladores, comandos especiais e atuadores: softwares de controle e supervisão; relés, interfaces e temporizadores; sensores diversos, como detectores de gás e fumaça, de inundação; e outros.

Os Controles remotos universais inclui o fornecimento de controles fixos (de parede) tipo touchscreen, bem como painéis móveis. Interfaces necessárias à integração com sistemas domóticos e licenças de softwares de integração também fazem parte desse grupo, que inclui ainda modernas e cada vez mais usuais interfaces homem/máquina, como iPhones, aparelhos de telefonia celular, pocketPCs e outras. Soluções de software garantem usabilidade e confiabilidades destas aplicações.

A Gestão de energia são sistemas gerenciadores de consumo de energia: medição de consumo de água e gás e equipamentos para proteção elétrica e de geração de energias alternativas.

Os Acessórios e complementos incluem diversos itens do universo da automação residencial como:

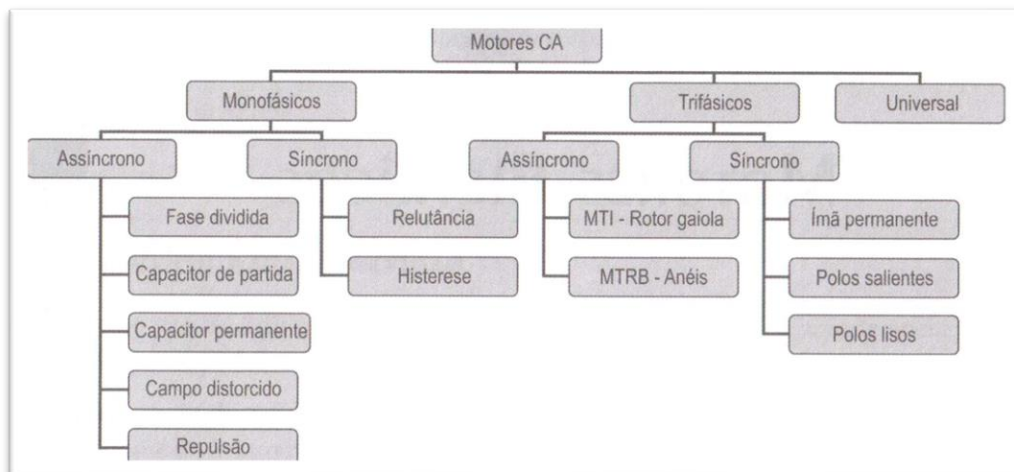
- Motorização de persianas, toldos e cortinas;
- Pisos aquecidos;
- Aspiração central a vácuo;
- Desembaçadores de espelhos;
- Irrigação automatizada;
- Fechaduras elétricas;
- Equipamentos de controle de acesso (leituras biométricas, teclados);
- Media centers;
- Ativos de rede (switches, roteadores);
- Telefonia e interfonia (convencional e IP).

2. COMANDOS ELÉTRICOS

2.1 Motores

Uma grande parte das aplicações em que um comando elétrico está envolvido destina-se ao acionamento de motores elétricos. Por isso, tão importante quanto a capacidade de raciocínio, termos de lógica de rele, é o conhecimento da gama de motores existentes e suas principais características.

Um motor é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica rotativa, para isso é conectado à rede elétrica através de um sistema de acionamento. O sistema de acionamento pode ser um comando elétrico (força e controle), uma chave de partida manual, uma chave de partida eletrônica, inversor de frequência ou uma combinação de sistemas.



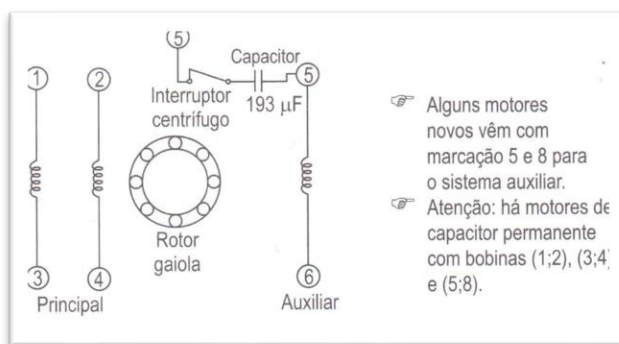
Na maior parte das aplicações na indústria, comércio e residências, são utilizados motores CA, monofásicos e trifásicos, e em especial na indústria são largamente empregados os motores de indução trifásicos ou trifásicos de indução (MIT).

2.1.1 Motor Monofásico com Capacitor de Partida

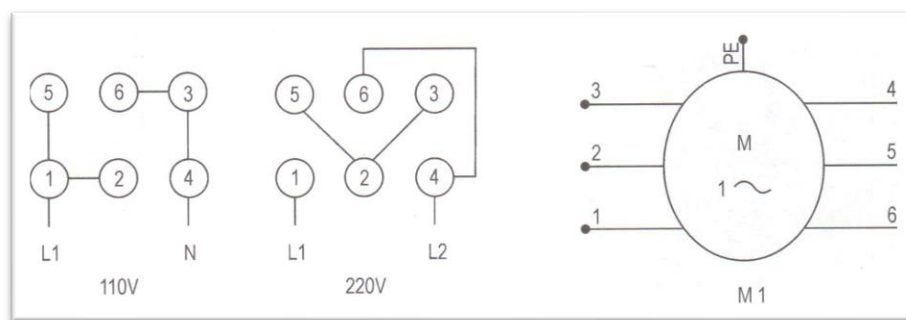
O motor monofásico com capacitor de partida pode ser encontrado em bombas-d'água, máquinas de pequenas oficinas, pequenos compressores, entre outras aplicações. A principal característica externa desse motor é o capacitor de partida preso ao estator, como visto da figura à seguir:



São os dois grupos de enrolamentos presentes no motor, sendo o enrolamento principal e o enrolamento auxiliar de partida. O motor possui também um interruptor centrífugo fechado permite a passagem de corrente para o enrolamento auxiliar através do capacitor, o que produz um bom torque inicial. Ao atingir certa velocidade, o interruptor centrífugo abre, desligando o enrolamento auxiliar. O enrolamento principal se encarrega de manter o campo girante que manterá o rotor em rotação.



Para ligar um motor monofásico à rede, devemos nos certificar de que o motor possa ser conectado ao nível de tensão da rede ou que possam ser feitas ligações no motor que o levem a atender a necessidade. No motor apresentado notam-se dois enrolamentos principais e um enrolamento auxiliar. Cada enrolamento foi construído para uma tensão, exemplificando 110V. A associação de dois enrolamentos em série permitirá ligar o motor à rede de 220V. O enrolamento auxiliar neste caso será conectado em paralelo com um dos enrolamentos em série. Para ligar em 110V, todos os enrolamentos são conectados em paralelo. Essas conexões podem ser observadas na representação a seguir:



Este tipo de representação é encontrado nas placas de motores.

Há motores monofásicos que já vêm ligados internamente, tendo apenas duas ou quatro pontas externas (diferentemente do exemplo). Quando isso acontece, normalmente não há possibilidade de mais uma tensão de alimentação ou de reversão. Devem ser observadas as ligações recomendadas na placa ou manual do motor.

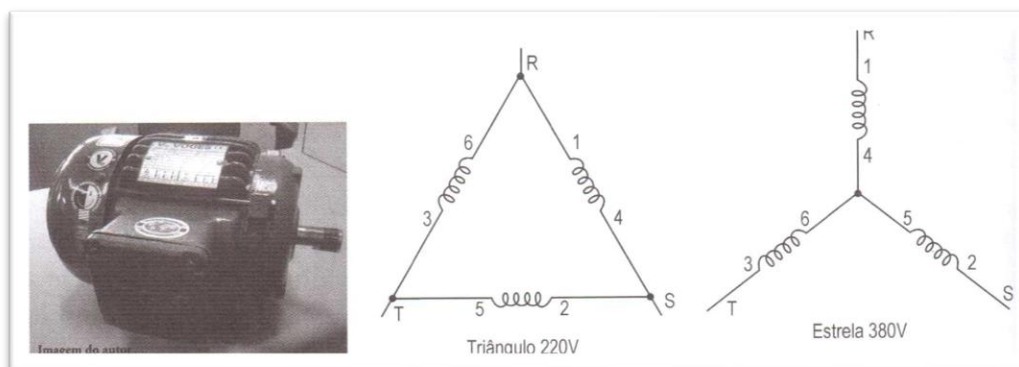
Como o enrolamento auxiliar é desligado logo que o motor atinge certa velocidade e é responsável por tirar o motor da inércia, determinando o sentido de rotação, conclui-se que para inversão de rotação do motor, é preciso inverter a ligação da bobina auxiliar, trocando o 5 pelo 6. Além disso, será necessário esperar que o motor pare ou que a velocidade do rotor seja baixa o suficiente para que o interruptor centrífugo feche novamente.

2.1.2 Motor de Indução Trifásico Assíncrono

O motor de indução trifásico assíncrono é o pilar da indústria moderna. Seja o motor trifásico de indução simples com rotor gaiola de esquilo, de duplo enrolamento, Dahlander ou rotor bobinado, o princípio de funcionamento envolve a indução no rotor pelo campo girante no estator, de correntes no rotor cujo campo tentará acompanhar o campo girante no estator.

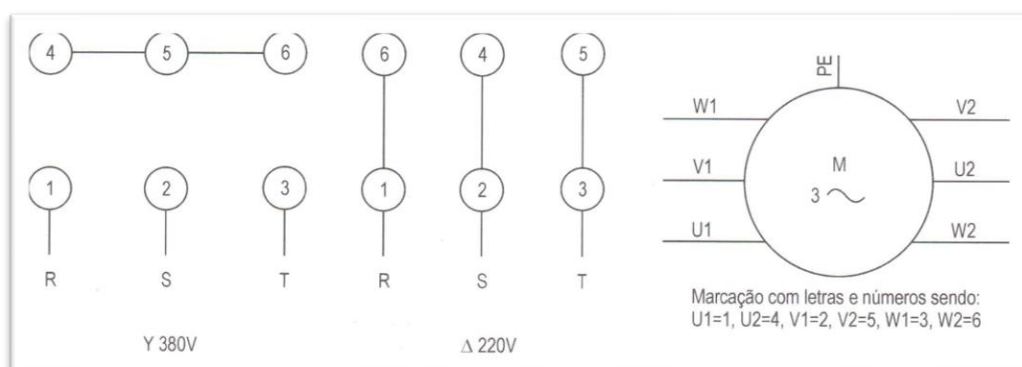
Para produzir o campo girante no estator, realizamos o fechamento do motor segundo orientação do fabricante e para atender nossa necessidade de tensão. Motores de seis e nove terminais podem ser fechados para duas tensões diferentes, motores de doze terminais podem ser fechados para quatro tensões diferentes.

A representação a seguir mostra os grupos de enrolamentos de um motor de seis terminais, numerados por fase e fechados de acordo com a tensão de rede:



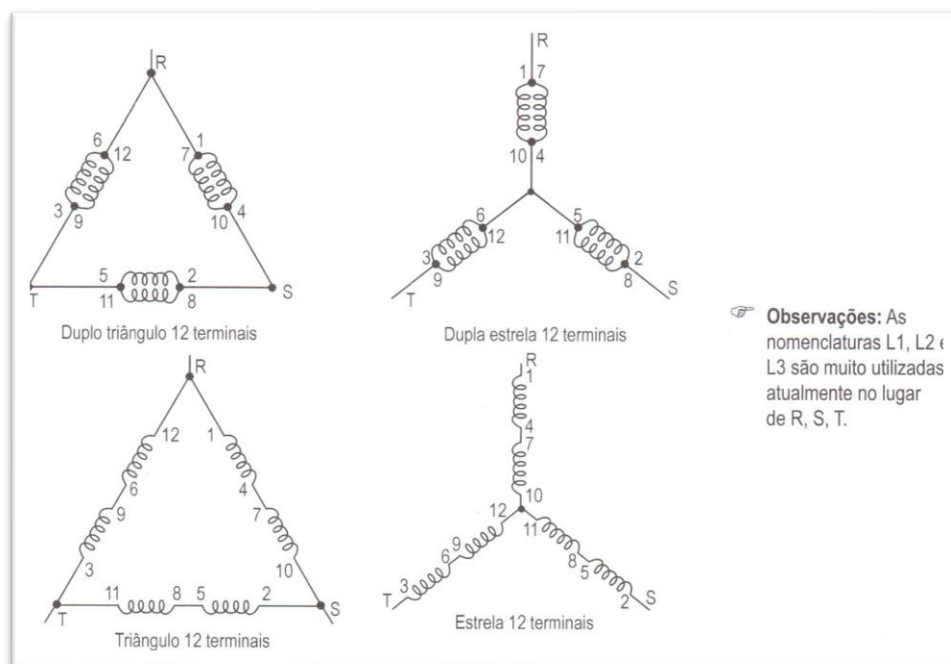
Cada grupo de bobinas por fase, no exemplo, suporta uma tensão máxima de 220V, portanto, fechando o motor em triângulo, devemos ligar o motor a uma rede com tensão máxima de 220V. Se fecharmos o motor em estrela, podemos ligar o motor a uma rede trifásica de 380V, pois ainda assim, de acordo com o fechamento, teremos 220V nos grupos de bobinas do motor ($380/\sqrt{3} = 220V$).

Nas placas dos motores encontramos as ligações no formato representado na figura à seguir, mas as tensões e ligações são as mesmas.

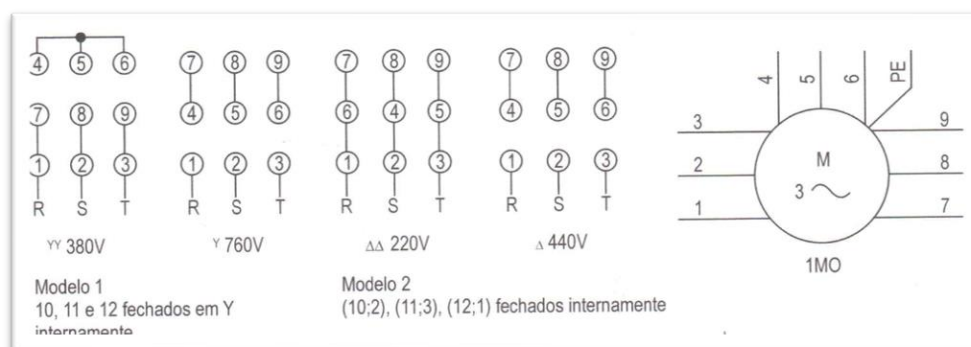


É importante também guardar a numeração aplicada às bobinas das fases: (1;4) e (7;10) para as bobinas da fase R, (2;5) e (8;11) para as bobinas da fase S, (3;6) e (9;12) para as bobinas da fase T. Esta numeração é padrão e só é substituída pelas letras U, V, W, X, Y e Z, acrescidas de numeração ou letra para a sequência.

A seguir, na figura 1.7, temos as ligações possíveis para um motor de 12 terminais. Considerando que cada bobina suporte 220V, em duplo triângulo a tensão de alimentação seria 220V, em dupla estrela 380V, em triângulo 440V e em estrela 760V.



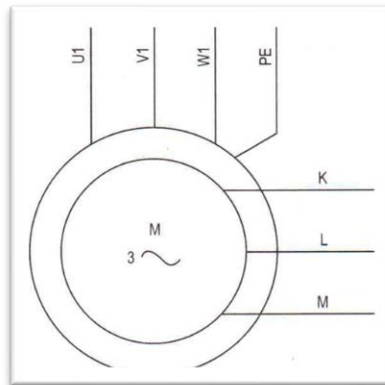
Existem ainda motores trifásicos de indução com rotor gaiola de esquilo de nove terminais projetado para situações especiais em que há necessidade de duas tensões no motor, sendo uma o dobro da outra. Podemos encontrar, por exemplo, motor YY/Y para 380/760V, e $\Delta\Delta/\Delta$ para 220/440V. Um motor de 12 pontas pode ser utilizado em substituição a um motor de nove terminais, fechando-se uma das estrelas ou um dos triângulos possíveis. Na Figura à seguir, podemos observar as ligações encontradas na placa do motor para os dois modelos:



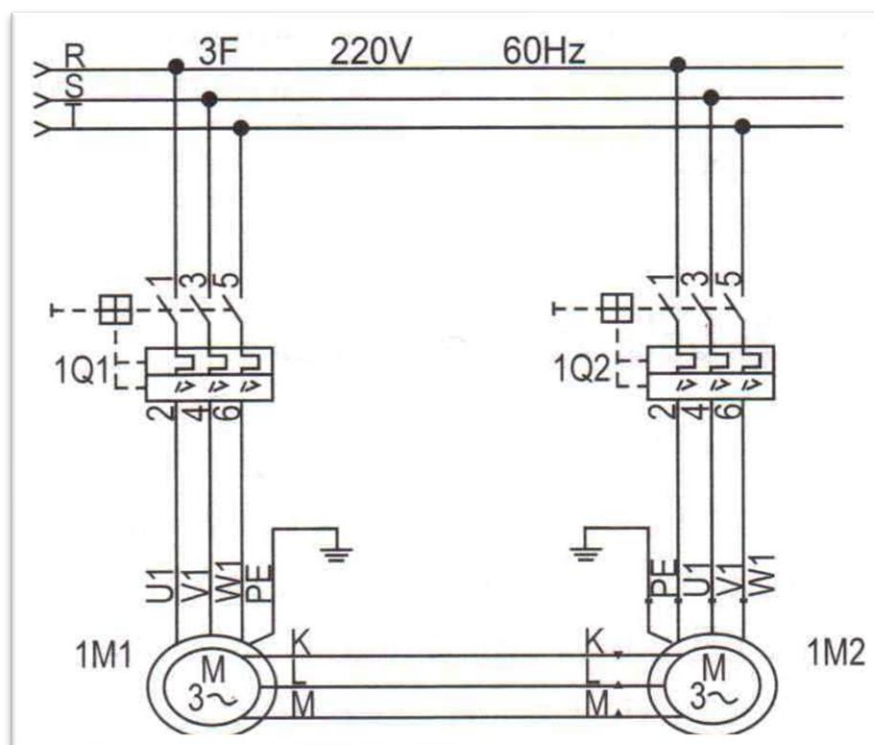
2.1.3 Motor Trifásico de Rotor Bobinado

Como o próprio nome já conduz a dedução, no motor trifásico de rotor bobinado temos um rotor com bobinas conectadas ao meio externo por um conjunto de anéis e escovas.

Ao aumentarmos a resistência do rotor com a inserção de resistências externas em série com o enrolamento do rotor, reduzimos a velocidade. Temos então a velocidade máxima com o rotor (K,L,M) fechado em estrela e velocidades menores de acordo com a resistência inserida em série com o enrolamento do rotor.



Além do tradicional sistema de aceleração rotórica, outro ensaio interessante com o motor de rotor bobinado é o teste de interação eletromagnética ou conversão eletromecânica de energia entre dois motores.



Quando corretamente executada, ao ligar os dois disjuntores motores, os dois motores ficarão parados e qualquer movimento aplicado ao eixo do motor 1 será reproduzido no eixo do motor 2.

2.1.4 Tabela de Motores

Dados de motores podem ser obtidos através das tabelas fornecidas pelos fabricantes. A partir da potência em cv ou kW pode-se obter características elétricas e mecânicas do motor como conjugado, I nominal, rendimento e Cosφ para alguns fatores de carga, entre outros. Na tabela apresentada em seguida temos motores trifásicos de quatro pólos e monofásicos de dois pólos nas potências comerciais oferecidas por determinado fabricante.

Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado I_r/I_n	Conjugado nominal C (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado C_r/C_n	Conjugado máximo C_{max}/C_n	Rendimento n°			Fator de potência $\cos\phi$			Fator de serviço FS	Momento de inércia J (kgm²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s) a quente	Nível médio de pressão sonora dB (A)	Peso aprox. (kg)
cv	kW								% da potência nominal										
									50	75	100	50	75	100					
4 polos - 60Hz																			
0,16	0,12	63	1720	0,89	4,5	0,07	3,2	3,4	45,0	52,0	57,0	0,46	0,55	0,62	1,15	0,00045	31	48	7
0,25	0,18	63	1710	1,14	4,5	0,10	2,8	3,0	53,0	60,0	64,0	0,47	0,57	0,65	1,15	0,00056	18	48	8
0,33	0,25	63	1710	1,44	4,5	0,14	2,9	2,9	59,0	64,0	67,0	0,48	0,59	0,68	1,15	0,00067	20	48	8
0,50	0,37	71	1720	2,07	5,0	0,21	2,7	3,0	56,0	64,0	68,0	0,48	0,59	0,69	1,15	0,00079	10	47	10
0,75	0,55	71	1705	2,90	5,5	0,31	3,0	3,2	62,0	69,0	71,0	0,49	0,60	0,70	1,15	0,00096	10	47	12
1,0	0,75	80	1720	3,02	7,2	0,42	2,5	2,9	72,0	77,5	79,5	0,62	0,74	0,82	1,15	0,00294	8	48	15
1,5	1,1	80	1720	4,43	7,8	0,62	2,9	3,2	72,0	77,0	79,5	0,60	0,73	0,82	1,15	0,00328	5	48	17
2,0	1,5	90S	1740	6,12	6,4	0,84	2,5	3,0	77,0	81,0	82,5	0,60	0,72	0,78	1,15	0,00560	7	51	22
3,0	2,2	90L	1730	8,70	6,8	1,24	2,6	2,8	79,0	82,0	83,0	0,64	0,75	0,80	1,15	0,00672	6	51	23
4,0	3,0	100L	1725	11,9	7,8	1,69	2,5	2,8	80,0	81,0	83,0	0,61	0,73	0,80	1,15	0,00918	6	54	35
5,0	3,7	100L	1715	14,0	7,6	2,10	2,9	3,1	82,5	84,3	85,5	0,63	0,75	0,81	1,15	0,00995	7	54	35
6,0	4,5	112M	1720	16,4	8,0	2,55	2,6	2,8	83,0	84,0	85,5	0,66	0,77	0,84	1,15	0,01741	7	58	45
7,5	5,5	112M	1740	20,0	7,0	3,08	2,2	2,8	86,6	87,5	88,0	0,63	0,74	0,82	1,15	0,01741	11	58	46
10	7,5	132S	1760	26,6	8,0	4,15	2,2	3,0	86,0	88,0	89,0	0,66	0,77	0,83	1,15	0,04652	5	61	62
12,5	9,2	132M	1755	33,3	8,7	5,11	2,5	2,9	86,3	87,8	88,5	0,62	0,73	0,82	1,15	0,05427	4	61	72
15	11	132M	1755	39,3	8,3	6,10	2,3	2,8	86,8	88,2	88,5	0,68	0,80	0,83	1,15	0,05815	4	61	73
20	15	160M	1760	52,6	6,3	8,30	2,3	2,2	88,0	89,3	90,2	0,69	0,79	0,83	1,15	0,09535	10	66	110
25	18,5	160L	1760	64,3	6,5	10,2	2,3	2,4	89,0	90,0	91,0	0,70	0,79	0,83	1,15	0,11542	8	66	125
30	22	180M	1765	75,5	7,5	12,1	2,8	2,8	89,3	90,0	91,0	0,70	0,80	0,84	1,15	0,16145	9	68	160
40	30	200M	1770	101	6,6	16,5	2,3	2,5	89,5	90,5	91,7	0,72	0,82	0,85	1,15	0,27579	14	71	209
50	37	200L	1770	122	6,6	20,4	2,3	2,3	90,2	91,5	92,4	0,75	0,83	0,86	1,15	0,33095	12	71	232
60	45	225S/M	1775	146	7,2	24,7	2,3	2,7	91,0	92,2	93,0	0,75	0,84	0,87	1,00	0,69987	20	75	415
75	55	225S/M	1770	176	7,4	30,3	2,2	2,7	90,3	92,0	93,0	0,76	0,84	0,88	1,00	0,80485	15	75	415
100	75	250S/M	1775	243	8,8	41,2	3,2	3,2	91,5	92,5	93,2	0,74	0,83	0,87	1,15	1,15478	11	75	520
125	90	280S/M	1780	295	7,3	49,2	2,2	2,5	90,0	92,0	93,2	0,76	0,84	0,86	1,00	1,84681	19	80	710
150	110	280S/M	1780	355	8,3	60,2	2,6	2,7	90,0	92,3	93,5	0,78	0,84	0,87	1,00	2,56947	20	80	800
175	132	315S/M	1780	433	7,5	72,2	2,5	2,5	91,0	93,0	94,1	0,80	0,83	0,85	1,00	2,81036	14	80	880
200	150	315S/M	1780	484	7,5	82,1	2,4	2,6	90,5	93,0	94,5	0,75	0,83	0,86	1,00	3,21184	19	80	950
250	185	315S/M	1785	597	8,3	101	2,8	2,8	91,0	93,0	94,5	0,78	0,84	0,86	1,00	3,77391	22	80	1010
250	185	355M/L	1785	584	6,8	101	1,9	2,2	92,2	93,8	94,5	0,78	0,85	0,88	1,00	5,59247	48	83	1283
300	220	355M/L	1790	691	7,0	120	2,2	2,3	93,0	94,5	95,0	0,79	0,85	0,88	1,00	6,33813	48	83	1349
350	260	355M/L	1790	815	7,3	141	2,3	2,4	92,9	94,6	95,1	0,77	0,85	0,88	1,00	7,45663	32	83	1525
400	300	355M/L	1790	939	6,6	163	2,1	2,1	93,3	94,7	95,3	0,81	0,86	0,88	1,00	9,32079	37	83	1710
450	330	355M/L	1790	1030	7,1	180	2,1	2,1	93,8	94,8	95,4	0,77	0,85	0,88	1,00	10,25290	39	83	1810
500	370	355M/L	1790	1160	6,6	201	2,1	2,2	93,9	95,0	95,4	0,79	0,85	0,88	1,00	11,18500	31	83	1900
2 polos - 60Hz monofásicos																			
1/8	0,09	B48	3500	1,50	5,5	0,02	3,5	3,5	30,0	35,6	42,0	0,60	0,66	0,72	1,40	0,0005	6	50	6,7
1/6	0,12	B48	3485	1,60	5,0	0,03	3,1	3,2	39,0	42,0	45,0	0,65	0,68	0,74	1,40	0,0005	6	50	7,0
1/4	0,18	56	3410	2,00	5,5	0,05	3,5	3,5	42,0	48,0	54,6	0,62	0,71	0,77	1,75	0,0006	6	50	8,0
1/3	0,25	C56	3480	3,00	5,5	0,07	3,4	3,0	48,0	53,0	55,7	0,51	0,62	0,66	1,75	0,0008	6	50	9,0
1/2	0,37	C56	3465	3,55	6,0	0,10	3,5	3,0	48,0	54,0	60,3	0,56	0,64	0,78	1,60	0,0010	6	50	10,0
3/4	0,55	B56	3535	5,75	5,9	0,15	3,0	3,0	47,0	54,0	59,0	0,61	0,68	0,74	1,50	0,0015	6	50	13,0
1,0	0,75	D56	3520	7,30	7,0	0,21	3,0	3,0	53,0	58,0	63,5	0,52	0,63	0,72	1,40	0,0018	6	50	15,0
1 1/2	1,1	D56	3500	9,40	6,6	0,31	2,7	2,6	59,0	64,0	68,3	0,63	0,71	0,78	1,30	0,0022	6	50	16,0
2,0	1,5	F56H	3510	11,50	8,0	0,42	2,6	2,5	63,5	69,0	74,8	0,61	0,72	0,75	1,20	0,0091	6	55	20,0
3,0	2,2	G56H	3470	15,70	7,0	0,62	2,3	2,8	70,0	73,0	75,0	0,69	0,80	0,85	1,15	0,0031	6	55	22,0

Para utilizar a tabela, basta escolher o motor, por exemplo, 2 cv – 1,5 kW, e verificar os dados na linha. Para o exemplo temos RPM = 1740, $I_n = 6,12A$, rendimento e fator de potência a 100% da potência disponível, respectivamente, 82,5% e 0,78. Estes são alguns dados disponíveis na linha.

2.1.5 Cálculo da Corrente Nominal de Motores

Podemos calcular a corrente nominal dos motores monofásicos e trifásicos utilizando equações e alguns dados da tabela. Para monofásicos e trifásicos, respectivamente, temos:

$$I_n = \frac{cv \times 736}{V \times \cos \varphi \times \eta}$$

$$I_n = \frac{cv \times 736}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi \times \eta}$$

Se não há como obter dados da tabela como fator de potência $\cos \varphi$ e rendimento η , basta adotar esses dois valores entre 0,6 e 0,9 proporcionalmente à potência do motor (observe na tabela a variação desses valores com relação à potência). Exemplificando, calcularemos o I_n de um motor trifásico de 7,5 cv na tabela e os valores de $\cos \varphi$ e η para 100% com os adotados. Os valores adotados são próximos e o I_n é praticamente igual. Para motores menores adote valores menores; valores acima de 0,85.

2.1.6 Relação entre Número de Polos e Velocidade

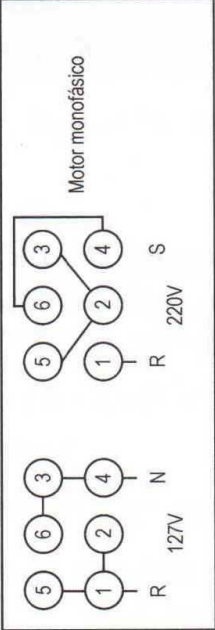
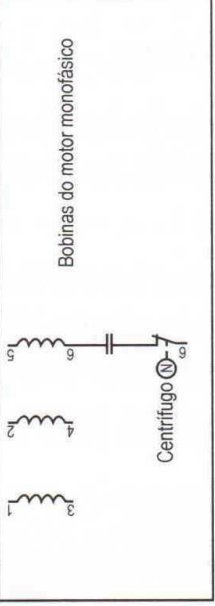
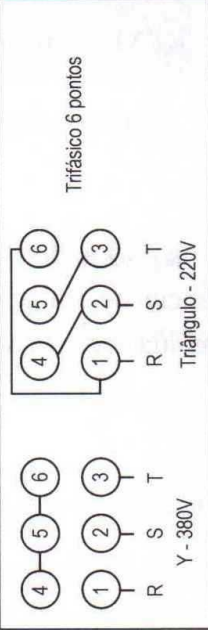
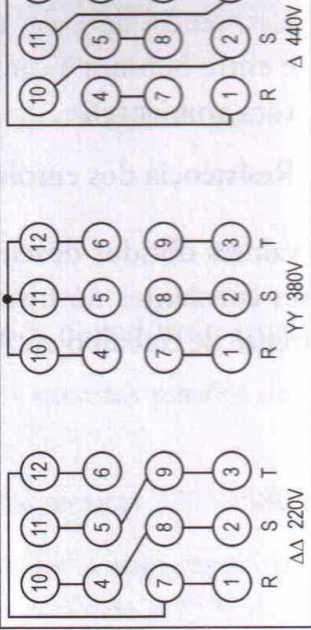
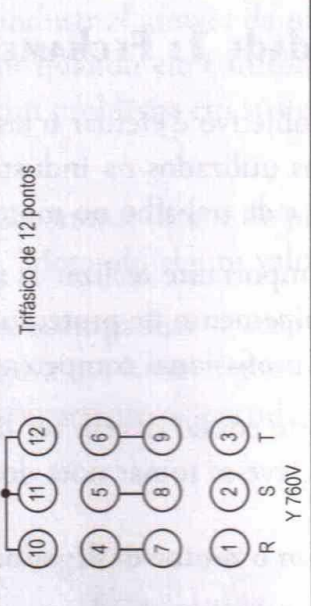
A partir do número de pólos do motor podemos calcular a velocidade do campo girante ou velocidade síncrona do motor:

$$N_s = \frac{120 \times f}{n_p} \quad f - \text{frequência em Hz; } n_p - \text{número de polos}$$

Para um motor de quatro pólos temos uma $N_s = 1800$ RPM. Na ponta do eixo temos uma velocidade menor com relação à velocidade síncrona, conforme aplicamos carga. A diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade final em porcentagem é denominada escorregamento.

$$s\% = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad N_r - \text{velocidade no rotor}$$

Um motor de quatro pólos com escorregamento de 10% possui uma velocidade final de 1620 RPM.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Atividade 1 - Quadro de Fechamento de Motores									
 Motor monofásico			 Bobinas do motor monofásico Centrífugo			Numeração das bobinas por fase do motor trifásico Fase R: (1;4), (7;10) Fase S: (2;5), (8;11) Fase T: (3;6), (9;12) Marcação alternativa: Fase R: (U;X), (U2;X2) Fase S: (V;Y), (V2;Y2) Fase T: (W;Z), (W2;Z2)			
 Trifásico 6 pontos Y - 380V			 Trifásico 6 pontos Triângulo - 220V			Mod. 1 YY 220V Y 440V Mod. 2 ΔΔ 220V Δ 440V Trifásico 9 pontos Modelo 1 fechamento interno (10;11;12) Modelo 2 fechamento interno (1;12), (2;10), (3;11) Tensões exemplo 220V <=> 440V			
 Trifásico de 12 pontos YY 380V			 Trifásico de 12 pontos ΔΔ 220V			Trifásico de 12 pontos Y 760V Δ 440V			
Título:			Desenho:			Data:			
Aplicação:			Revisões:			Aprov:			

2.2 Dispositivos de Proteção

Todo sistema elétrico deve ter uma proteção adequada que suporte a corrente de operação do sistema, mas que em uma eventual falha proteja-o de efeitos destrutivos, como derretimento de isolamento de cabos, fusão dos próprios cabos e barramentos, incêndios etc.

Além disso, podemos acrescentar a proteção contra descargas elétricas acidentais e efeitos indesejados das descargas atmosféricas que atingem o sistema elétrico de distribuição de energia e a proteção direta de motores elétricos. Os elementos do sistema responsáveis por essa tarefa são os dispositivos de proteção.

O objetivo deste capítulo é levar ao leitor conhecimento básico a respeito do dimensionamento de dispositivos de proteção para comandos elétricos. Para se aprofundar no assunto, é preciso realizar um amplo estudo dos dispositivos oferecidos no mercado e das normas a eles relacionadas, como NBR NM 60269-2-1 (NBR 11841), NBR IEC 60947-2, e consultar o fabricante do dispositivo escolhido para o esclarecimento de dúvidas.

2.2.1 Disjuntores Termomagnéticos

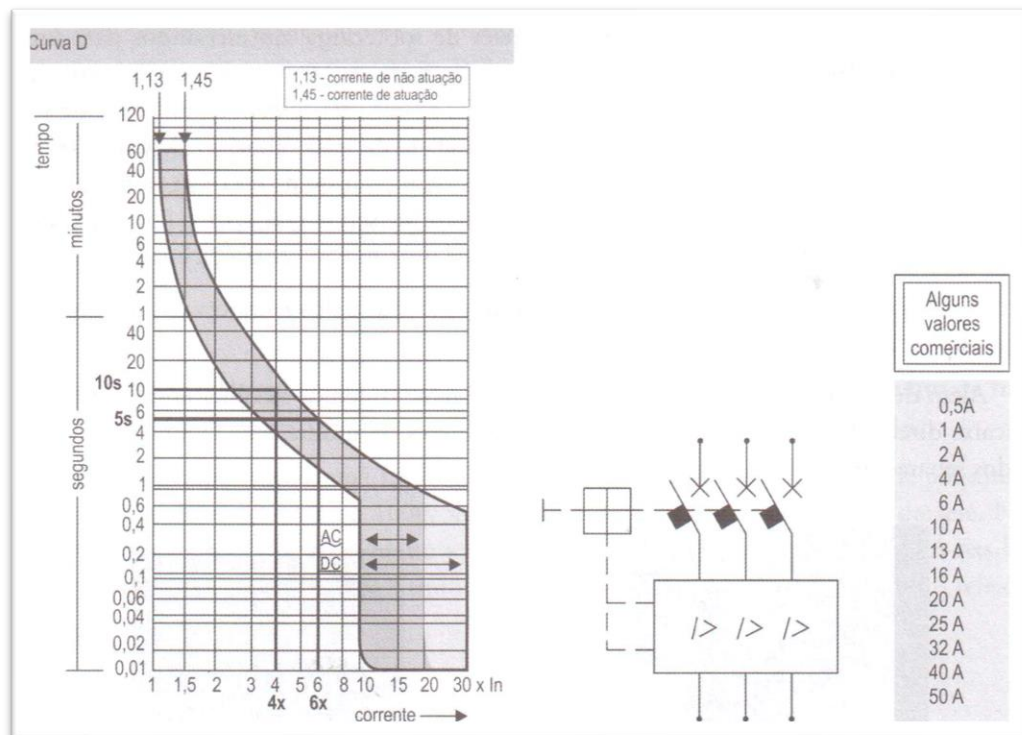
Fusíveis são baratos, mas geram descarte em eventuais trocas, além de consumir um tempo maior em manutenções, já que é necessário requisitar os novos fusíveis antes da substituição. Outro inconveniente é que, num sistema trifásico, pode ocorrer a queima de um fusível apenas, deixando o sistema em duas fases. Uma alternativa direta e eficaz é a utilização de disjuntores termomagnéticos.

Devemos ter em mente que existem categorias diferentes de disjuntores (consultar fabricantes) com diferentes curvas para essas categorias. Como estamos trabalhando com cargas indutivas, precisamos também, ao especificar o disjuntor, consultar a curva de disparo do dispositivo fornecida pelo fabricante. Como por exemplo, vamos especificar o disjuntor para o mesmo motor de 10 cv 220V, quatro pólos; temos $I_n = 26,6A$, $I_p/I_n = 8$.

Desta vez temos um procedimento diferente para utilizar a curva, na figura à seguir. É necessário saber quantas vezes a corrente de partida do motor é superior à corrente nominal do disjuntor e aplicar esse resultado no eixo x da curva. O motor escolhido tem uma I_n de 26,6 A e $I_p = 212,8A$. Vamos supor que escolhemos um disjuntor de 32A, dividindo I_p por 32A temos 6,65. Traçamos uma perpendicular próxima a $6x I_n$ e para 5s de tempo de partida estamos dentro no limite da curva superior (atuação) do disjuntor, porém 6,65x pode provocar a atuação, pois passa-se do limite da curva.

Note que tempos de partida mais longos ou correntes de partida um pouco superiores ao esperado também podem provocar disparo do disjuntor, resultando em paradas desnecessárias.

Se o ponto de interseção estivesse acima da curva, teríamos de escolher um disjuntor maior. Escolhendo um disjuntor de 50A, temos 4,25 de multiplicador; aplicado à curva podemos ter um tempo de partida de 10s e ainda continuamos abaixo da curva. Essa decisão é extremamente técnica e deve ser feita com cuidado, levando em consideração os valores máximos dos elementos de proteção para contadores e demais componentes.



Concluindo, disjuntor, assim como os fusíveis D ou H, deve suportar a corrente de partida e após a partida continuar protegendo os elementos do sistema de eventuais curtos circuitos e sobrecargas muito elevadas. Infelizmente esses dispositivos não são indicados para proteção do motor contra sobrecargas comuns. De fato, um motor pode até queimar completamente sem que o disjuntor ou fusível detecte o problema.

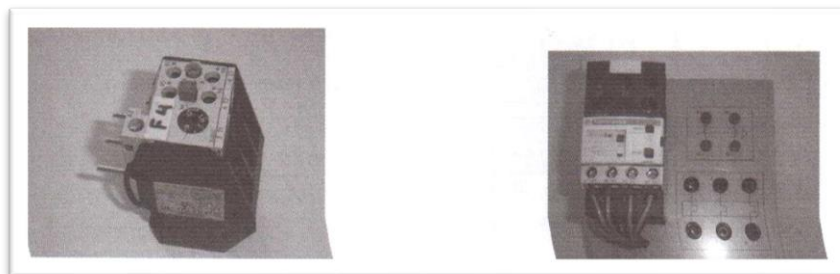
Para monitorar sobrecargas no motor ou falhas internas que provoquem elevações de corrente e aquecimento, os dispositivos mais indicados são relé bimetálico de sobrecarga (relé térmico) e os sensores térmicos inseridos nos enrolamentos dos motores (estes últimos são os mais eficientes para proteção do motor).

2.2.2 Relé Térmico de Sobrecarga

Os relés bimetálicos de sobrecarga são dispositivos de proteção cujos sensores térmicos (lâminas bimetálicas) são ligados em série com o circuito de força do motor a ser protegido. Toda corrente absorvida pelo motor passa pelas lâminas e provoca aquecimento, o qual flexiona as lâminas que tendem a disparar um mecanismo pré-ajustado. O ajuste desse mecanismo é muito importante, pois vai determinar quando o relé deve disparar.

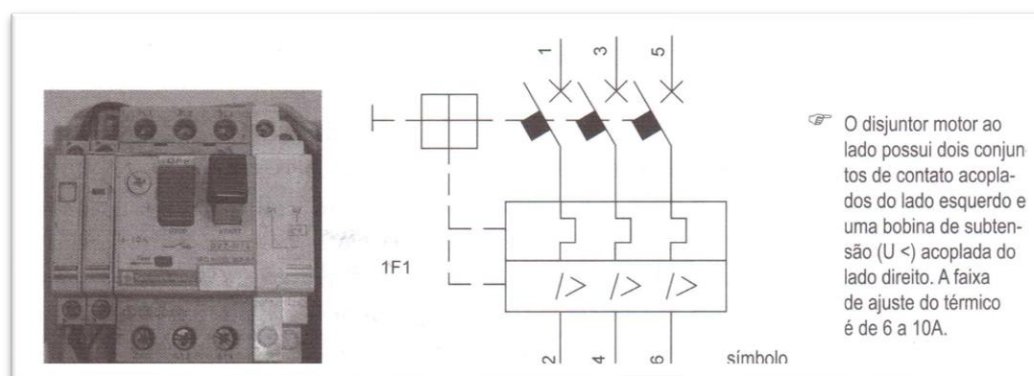
Considerando o que foi comentado, os relés de sobrecarga são escolhidos para uma faixa de ajuste. Tomando como exemplo o motor já citado de 10cv 26,6A, o relé recomendado para esse motor deve permitir o ajuste da I_n e, se necessário, com algum fator de serviço adicional. Portanto, numa consulta rápida à tabela de relés, temos o relé de 22 a 32A ou o relé de 25 a 40A. Ambos permitiriam o ajuste da corrente nominal e, se necessário o ajuste da corrente nominal com um fator de serviço de 1,15% ($26,6 \times 1,15 = 30,59A$). Será escolhido o que permite o ajuste mais próximo ao centro da escala.

Além deste aspecto técnico, temos o de montagem. Podemos escolher entre os relés de encaixe direto, acoplados ao contator, e os de montagem, montados separadamente.



2.2.3 Disjuntor Motor

Talvez o dispositivo de proteção mais utilizado em novos projetos seja o disjuntor motor. Ele reúne as funcionalidades de disjuntor/fusível e do relé térmico de sobrecarga. Fica claro que a instalação de um disjuntor motor elimina a necessidade de relé térmico de sobrecarga e dos fusíveis para o circuito de força. Além disso, algumas funcionalidades podem ser acrescentadas ao disjuntor motor com a instalação de acessórios como bobina de subtensão, por exemplo, (desarma o disjuntor se a tensão estiver a níveis abaixo do especificado).



A escolha do disjuntor motor se assemelha à escolha do relé térmico de sobrecarga, bastando escolher um disjuntor motor que permita o ajuste da corrente nominal ou de trabalho do motor, ou que suporte o acionamento do motor. Podemos também verificar a proteção dele com relação à corrente de curto-circuito através da curva.

2.2.4 Protetores Térmicos

Mesmo não sendo um dispositivo de proteção comum, podem vir instalados entre as bobinas do enrolamento do motor, podendo ser acompanhados de indicadores e/ou controladores de temperatura, ou relés microprocessados, ou simplesmente estar ligado ao circuito de comando e abri-lo em uma eventual elevação da temperatura interna do motor. Esse tipo de proteção deve ser comentado, já que é o mais efetivo na proteção do motor e grandes motores geralmente fazem uso dele. A Tabela à seguir mostra alguns sistemas de proteção térmica e formas de utilização.

	Termorresistor (Pt-100)	Termistor (PTC e NTC)	Termostato	Protetor térmico
Mecanismo de proteção	Resistência calibrada	Resistor de avalanche	- Contatos móveis - Bimetálicos	Contatos móveis
Disposição	Cabeça de bobina	Cabeça de bobina	- Inserido no circuito - Cabeça de bobina	Inserido no circuito
Forma de atuação	Comando externo de atuação na proteção	Comando externo de atuação na proteção	- Atuação direta - Comando externo de atuação da proteção	Atuação direta
Limitação de corrente	Corrente de comando	Corrente de comando	- Corrente do motor - Corrente do comando	Corrente do motor
Tipo de sensibilidade	Temperatura	Temperatura	Corrente e temperatura	Corrente e temperatura
Número de unidades por motor	3 ou 6	3 ou 6	- 3 ou 6 - 1 ou 3	1
Tipos de comando	Alarme e/ou desligamento	Alarme e/ou desligamento	- Desligamento - Alarme e/ou desligamento	Desligamento

☞ A proteção térmica é a mais eficaz para o motor por dois motivos: está em contato direto com o enrolamento e em alguns defeitos o aquecimento do motor pode não ser percebido por relés térmicos de sobrecarga (má ventilação, defeitos no rotor etc.).

Informações precisas sobre novos produtos neste segmento e possibilidade de instalação de protetores térmico no motor devem ser obtidas com fabricantes de motores e seus representantes.

2.3 Dispositivos de Comando e Sinalização

Estudamos até agora os motores elétricos, dispositivos de proteção, portanto estamos familiarizados com a partida de motores ligados à rede. Iniciaremos então o estudo de componentes utilizados em uma forma mais segura de comando e acionamento, definida como comando elétrico ou força e controle.

Em comandos elétricos o operador não entra em contato com o sistema de manobra (circuito de força), que leva as fases até o motor. Ele comanda o circuito de força a partir de um circuito de comando (controle). Para comandar o circuito de comando, ele utiliza botões pulsadores ou chaves comutadoras e para visualizar o funcionamento, são observados sinalizadores instalados na porta do painel ou em locais estratégicos.

2.3.1 Botão de Comando e Comutadores

Botão de comando é um dispositivo de comando com contatos abertos e fechados utilizados para abrir ou fechar circuitos. Como a própria denominação sugere, esse dispositivo atua ao ser pressionado. Contatos fechados abrem e abertos fecham, e seus contatos voltam à posição normal ao liberarmos o botão nos botões de pulso.

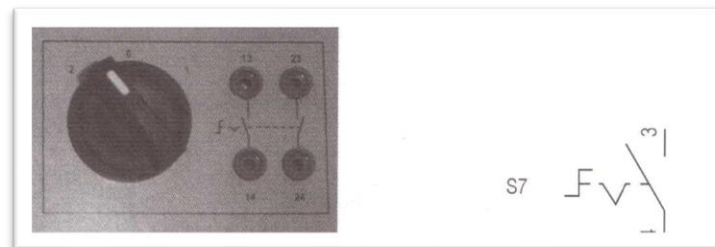
Nos botões com trava é necessário liberar o botão manualmente, destravando-o, para que os contatos voltem à posição normal. Alguns botões possuem chaves para restringir o acesso à operação do botão. Na parte traseira temos os contatos para ligação dos condutores no botão, geralmente parafusados. Blocos de contatos podem ser comprados para manutenção dos botões.



A cor do botão de comando normalmente está associada à sua função. Botões de comando vermelho, por exemplo, servem para desligar ou interromper emergencialmente o funcionamento do circuito. Botões verdes são associados à função ligar ou partida. A utilização das cores depende das normas base do projeto, que podem ser DIN EM 60073, VDE 0199 e IEC 73. A tabela à seguir mostra algumas funções associadas a cores de botões.

Cor	Significado	Exemplo de aplicação
Vermelha	Emergência	Desligar, parada de emergência, desativar, interromper...
Amarela	Intervenção	Rearmar ciclo automático, retrocesso
Verde	Partir, ligar	Partida de sistema em geral, energização
Azul	Funções auxiliares	Reset, reset de térmicos
Branca	Funções auxiliares	Ligar sistemas auxiliares
Preta	Uso geral, exceto emergência	Partida de sistema em geral (secundários), energização
Cinza	Uso geral, exceto emergência	Funções auxiliares

Além dos botões de comando, são utilizadas em comandos elétricos chaves comutadoras ou, simplesmente, comutadores. Os comutadores abrem e fecham circuitos elétricos, porém, diferentemente dos botões pulsadores, mantêm a mesma posição desligado (0), a posição (1) (pronto para partir, PPP) e a posição Start, que é o pulsador da chave.



É importante salientar que botões de comando e comutadores são dispositivos de baixa corrente, portanto não entram em contato em contato direto com a corrente da carga manobra. Isso está ligado ao princípio da força e controle. Os botões e comutadores são dispositivos de controle e não devem ser utilizados como dispositivos de força. Em outras palavras, botões e comutadores não cortam nem energizam o motor. Eles comandam outros elementos do sistema para que executem essa função.

Em sistemas precários e de baixíssimo custo empregam-se chaves para comutação direta de cargas individuais, por exemplo, sistema de controle de nível de caixa-d'água, em que chaves de bóia comandam diretamente motores monofásicos. Ainda que esses

sistemas funcionem perfeitamente, não são os mais seguros para o motor nem para a instalação elétrica.

O motor é ligado e desligado diretamente pela chave de bóia e não há proteção contra sobrecarga de curta duração associada diretamente ao motor, ficando o circuito e o motor dependentes da proteção de um único disjuntor. O ideal seria um sistema de controle e outro de força (força e controle), sendo o sistema de controle com baixa corrente e o sistema de força com sistema de proteção contra sobrecarga, ligando e desligando o motor. O disjuntor ou disjuntores protegeriam o sistema dos efeitos de eventuais faltas (curto-circuito).

2.3.2 Sinalizadores

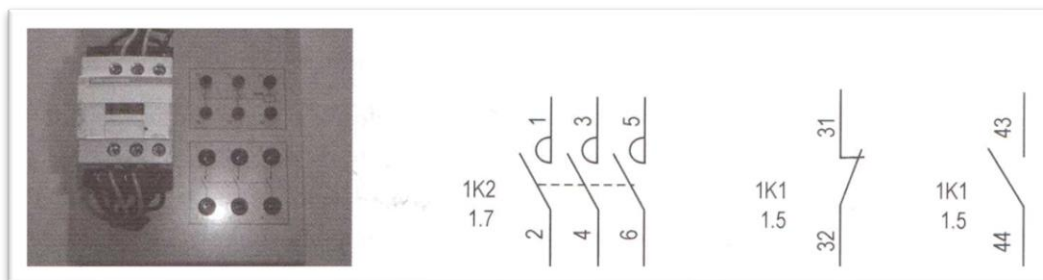
A sinalização é importante em diferentes ramos de atividade e ainda mais em sistemas elétricos. É necessário sinalizar quando uma máquina está em operação, um sistema de painéis está energizado ou quando ocorreu uma parada inesperada no equipamento/sistema. Para sinalização utilizamos indicadores luminosos de cores diferentes, Figura 4.6, que, assim como nos botões, indicam certa situação.

Cor	Significado	Exemplo de aplicação
Vermelha	Emergência, Condições perigosas	Operações críticas, condição de atenção, alarme
Amarela	Condição anormal	Valores críticos, desarme
Verde	Normal	Pronto para partir, painel em condições de operação
Azul	Outras funções	Função diversas de preparação
Branca	Outra funções	Função diversas, máquinas em movimentos, sistema energizado.

Novamente a referência completa pode ser encontrada nas normas já citadas. É importante saber que em muitos sistemas já instalados a sinalização vermelha se refere a máquinas em operação, a verde pronto para partir e a amarela condição anormal ou desarme. É preciso sempre estar informado e consciente da sinalização e normas vigentes na área em que vamos atuar para evitar falhas humanas.

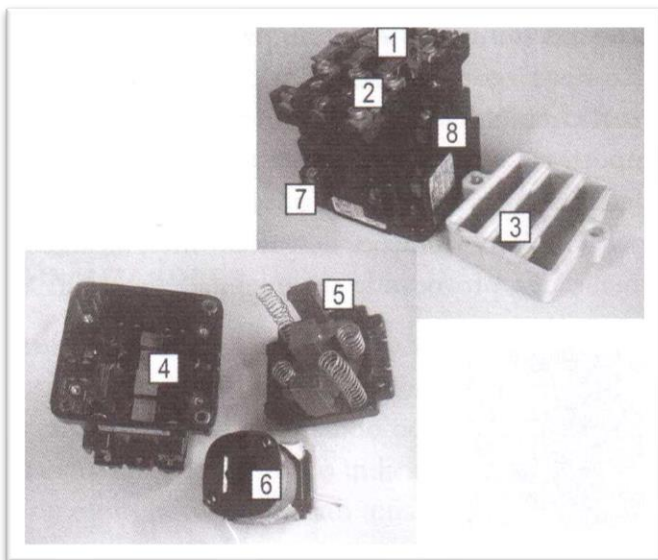
2.3.3 Contadores e Relés

Talvez o dispositivo de comando mais importante num sistema de força e controle seja o contador. Ele é responsável pela manobra do motor, devendo suportar a corrente de carga e suas características, portanto deve ser dimensionado segundo a carga.



Um contador, de maneira simples, é um eletroímã em um invólucro que, quando energizada, atrai um conjunto mecânico no qual está presa uma série de contadores elétricos, sendo normalmente três contatos abertos de força e outros abertos e/ou fechados, utilizados na lógica do comando.

⇒ Nota: Em um conjunto de contatos, primeiro os fechados abrem e depois os abertos fecham. É importante quadrar este detalhe para aplicar no estudo e desenvolvimento de circuitos de comando.



1. Contatos móveis de força
2. Contatos fixos
3. Câmara de extinção de arco
4. Partes móveis do núcleo
5. Parte fixa do núcleo
6. Bobina
7. Parafusos externos da bobina
8. Bloco de contatos auxiliares

Contato de força e de controle do contador tem símbolos diferentes, como pode ser observado. Nos símbolos temos um exemplo de numeração dos contatos de forças e dos contatos de controle. Em um contador real, a numeração dos contatos de força é feita por letras de identificação das fases associadas e esses números, facilitando a identificação (1/L1, 3/L2, 5/L3, 2T1, 4T2, 6T3).

Existem também os contatos chamados de auxiliares que não possuem contatos de força, apenas contatos de controle para o circuito de comando.

O custo de um contador varia segundo a carga adicionada e a quantidade de contatos auxiliares desejada. Quanto maior a potência da carga, mais caro o contador, pois ele deve ser mais robusto, com contatos de força adequada. O tipo de carga adicionada também interfere no valor do contador. A carga que um contador pode operar é definida pela categoria em que ele está inserido.

Algumas categorias de emprego em AC e DC podem ser observadas na tabela a seguir:

Categoria	Aplicação
AC1	Manobras leves; cargas resistivas ou pouco indutivas (aquecedores, lâmpadas incandescentes e fluorescentes compensadas).
AC2	Manobras leves; comando de motores com anéis coletores (guincho, bombas, compressores). Desligamento em regime.
AC3	Serviço normal de manobras de motor com rotor gaiola (bombas, ventiladores, compressores). Desligamento em regime.
AC4	Manobras pesadas. Acionar motores com carga plena; comando intermitente, reversão em operação e frenagem por contracorrente.
AC5a	Manobra de lâmpadas de descarga elétrica.
AC5b	Manobra de lâmpada incandescente.
AC6a	Manobra de transformadores.
AC6b	Manobra de banco de capacitores.
AC7a	Manobra de cargas domésticas pouco indutivas.
AC7b	Manobra de carga motoras domésticas.
AC8a	Controle de compressor-motor hermeticamente refrigerado com Reset manual para liberação de sobrecarga.
AC8b	Controle de compressor-motor hermeticamente refrigerado com reset automático para liberação de sobrecarga
AC12	Controle de cargas resistivas e cargas de estado sólido com isolamento através de acopladores ópticos.
AC13	Controle de cargas de estado sólido com transformadores de isolação
AC14	Controladores de pequenas cargas eletromagnéticas ($\leq 72\text{VA}$).
AC14	Controle de pequenas cargas eletromagnéticas ($\leq 72\text{VA}$).
DC1	Manobras leves; cargas resistivas ou pouco indutivas.
DC3	Motores CC com excitação independente: partindo, em operação contínua ou em chaveamento intermitente. Frenagem dinâmica de motores CC
DC5	Motores CC com excitação série: partindo, operação contínua ou em chaveamento intermitente. Frenagem dinâmica de motores CC.
DC6	Manobra de lâmpadas incandescentes.
DC12	Manobra de carga resistivas e cargas de estado sólido através de acopladores ópticos.
DC13	Manobra de eletroímãs.
DC14	Manobra de cargas eletromagnéticas que tem resistores de economia no circuito.

Para referencia completa, consulte a norma IEC60947.

Conforme explicação anterior, deve-se ter atenção à potencia da carga. Quanto maior a potencia da carga, maiores o contador e a corrente suportada. A tabela a seguir mostra parte de uma linha de contadores de um determinado fabricante.

CWM U.L US			CWM9	CWM12	CWM18	CWM25	CWM32	CWM40	CWM50	CWM65
Contadores Modulares Tripolares/Tetrapolares			CA - 10/01/11/22 CC - 10/01	CA (3 polos) - 10/01/11/22 (4 polos) 4P/2P-2R CC - 10/01	CA (3 polos) - 10/01/11/22 (4 polos) 4P/2P-2R CC - 10/01	CA (3 polos) - 00/01/11/22 (4 polos) - 4P/2P-2R CC - 10/01	CA (3 polos) - 00/01/11/22 (4 polos) - 4P/2P-2R CC - 11	CA (3 polos) - 00/01/11/22 CC - 11	CA - 00/11/22 CC - 11	CA - 00/11/22 CC - 11
Bobina em Corrente Alternada - CA 50/60Hz ou 60Hz Bobina em Corrente Contínua - CC										
AC-3 Serviço normal de manobras de motores com rotor gaiola com desligamento em regime	le máx. (Use ≤ 440V)	(A)	9	12	18	25	32	40	50	65
	220V	cv	3	4	6	7,5	12,5	15	20	25
	Potência 60Hz	cv	5	7,5	10	15	20	25	30	40
	440V	cv	6	7,5	12,5	15	20	30	40	50
AC-4 Manobras pesadas. Acionar motores com carga plena; comando intermitente, reversão a plena mar- cha e paradas por contracorrente	Man. / hora a plena carga		1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
	le máx. (Use ≤ 440V)	(A)	5	7	8	12	16	18,5	23	30
	220V	cv	1,5	2	2	4	6	6	7,5	10
	Potência 60Hz	cv	3	4	5	7,5	10	12,5	15	20
AC-1 Manobras de cargas resistivas puras ou pouco indutivas	440V	cv	3	5	6	7,5	12,5	15	15	20
	Man. / hora a plena carga		360	360	360	360	360	360	200	200
	Carga resistiva $I_e = I_n$	(A)	25	25	32	45	60	60	90	110
	220V	kW	9,5	9,5	12	17	22,5	22,5	34	42
Nº de polos?	Potência 60Hz	kW	16,5	16,5	21	29,5	39,5	39,5	59	72,5
	440V	kW	19	19	24	34	45,5	45,5	68,5	84
	Man. / hora a plena carga		1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
	3 polos	4 polos	3 polos	4 polos	3 polos	4 polos	3 polos	4 polos	3 polos	3 polos
Fusível máximo (gL/gG)	A		25	25	35	50	63	63	100	125
Cons. bobina (CA em 60Hz) "Ligar"/"Ligada"	VA		45/6	45/6	45/6		88/9	89/9	191/15,5	191/15,5
Peso CA/CC	kg		0,295/0,51	0,295/0,51	0,295/0,51	0,295/0,51	0,52/0,85	0,540/0,85	1,105/1,240	1,120/1,240
Dimensões	Largura	mm	45	45	45	45	55	55	66	66
	Altura	mm	81	81	81	81	87	87	117,5	117,5
	Profundidade CA/CC	mm	85/115	85/115	85/115	85/115	98/134	98/134	116/144	116/144

2.3.4 Fins de Curso

Os fins de curso são utilizados principalmente para detecção de posição. Para atuação de um fim de curso deve haver contato mecânico da peça a ser detectada, o que provoca desgastes mecânicos e redução da vida útil do fim de curso. Aos poucos há a tendência de sua substituição por sensores, pois estes não têm contato mecânico com o equipamento. Isso não quer dizer que um sensor dure para sempre.

Sensores têm tempo de vida útil também, mas não estão expostos, na maioria das aplicações, a esforços mecânicos. A escolha por fim de curso mecânico geralmente se deve aos custos iniciais ou a situações em que dispositivos eletrônicos não funcionem muito bem, portanto o fim de curso mecânico ainda é uma opção de detecção.



Em certas máquinas automatizadas são utilizados pequenos fins de curso fixados em caixas que possuem um eixo ligado à rotação da máquina; a esse eixo estão presos discos ajustáveis que acionam os fins de curso conforme ajuste. Essas caixas recebem o nome de caixas de “cames” ou sistemas de “cames”, e a posição dos “cames” aciona os micros fins de curso que comandam outros dispositivos elétricos, como solenóides, relés etc. As caixas de “cames” podem utilizar sensores indutivos em substituição aos fins de curso.

3. NORMAS DE SEGURANÇA EM ELETRICIDADE

3.1 NR10

A NR10 (norma regulamentadora 10) que tem como título, SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE, é uma norma que tem como caráter regulamentar todos os serviços que envolvam eletricidade e seus riscos, além de garantir a saúde e segurança dos que estejam envolvidos direta e indiretamente nestas atividades e serviços.

Sua primeira publicação é datada no ano 1978, e sua última atualização começou a surgir por volta dos anos de 1990, tendo sido finalizada e publicada pelo ministério do trabalho no ano de 2004. Com modificações profundas nas questões de documentação e normatização dos serviços, seu texto de 2004, ficou popularmente conhecido entre os eletricitistas e profissionais da área de elétrica com sendo A NOVA NR10. Seu maior destaque é que esta versão oficializou que todas as instalações elétricas devem atender a quesitos e as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), e caso as empresas e instalações não se enquadrem nas normas as mesmas serão penalizadas.

Para os profissionais que se envolvam diretamente nas atividades de instalação, manutenção e operação de máquinas e instalações elétricas as mudanças proporcionadas pela NR10 vieram a reduzir drasticamente e positivamente os índices de acidentes que envolvem eletricidade. Entre as principais mudanças se destacam a obrigatoriedade de todos os profissionais que se envolvam com as atividades elétricas passarem por um treinamento de 40h (para o curso básico), em que será apresentada a norma e suas características, e que no mínimo a cada dois anos esses mesmos profissionais terão de passar por uma reciclagem deste mesmo treinamento. Essa obrigatoriedade torna cíclico o processo de conscientização dos riscos da eletricidade para estes profissionais.

3.1.1 Fases que se aplica a NR 10

A NR se aplica às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades, observando-se as normas técnicas oficiais estabelecidas pelos órgãos competentes e, na ausência ou omissão destas, as normas internacionais cabíveis.

3.1.2 Prontuário de Instalações Elétricas

Os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW devem constituir e manter o Prontuário de Instalações Elétricas, contendo, além do disposto no subitem 10.2.3, no mínimo:

- Conjunto de procedimentos e instruções técnicas e administrativas de segurança e saúde, implantadas e relacionadas à NR 10 e descrição das medidas de controle existentes;
- Documentação das inspeções e medições do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramentos elétricos;
- Especificação dos equipamentos de proteção coletiva e individual e o ferramental, aplicáveis conforme determina esta NR;
- Documentação comprobatória da qualificação, habilitação, capacitação, autorização dos trabalhadores e dos treinamentos realizados;
- Resultados dos testes de isolamento elétrica realizados em equipamentos de proteção individual e coletiva;
- Certificações dos equipamentos e materiais elétricos em áreas classificadas;
- Relatório técnico das inspeções atualizadas com recomendações, cronogramas de adequações, contemplando as alíneas de “a” a “f”.

3.1.3 Medidas de Proteção Coletiva

As medidas de proteção coletiva compreendem, prioritariamente, a desenergização elétrica conforme estabelece esta NR e, na sua impossibilidade, o emprego de tensão de segurança.

Na impossibilidade de implementação do estabelecido no subitem 10.2.8.2. Devem ser utilizadas outras medidas de proteção coletiva, tais como: isolamento das partes vivas, obstáculos, barreiras, sinalização, sistema de seccionamento automático de alimentação, bloqueio do religamento automático.





3.1.4 Segurança em Projetos

É obrigatório que os projetos de instalações elétricas especifiquem dispositivos de desligamento de circuitos que possuam recursos para impedimento de reenergização, para sinalização de advertência com indicação da condição operativa.

3.1.5 Segurança em Instalações Desenergizadas

Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados, obedecida a sequência abaixo:

- seccionamento;
- impedimento de reenergização;
- constatação da ausência de tensão;
- instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada (Anexo II);
- instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a sequência de procedimentos abaixo:

- retirada das ferramentas, utensílios e equipamentos;

- retirada da zona controlada de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização;
- remoção do aterramento temporário, da equipotencialização e das proteções adicionais;
- remoção da sinalização de impedimento de reenergização;
- destravamento, se houver, e religação dos dispositivos de seccionamento.

3.1.6 Segurança em instalações elétricas Energizadas

As intervenções em instalações elétricas com tensão igual ou superior a 50 Volts em corrente alternada ou superior a 120 Volts em corrente contínua somente podem ser realizadas por trabalhadores qualificados.

Trabalhador Qualificado: É considerado trabalhador qualificado aquele que comprovar conclusão de curso específico na área elétrica reconhecido pelo Sistema Oficial de Ensino.

Profissional Legalmente Habilitado: É considerado profissional legalmente habilitado o trabalhador previamente qualificado e com registro no competente conselho de classe.

Trabalhador Capacitado: É considerado trabalhador capacitado aquele que atenda às seguintes condições, simultaneamente:

- receba capacitação sob orientação e responsabilidade de profissional habilitado e autorizado; e
- trabalhe sob a responsabilidade de profissional habilitado e autorizado.

A capacitação só terá validade para a empresa que o capacitou e nas condições estabelecidas pelo profissional habilitado e autorizado responsável pela capacitação.

3.1.7 Responsabilidade os trabalhadores nos serviços em eletricidade

- zelar pela sua segurança e saúde e a de outras pessoas que possam ser afetadas por suas ações ou omissões no trabalho;
- responsabilizar-se junto com a empresa pelo cumprimento das disposições legais e regulamentares, inclusive quanto aos procedimentos internos de segurança e saúde; e
- comunicar, de imediato, ao responsável pela execução do serviço as situações que considerar de risco para sua segurança e saúde e a de outras pessoas.

3.2 NBR-5410

A NBR-5410 é a norma que estipula as condições adequadas para o funcionamento usual e seguro das instalações elétricas de baixa tensão, ou seja, até 1000V em tensão alternada e 1500V em tensão contínua. Esta norma é aplicada principalmente em instalações prediais, públicas, comerciais, etc. Para o profissional da área funciona como um guia, sobre o que se deve ou não fazer, ela traz um texto diferenciado explicando e colocando regras em instalações de baixa tensão, e faz grande diferença conhecê-la e acima de tudo aplicá-la. Conhecer a norma e os tópicos nela propostos esclarece muitas das dúvidas dos profissionais da área.

No geral, esta norma estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e conservação dos bens. Ou seja, segurança das pessoas e animais que habitam a instalação, funcionamento e conservação dos bens.

3.2.1 NBR-5410 se aplica:

Como dito anteriormente, a NBR-5410 é uma normatização voltada às instalações prediais, porém quando se fala de instalação predial, logo pensamos na instalação residencial, por isso os tópicos abaixo esclarecem e exemplificam a aplicação desta norma.

- Áreas descobertas externas a edificações;
- Locais de acampamento, marinha e instalações análogas;
- Instalações temporárias como canteiros de obras, feiras, etc.;
- Circuitos elétricos alimentados sob tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada (CA), frequência inferior a 400 Hz, ou a 1500 V e corrente contínua (CC) (modificação vinda da norma NR-10, que estabelece o que é baixa tensão);
- Circuitos elétricos que não estão dentro de equipamentos, funcionando sobre tensão superior a 1000 volts, e alimentados por uma instalação igual ou inferior a 1000 volts e corrente alternada. Circuitos de lâmpadas de descarga, por exemplo;
- Fiações e redes elétricas que não estejam cobertas pelas normas relativas aos equipamentos de utilização;
- Linhas elétricas fixas de sinal com exceção dos circuitos internos dos equipamentos
- Instalações novas e já existentes, sobre reforma;

3.2.2 NBR-5410 não se aplica:

Alguns dos pontos citados pertencem a normas próprias e específicas a instalação, mesmo estando dentro das instalações de baixa tensão, por isso a NBR-5410 não se aplica aos mesmos.

- Instalações de tração elétrica;
- Instalações elétricas de veículos motores, carros elétricos, por exemplo;
- Instalações de embarcações e aeronaves;
- Equipamentos para supressão de perturbações radioelétricas, na medida em que não comprometa a segurança das instalações;
- Iluminação pública;
- Redes públicas de distribuição elétrica
- Instalações de proteção contra quedas diretas de raios, porém esta norma considera as consequências dos fenômenos atmosféricos sobre as instalações, por exemplo, seleção dos dispositivos de proteção contra sobre tensão;
- Instalações em minas;
- Instalações em cercas elétricas;

A aplicação da NBR-5410 não dispensa o seguimento de outras normas aplicadas em situações ou lugares específicos e os regulamentos que a instalação deve seguir.

3.2.3 Importância do cumprimento da Norma

Ter uma instalação baseada nas normas é indiscutivelmente o correto, pois assim fica assegurado o bom funcionamento, a conservação dos bens e principalmente a segurança. Normas existem para regulamentar, trazer uma igualdade as demais instalações elétricas e melhorar o âmbito de qualidade das instalações elétricas, e a NBR-5410 existe justamente pela preocupação com as instalações elétricas de baixa tensão, pois muitos acidentes ocorrem neste tipo de instalação com usuários que nem sempre possuem qualificação. Cumprir a norma é assegurar que estas instalações estejam dentro do que é considerado um funcionamento seguro.

4. INVERSORES DE FREQUÊNCIA

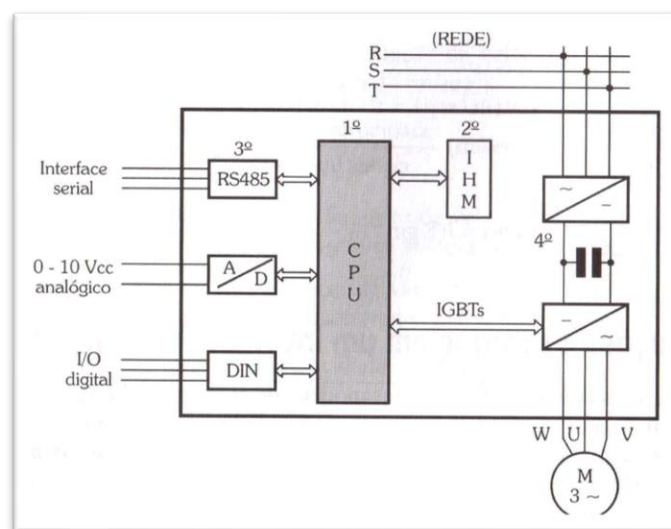
A eletrônica de potência, com o passar do tempo, vem tornando mais fácil (e mais barato) o acionamento em velocidade variável de motores elétricos. Com isto, sistemas que antes usavam motores CC, pela facilidade de controle, hoje podem usar motores CA de indução graças aos Inversores de Frequência, também chamados de Conversores de Frequência. Em paralelo ao avanço da eletrônica de potência, a microeletrônica, por meio de microprocessadores e microcontroladores, tem auxiliado muito o acionamento de máquinas CA, permitindo a implementação de funções complexas num tempo de processamento cada vez mais curto. Isto tem permitido a implementação de sofisticados algoritmos de controle que possibilitam o acionamento de alto desempenho com o emprego de motores de indução de série. A título de exemplo, podemos citar que motores de indução acionados por meio de Inversores de Frequência podem substituir, com vantagens, os sistemas de controle de fluxo com válvulas (bombas) ou dampers (ventiladores).

Atualmente, a necessidade de aumento de produção e diminuição de custos, se fez dentro deste cenário surgir a automação, ainda em fase inicial no Brasil, com isto uma grande infinidade de equipamentos foram desenvolvidos para as mais diversas variedades de aplicações e setores industriais, um dos equipamentos mais utilizados nestes processos

conjuntamente com o CLP é o Inversor de Frequência, um equipamento versátil e dinâmico, vamos expor agora o princípio básico do inversor de frequência. Um inversor de frequência é um dispositivo capaz de gerar uma tensão e frequência trifásicas ajustáveis, com a finalidade de controlar a velocidade de um motor de indução trifásico.

4.1 Blocos componentes do Inversor de Frequência

Na figura a seguir temos uma representação em bloco dos componentes dos inversores de frequência.



4.1.1 Unidade Central de Processamento (CPU)

A CPU de um inversor de frequência pode ser formada por um microprocessador ou por um microcontrolador. Isso depende apenas do fabricante. De qualquer forma, é nesse bloco que todas as informações (parâmetros e dados do sistema) estão armazenadas, visto que também uma memória está integrada a esse conjunto. A CPU não apenas armazena os dados e parâmetros relativos ao equipamento, como também executa a função mais vital para o funcionamento do inversor: geração dos pulsos de disparo, por meio de uma lógica de controle de corrente, para os IGBTs.

4.1.2 Interface Homem/Maquina (IHM)

O segundo bloco é a IHM. Com esse dispositivo podemos visualizar o que está ocorrendo no inversor (display) e parametrizá-lo de acordo com a aplicação (teclas). Na figura 2.3 temos um detalhe da IHM de um inversor Altivar 71.

Com essa IHM podemos visualizar diferentes grandezas do motor, como: tensão, corrente, frequência, status de alarme, entre outras funções. É possível visualizar o sentido de giro, verificar o modo de operação (local ou remoto), ligar ou desligar o inversor, variar a velocidade, alterar parâmetros e outras funções.



*IHM de um inversor Altivar 71
Schneider Electric*

4.1.3 Interfaces

A maioria dos inversores pode ser comandada por dois tipos de sinais: analógicos ou digitais. Normalmente, quando queremos controlar a velocidade de rotação de um motor CA no inversor, utilizamos uma tensão analógica de comando, que se situa entre 0 e 10 Vcc. A velocidade de rotação (rpm) é proporcional ao seu valor, por exemplo:

$$1 \text{ Vcc} = 1000 \text{ rpm}, 2 \text{ Vcc} = 2000 \text{ rpm}$$

Para inverter o sentido de rotação, basta inverter a polaridade do sistema analógico (de 0 a 10 Vcc sentido horário e -10 a 0 Vcc sentido anti-horário). Este é o sistema mais utilizado em máquinas e ferramentas automáticas, sendo a tensão analógica de controle proveniente do controle numérico computadorizado (CNC).

Além da interface analógica, o inversor possui entradas digitais. Com um parâmetro de programação, podemos selecionar a entrada válida (analógica ou digital).

4.1.4 Etapa de Potência

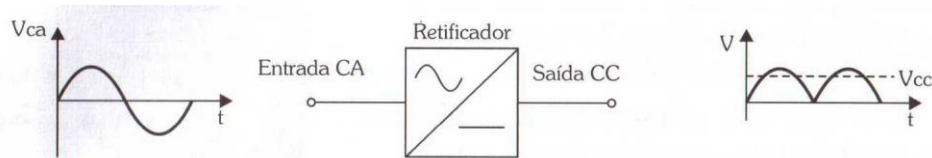
A etapa de potência é constituída por um circuito retificador, que por meio de um circuito intermediário denominado “barramento CC” alimenta o circuito de saída inversor (modulo IGBT).

4.2 Princípios básicos de funcionamento da etapa de Potência

O avanço da eletrônica de potência permitiu o desenvolvimento de conversores de frequência com dispositivos de estado sólidos, inicialmente com Tiristores e atualmente com transistores, mais especificamente o IGBT, transistor bipolar de porta isolada.

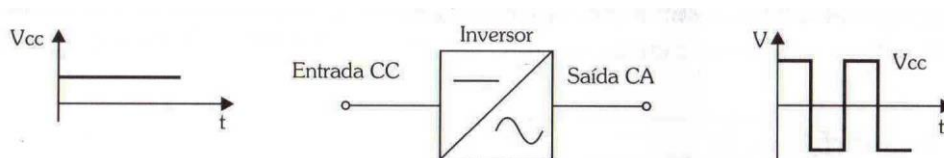
Algumas definições são importantes para o funcionamento do inversor de frequência, cujos símbolos a seguir são usados para descrever os diferentes tipos de conversores.

- **Retificador:** conversor que tem a função de transformar CA em CC.



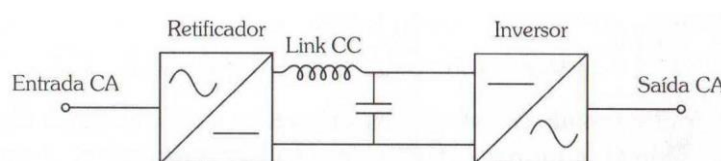
Conversor do tipo retificador

- **Inversor:** é um tipo especial de conversor que converte CC em CA



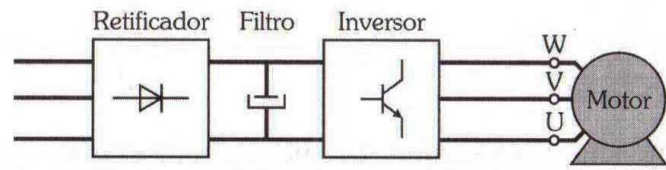
Conversor do tipo inversor

Em conversores de frequência é comum o uso de um circuito intermediários, chamado de link CC com filtro, para tomar a forma de onda senoidal.



Conversores de frequência.

Com a união desses três módulos temos um conversor de frequência que pode ser aplicado em um motor de indução trifásico.



Conversor de frequência aplicado a um motor trifásico.

Os cicloconversores antecederam de certa forma, os atuais inversores. Eles eram utilizados para converter 60 Hz de rede em uma frequência mais baixa, uma conversão CA-CA. Já os inversores utilizam a conversão CA-CC e, por fim, em CA.

Na figura a seguir temos os blocos de retificação, circuitos intermediários, inversor e circuito de controle ilustrado com mais detalhes.

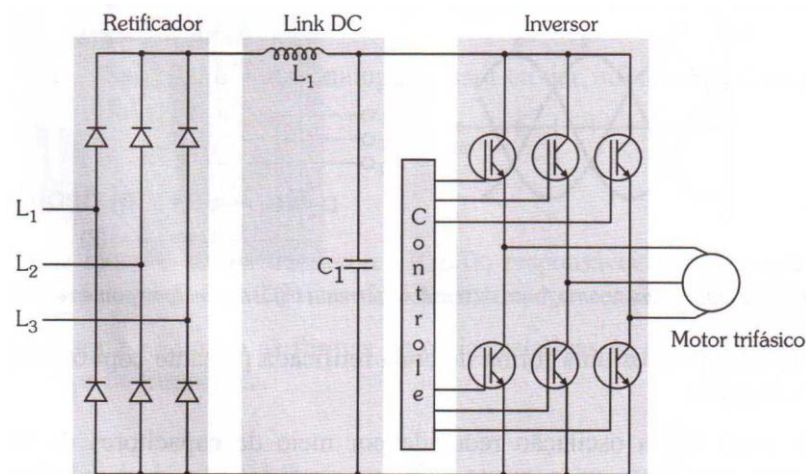


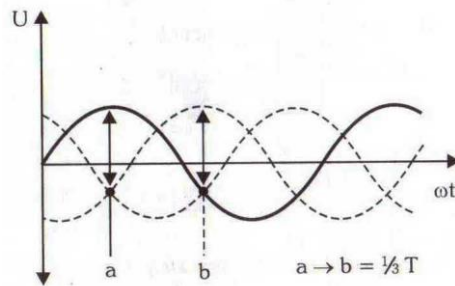
Diagrama detalhado das etapas do inversor de frequência

Para acionamento e controle do motor, o conversor de frequência é constituído dos estágios seguintes.

- **Retificador:** responsável pela retificação do sinal alternado que possui tensão e frequência constantes provenientes da rede de alimentação. Na rede de entrada, a frequência é fixa em 60 Hz, sendo transformada pelo retificador em contínua (retificador de onda completa). O filtro transforma essa tensão com valor de aproximadamente:

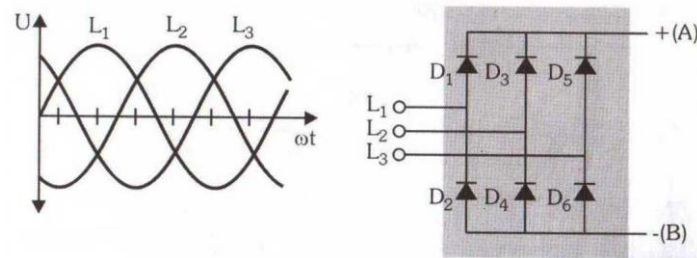
$$V_{cc} = 1,41 \times V_{rede}$$

A tensão de alimentação é do tipo tensão alternada trifásica como mostra a frequência fixa de 60 Hz, como mostra a figura a seguir:



Tensão de alimentação alternada trifásica.

Para o circuito de retificação são utilizados diodos, componentes semicondutores que permitem a passagem de corrente em apenas uma direção: do anodo (A) para o catodo (K), não sendo possível controlar a intensidade da corrente. Uma tensão alternada sobre o diodo é convertida em uma tensão CC pulsante. Se uma fonte trifásica é utilizada junto com um retificador não controlado, a tensão CC continua a ser pulsante. A figura 2.11 ilustra a aplicação de uma tensão trifásica através das fases L_1 , L_2 e L_3 na parte retificadora contendo os diodos D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 e D_6 .



Aplicação de uma fonte de tensão alternada trifásica em uma ponte retificadora.

4.3 Controle de Chaveamento

Para entender como funciona o controle de chaveamento de um inversor de frequência, vamos usar a figura a seguir que mostra um diagrama esquemático do circuito de um inversor de frequência.

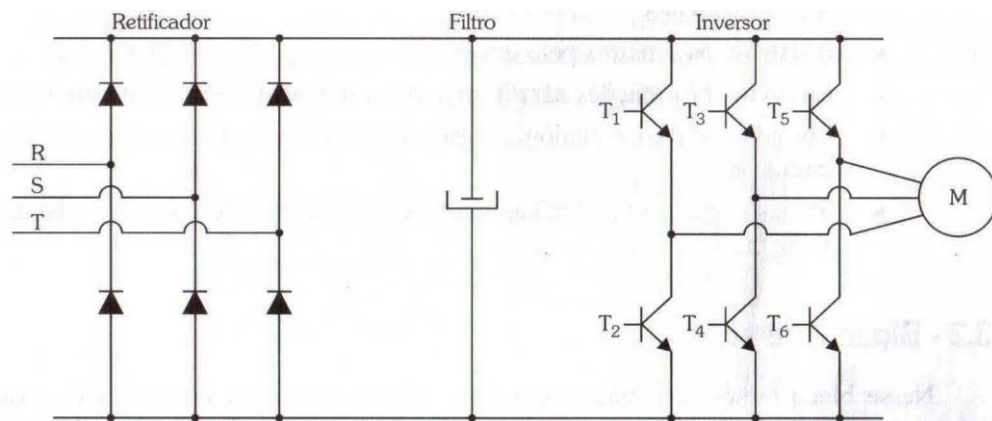


Diagrama esquemático de um inversor de frequência.

A tensão contínua é conectada aos terminais de saída pelos Tiristores T_1 a T_6 , que funcionam no corte ou na saturação como uma chave estática.

O Controle desses circuitos é feito pelo circuito de comando, de maneira a obter um sistema de tensão alternada em que as frequências estão defasadas em 120° .

Devem ser escolhidas a tensão e a frequência que permitem que a tensão U_2 seja proporcional a frequência f para que o fluxo ϕ_2 e o torque sejam constante.

O circuito de comando dos transistores de potência é o elemento responsável pela geração dos pulsos de controle dos transistores de potência a partir do uso de microcontroladores digitais. Essa técnica tornou-se possível e extremamente confiável. Atuando sobre a taxa de variação do chaveamento das bases dos transistores, controla-se a frequência do sinal trifásico gerado. Como o modular recebe um sinal de corrente contínua ou é alimentada em corrente contínua, a frequência e a tensão de saída do modulador para o motor independem da rede de alimentação do conversor fato que permite que o conversor ultrapasse a frequência nominal da rede.

Para entender o funcionamento da etapa inversora que transforma uma corrente CC em CA, vamos iniciar o estudo com um circuito monofásico. A figura a seguir ilustra um circuito inversor monofásico alimentando um motor CA monofásico.

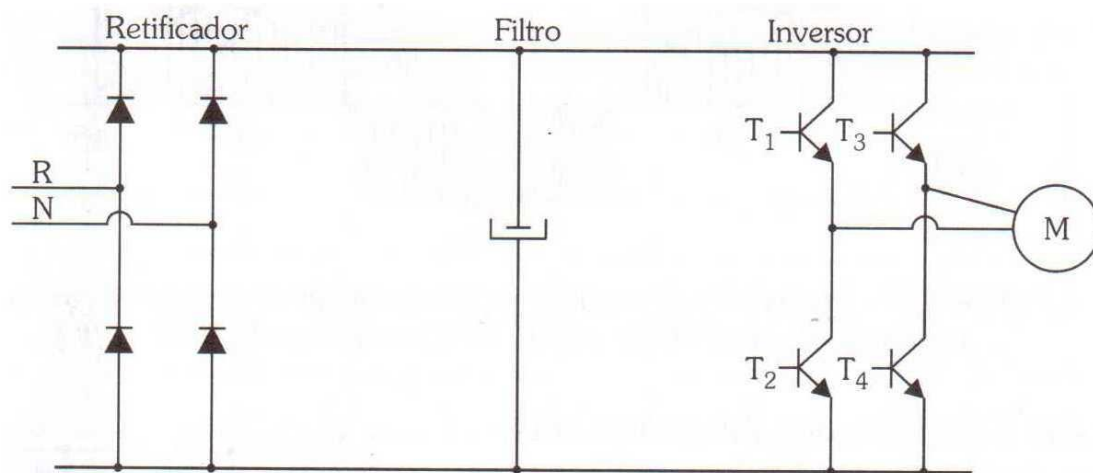
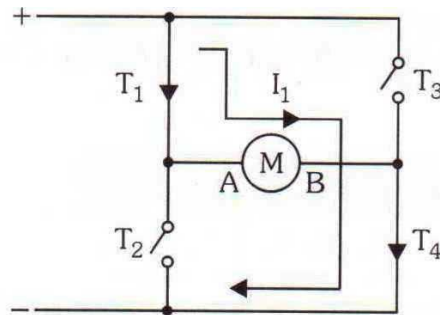


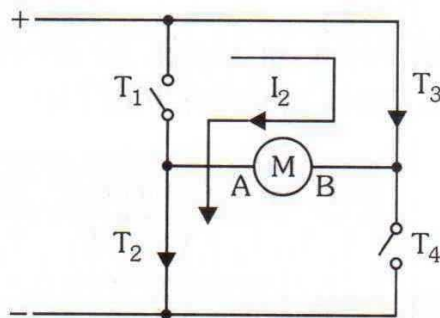
Diagrama de inversor de frequência monofásico.

Para compreender como o circuito funciona, vamos verificar a sua operação em que a lógica de controle aciona os transistores sempre em pares da seguinte forma:

- Os transistores T_1 e T_4 estão ligados, e T_3 e T_2 desligados. Neste instante a corrente circula no sentido de A para B.
- No instante seguinte os transistores T_1 e T_4 serão desligados, e T_3 e T_2 serão ligados. A corrente circula no sentido de B para A.

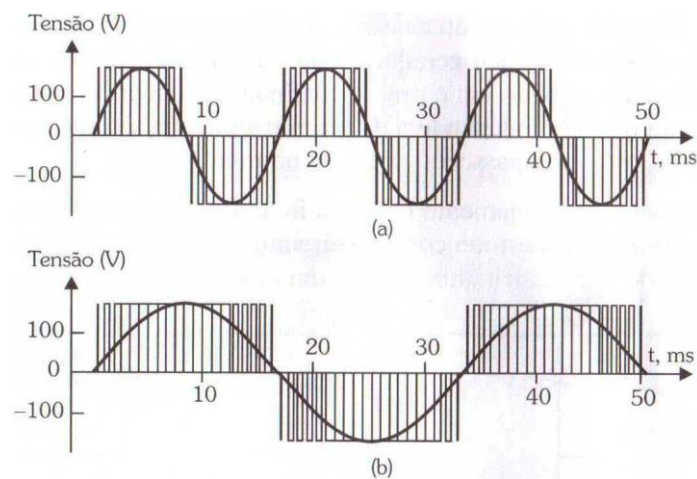


Inversor monofásico comutando os transistores T_1 e T_4 .



Inversor monofásico comutando os transistores T_2 e T_3 .

De acordo com essa sequência ocorre a inversão no sentido de corrente, ou seja, a corrente continua transforma-se em alternada, sendo a tensão aplicada no motor alternada. De acordo com variação da frequência de chaveamento desses transistores, a velocidade rotação do motor aumenta ou diminui na proporção da variação da frequência de chaveamento, figura a seguir.

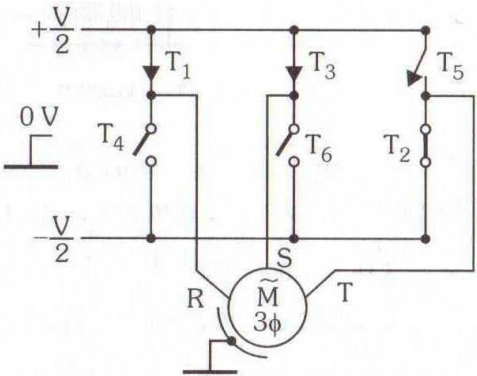


Frequência de controle de variável com um inversor de frequência:

a) Forma de onda 60 Hz; b) Forma de onda 30 Hz, 120 V

Como a maioria dos inversores utilizados na indústria é trifásica, a Figura 2.19 exibe um inversor trifásico com uma lógica de controle para os pulsos disparo por seis IGBTs, de maneira a gerar uma tensão de saída alternada e defasada de 120° uma de outra.

Como temos seis transistores e devemos ligá-lo três a três, temos oito combinações possíveis, porem apenas seis serão válidas, conforme veremos a seguir.



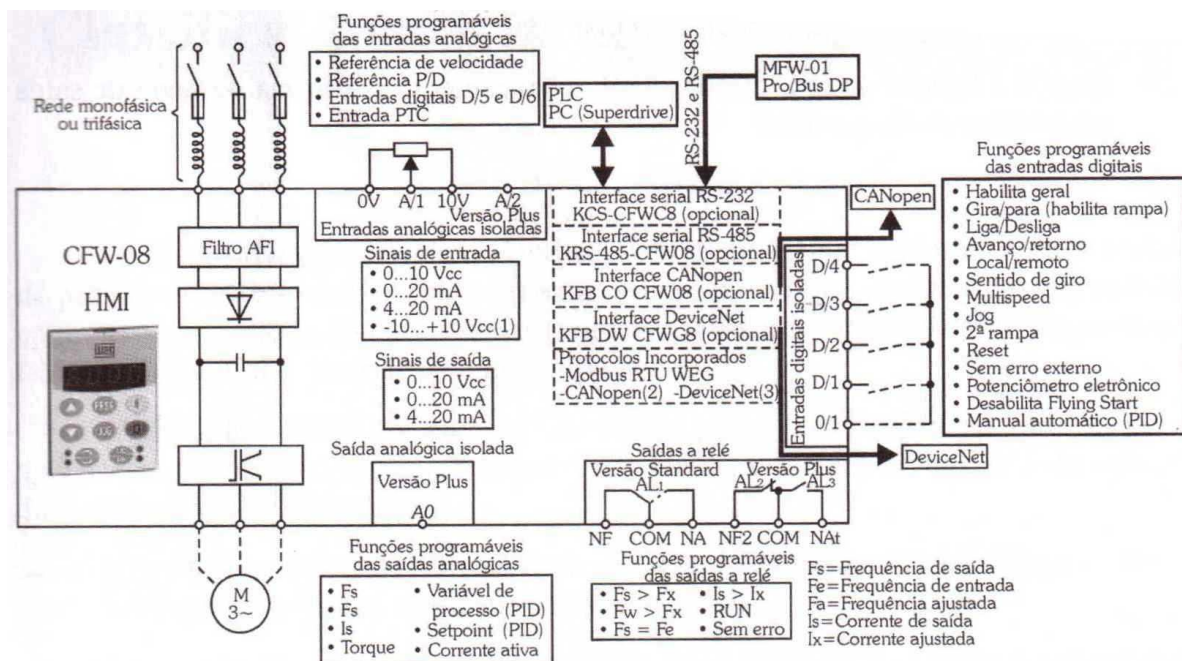
Representação de um inversor de frequência para um circuito trifásico.

Por meio da lógica de controle serão feitas as combinações representadas na Tabela a seguir pra ativar os IGBTs:

1° tempo	2° tempo	3° tempo	4° tempo	5° tempo	6° tempo
T ₁ , T ₂ , T ₃	T ₂ , T ₃ , T ₄	T ₃ , T ₄ , T ₅	T ₄ , T ₅ , T ₆	T ₅ , T ₆ , T ₁	T ₆ , T ₁ , T ₂

Combinação para acionamento dos IGBTs de um inversor de frequência trifásico.

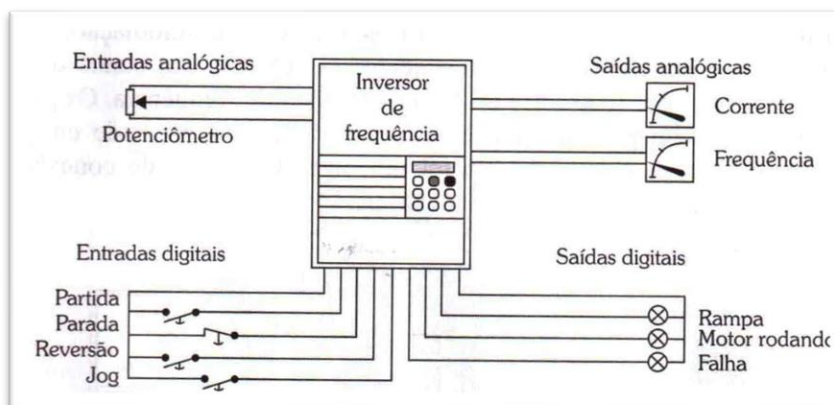
Para melhor compreender o funcionamento, será feita a análise de uma das condições e as restantes seguem o mesmo raciocínio.



Representação detalhada do inversor CFW08.

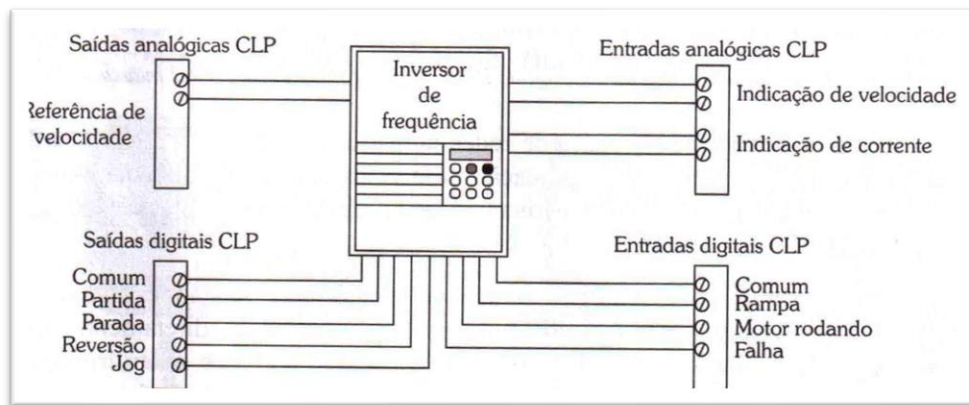
4.4 Diagramas de ligação típicos de um Inversor de Frequência

Para melhor entendimento temos na Figura a seguir uma configuração típica de um inversor de frequência com entradas e saída digitais e analógicas exercendo alguma função parametrizada no inversor, como controle de velocidade, partida, reversão, leitura de corrente, entre outras.



Conexão de entradas e saídas digitais e analógicas.

Com o uso de sistema automatizados com controle lógicos programáveis esses sinais do inversor de frequência são conectados diretamente ao inversor CLP, como mostra a figura a seguir:



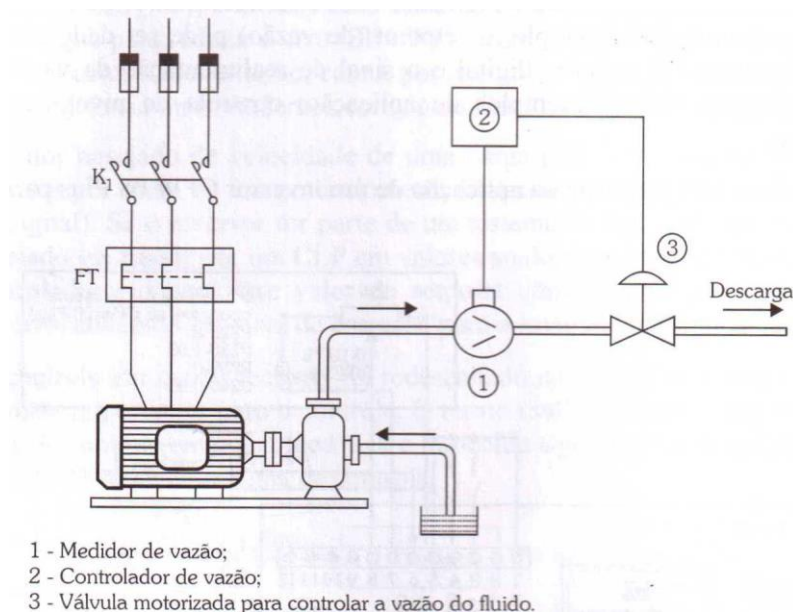
Conexão do inversor de frequência com CLPs.

4.5 Aplicação dos Inversores de Frequência para economia de energia elétrica

Uma característica importante da aplicação dos inversores de frequência é a economia de energia elétrica no processo de controle de vazão. Neste tipo de aplicação é possível mudar as características do motor pelo ajuste da tensão e da frequência em valores suficiente para fornecer as necessidades de potência da carga.

Uma aplicação típica de economia de energia é utilização na indústria nas situações em que os motores não operam à plena carga em grande parte do tempo, como, por exemplo, ventiladores, bombas, compressores, entre outros.

Para ilustrar a operação de sistema de economia de energia elétrica temos um sistema de controle de vazão mostrado na figura a seguir:



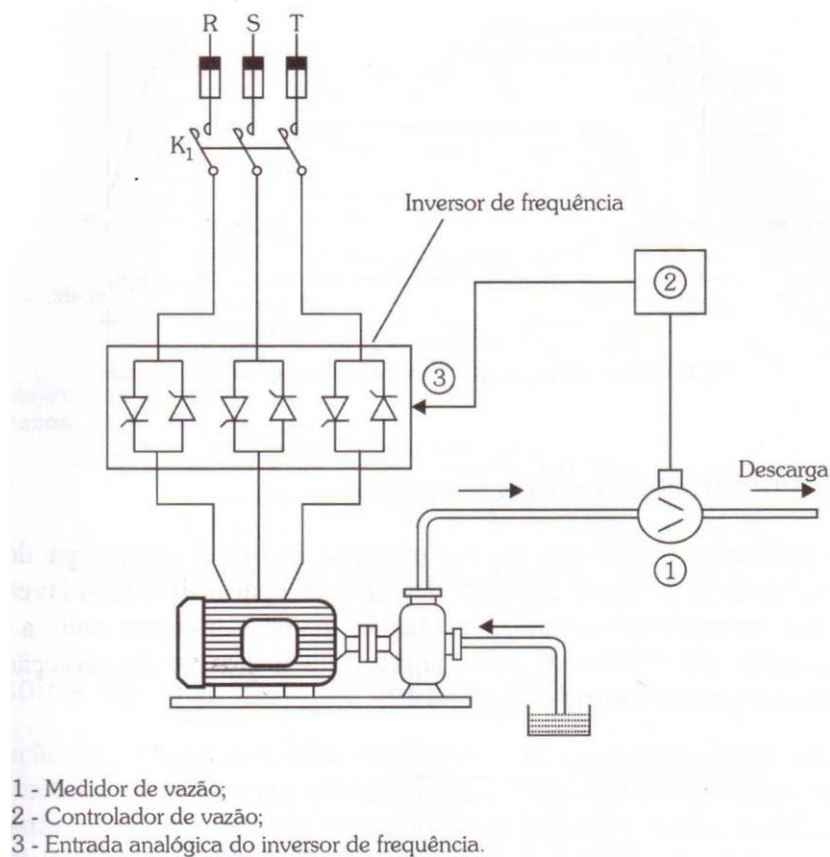
Sistema convencional de controle de vazão

Observe um sistema convencional para o controle de vazão, que deve ser mantido em um valor desejado (setpoint). Neste sistema de controle um medidor coleta a vazão e a compara com um valor desejado no controlador de vazão. Caso esteja menor que a desejada, a válvula é aberta para o aumento da vazão. Caso esteja maior que a desejada, é feita a operação inversa, fechando a válvula para reduzir a vazão.

Nessa aplicação temos um controle de vazão pela perda de carga na válvula e com a rotação do motor constante.

Uma alternativa para esse controle é a utilização de um inversor de frequência, conforme a figura a seguir. Ele utiliza um inversor de frequência para o controle de vazão, em que o medidor de vazão faz a leitura no processo e envia um sinal ao controlador de vazão. Se o valor estiver abaixo do desejado, é aumentada a rotação do motor. Caso o valor esteja acima do desejado, a velocidade do motor é reduzida pelo inversor de frequência.

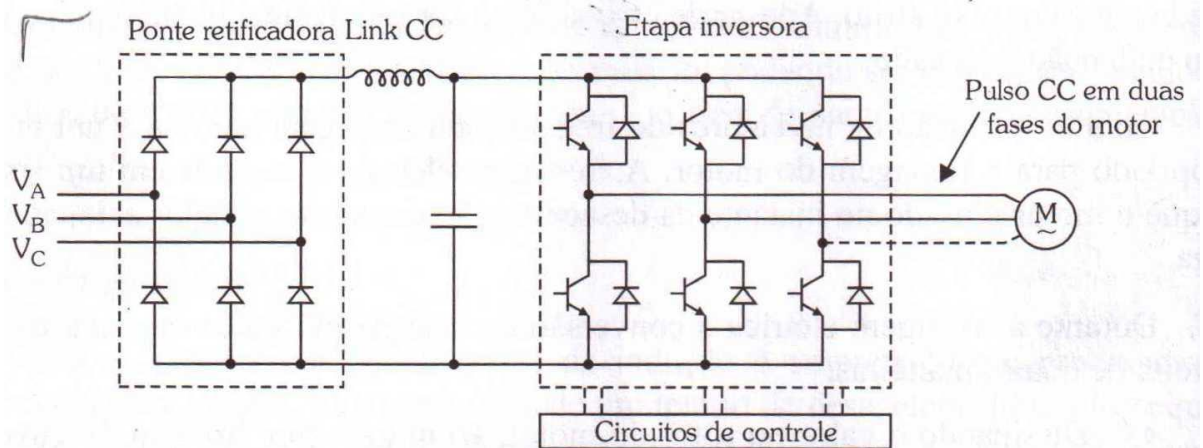
A variação da velocidade do motor é feita por um sinal enviado à entrada analógica do inversor. Desta maneira, quando a velocidade precisar ser reduzida, reduzem-se a frequência e a tensão aplicadas no motor, o que ocasiona uma significativa redução do consumo do motor, e por consequência, uma economia de energia elétrica.



Controle de vazão utilizando inversor de frequência.

4.6 Frenagem por Injeção de Corrente Contínua

O princípio básico da frenagem por CC é injetar corrente CC no estator do motor para causar um campo magnético estacionário no motor. Isso é obtido pela conexão de duas fases do motor de indução a uma fonte CC. A corrente injetada deve ser pelo menos igual a corrente de excitação do motor ou à corrente a vazio do motor.

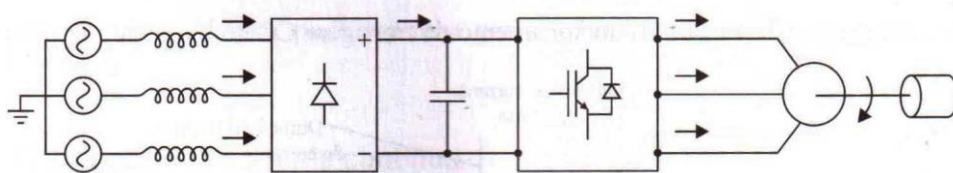


Frenagem de um motor com inversor injetando corrente contínua.

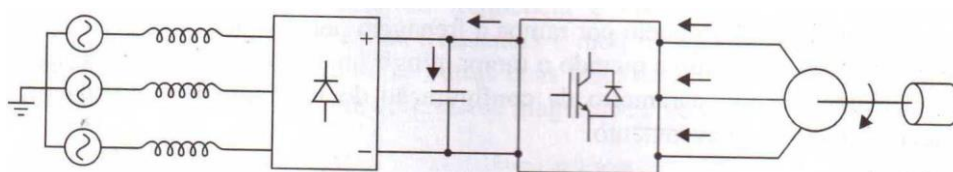
4.7 Frenagem Reostática

Geralmente se usa a frenagem reostática para baixar a velocidade até um determinado valor, a partir do qual se aplica corrente contínua no motor, conseguindo uma frenagem rápida e preservando o inversor.

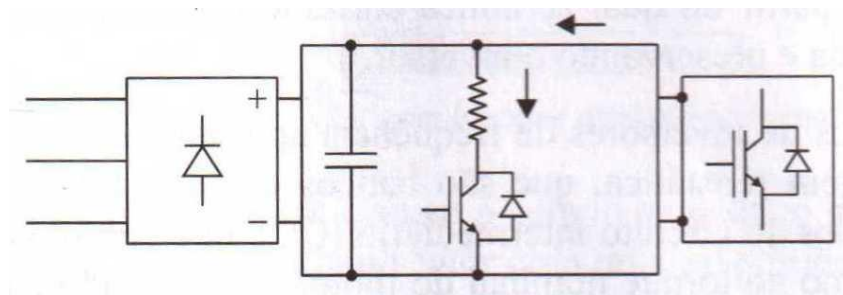
Diversos tipos de inversores de frequência apresentam a opção de utilização de módulos de frenagem reostática, que são bancos de resistores controlados eletronicamente e conectados ao circuito intermediário (CC), que permite até obter um torque de frenagem próximo ao torque nominal do motor, assegurando a dissipação de energia de frenagem nessa resistência externas.



Operação típica de um inversor de frequência.



Operação do inversor na parada do motor.



Frenagem reostática

4.8 Parametros do Inversor de Frequência

Na tabela a seguir mostraremos os principais parâmetros do Inversor de frequência WEG CFW 10, um dos inversores mais utilizados atualmente no mercado. Nela podemos observar parâmetros de leitura e configuração de unidades nominais do motor, assim como configuração das funções das entradas e saídas digitais e analógicas, tudo isso através da IHM do Inversor de Frequência.

Parâmetro	Função	Faixa de Valores	Ajuste de Fábrica	Unidade	Ajuste do Usuário	Pág.
P000	Parâmetro de Acesso	0 a 4, 5 a 999=Leitura 5 = Alteração	0	-	-	61
PARÂMETROS DE LEITURA - P002 a P088						
P002	Valor Proporcional à Freqüência (P208xP005)	0.0 a 999	-	-	-	61
P003	Corrente de Saída (Motor)	$1.5 \times I_{\text{nom}}$	-	A	-	61
P004	Tensão do Circuito Intermediário	0 a 524	-	V	-	61
P005	Freqüência de Saída (Motor)	0.0 a 99.9, 100 a 300	-	Hz	-	61
P007	Tensão de Saída (Motor)	0 a 240	-	V	-	61
P008	Temperatura do Dissipador	25 a 110	-	°C	-	61
P014	Último Erro Ocorrido	00 a 41	-	-	-	61
P015	Segundo Erro Ocorrido	00 a 41	-	-	-	61
P018	Terceto Erro Ocorrido	00 a 41	-	-	-	61
P023	Versão de Software	x - yz	-	-	-	61
P040	Variável de Processo PID	0.0 a 999	-	-	-	62
PARÂMETROS DE REGULAÇÃO - P100 a P188						
Rampas						
P100	Tempo de Aceleração	0.1 a 999	5.0	s		62
P101	Tempo de Desaceleração	0.1 a 999	10.0	s		62
P102	Tempo Aceleração - 2ª Rampa	0.1 a 999	5.0	s		62
P103	Tempo Desaceleração - 2ª Rampa	0.1 a 999	10.0	s		62
P104	Rampa S	0 = Inativa 1 = 50 2 = 100	0	%		62
Referência da Freqüência						
P120	Backup da Referência Digital	0 = Inativo 1 = Ativo 2 = Backup por P121 3 = Ativo após Rampa	1	-		63
P121	Referência de Freqüência pelas Teclas HMI	P133 a P134	3.0	Hz		63
P122	Referência JOG	P133 a P134	5.0	Hz		63
P124 ⁽¹⁾	Referência 1 Multispeed	P133 a P134	3.0	Hz		64
P126 ⁽¹⁾	Referência 2 Multispeed	P133 a P134	10.0	Hz		64
P128 ⁽¹⁾	Referência 3 Multispeed	P133 a P134	20.0	Hz		64
P127 ⁽¹⁾	Referência 4 Multispeed	P133 a P134	30.0	Hz		64
P128 ⁽¹⁾	Referência 5 Multispeed	P133 a P134	40.0	Hz		64
P128 ⁽¹⁾	Referência 6 Multispeed	P133 a P134	50.0	Hz		64
P130 ⁽¹⁾	Referência 7 Multispeed	P133 a P134	60.0	Hz		64
P131 ⁽¹⁾	Referência 8 Multispeed	P133 a P134	66.0	Hz		64
Limites de Freqüência						
P133 ⁽¹⁾	Freqüência Mínima (F_{min})	0.00 a P134	3.0	Hz		65
P134 ⁽¹⁾	Freqüência Máxima (F_{max})	P133 a 300Hz	66.0	Hz		65

Parâmetro	Função	Faixa de Valores	Ajuste de Fábrica	Unidade	Ajuste do Usuário	Pág.
Controle V/F						
P136	Boost de Torque Manual (Compensação IxR)	0.0 a 100	20.0 ⁽²⁾	%		65
P137	Boost de Torque Automático (Compensação IxR Automática)	0.0 a 100	0.0	%		66
P138	Compensação de Escorregamento	0.0 a 10.0	0.0	%		67
P142 ⁽¹⁾⁽²⁾	Tensão de Saída Máxima	0.0 a 100	100	%		68
P145 ⁽¹⁾⁽²⁾	Frequência de Início de Enfraquecimento de Campo (F _{esc})	P133 a P134	60.0	Hz		68
Regulação Tensão CC						
P161	Nível de Atuação da Regulação da Tensão do Circuito Intermediário	Linha 100: 360 a 460 Linha 200: 325 a 410	430 380	V		68
Corrente de Sobrecarga						
P168 ⁽²⁾	Corrente de Sobrecarga do Motor	0.3xI _{nom} a 1.3xI _{nom}	1,2xP295	A		69
Limitação de Corrente						
P169 ⁽²⁾	Corrente Máxima de Saída	0.2xI _{nom} a 2.0xI _{nom}	1,5xP295	A		70
PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO - P200 a P399						
Parâmetros Genéricos						
P202 ⁽¹⁾	Tipo de Controle	0=Controle V/F Linear 1=Controle V/F Quadrático	0	-		70
P203 ⁽¹⁾	Seleção de Funções Especiais	0=Nenhuma 1=Regulador PID	0	-		72
P204 ⁽¹⁾	Carrega Parâmetros com Padrão de Fábrica	0 a 4=Sem Função 5=Carrega Padrão de Fábrica 6 a 999=Sem Função	0	-		72
P208	Tempo de Auto-Reset	0 a 255	0	s		72
P208	Fator de Escala da Referência	0.0 a 100	1.0	-		72
P218 ⁽¹⁾	Ponto de Início da Redução da Frequência de Chaveamento	0.0 a 15.0	15.0	Hz		72
Definição Local/Remoto						
P221 ⁽¹⁾	Seleção da Referência - Situação Local	0=Teclas  e  HMI 1=AH1 2=E.P. 3=Potenciômetro HMI 4 a 5=Reservado 6=Multispeed 7=Entrada em Frequência	0=Para Inversores Versão Standard e Clean 3=Para Inversores Versão Plus	-		73
P222 ⁽¹⁾	Seleção da Referência - Situação Remoto	0=Teclas  e  HMI 1=AH1 2=E.P. 3=Potenciômetro HMI 4 a 5=Reservado 6=Multispeed 7=Entrada em Frequência	1	-		73
P228 ⁽¹⁾	Seleção de Comandos - Situação Local	0=Teclas HMI 1=Bomes	0	-		73
P230 ⁽¹⁾	Seleção de Comandos - Situação Remoto	0=Teclas HMI 1=Bomes	1	-		73
P231 ⁽¹⁾	Seleção do Sentido de Giro - Situação Local e Remoto	0=Horário 1=Anti-horário 2=Comandos	2	-		73
Entrada(s) Analógica(s)						
P234	Ganho da Entrada Analógica AH1	0.0 a 999	100	%		74

Parâmetro	Função	Faixa de Valores	Ajuste de Fábrica	Unidade	Ajuste do Usuário	Pág.
P236 ⁽¹⁾	Sinal da Entrada Analógica AI1	0= (0 a 10) V/(0 a 20) mA 1= (4 a 20) mA	0	-		76
P238	Offset da Entrada Analógica AI1	-120 a 120	0	%		76
P238	Ganho da Entrada (Potenciômetro HMI)	0.0 a 999	100	%		76
P240	Offset da Entrada (Potenciômetro HMI)	-120 a +120	0	%		77
P248	Constante de Tempo do Filtro da Entrada Analógica (AI1)	0 a 200	200	ms		77
Entradas Digitais						
P283 ⁽¹⁾	Função da Entrada Digital DI1	0=Sem Função 1=Sem função ou Habilita Geral 2=Habilita Geral 3=JOG 4=Gira/Para 5=Sentido de Giro 6=Local/Remoto 7=Multispeed 8=Multispeed com 2ª rampa 9=Avanço 10=Retomo 11=Avanço com 2ª rampa 12=Retomo com 2ª rampa 13=Liga 14=Desliga 15=Ativa 2ª rampa 16=Acelera E.P. 17=Desacelera E.P. 18=Acelera E.P. com 2ª rampa 19=Desacelera E.P. com 2ª rampa 20=Sem Erro Externo 21=Reset de Erro 22=Liga / Acelera E.P. 23=Desacelera E.P. / Desliga 24=Parar 25=Chave de Segurança 26=Entrada em frequência 27=Manual/Automático(PID)	1	-		77
P284 ⁽¹⁾	Função da Entrada Digital DI2		5	-		77
P285 ⁽¹⁾	Função da Entrada Digital DI3		6	-		77
P288 ⁽¹⁾	Função da Entrada Digital DI4		4	-		77
P271	Ganho da Entrada em Frequência	0.0 a 999	200	%		82
Saídas Digitais						
P277 ⁽¹⁾	Função da Saída a Relé RL1	0 = Fs>Fx 1 = Fe>Fx 2 = Fs=Fe 3 = Is>Ix 4 e 6 = Sem Função 5 = Run 7 = Sem Erro	7	-		83
Fx e Ix						
P288	Frequência Fx	0.0 a P134	3.0	Hz		84

Parâmetro	Função	Faixa de Valores	Ajuste de Fábrica	Unidade	Ajuste do Usuário	Pág.
P290	Corrente Ir	0.0 a $1.5 \times I_{nom}$	P295	A		84
Dados do Inversor						
P295	Corrente Nominal do Inversor (I_{nom})	1.6 2.6 4.0 7.3 10.0 15.2	Disponível somente para leitura	A		84
P297 ⁽¹⁾	Frequência de Chaveamento	2.5 a 15.0	5.0 ⁽⁴⁾	kHz		84
Frenagem CC						
P300	Duração da Frenagem CC	0.0 a 15.0	0.0	s		85
P301	Frequência de Início da Frenagem CC	0.0 a 15.0	1.0	Hz		85
P302	Torque de Frenagem	0.0 a 100	50.0	%		85
FUNÇÃO ESPECIAL P600 a P699						
Regulador PID						
P620	Ganho proporcional PID	0.0 a 999	100	%		93
P621	Ganho Integral PID	0.0 a 999	100	%		93
P622	Ganho diferencial PID	0.0 a 999	0	%		93
P625	Setpoint via teclas Regulador PID	0.0 a 100	0	%		93
P628	Filtro da Variável de Processo	0.0 a 10.0	0.1	s		93
P627	Tipo de Ação do Regulador PID	0=Direto 1=Reverso	0	-		93
P628	Fator Escala Var. Proc.	0 a 999	100	-		94
P638	Ajuste Automático de P625	0=Ativo 1=Inativo	0	-		94

(1) Esse parâmetro só pode ser alterado com o Inversor desabilitado (motor parado).

(2) Esse parâmetro não é alterado quando é executada a rotina carga padrão de fábrica (P204=5).

(3) 6% para o modelo de 15,2 A.

(4) 2,5 kHz para o modelo de 15,2 A.

5. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

Podemos considerar o CLP um computador projetado para trabalhar no ambiente industrial. Os transdutores e os atuadores são conectados a robustos cartões de interface. Comparados com um computador de escritório, os primeiros CLPs tinham um conjunto de instruções reduzido, normalmente apenas condições lógicas e não possuíam entradas analógicas, podendo manipular somente aplicações de controle digital (discreto).

Um Controlador Lógico Programável é definido pelo IEC (*International Electrotechnical Commission*) como:

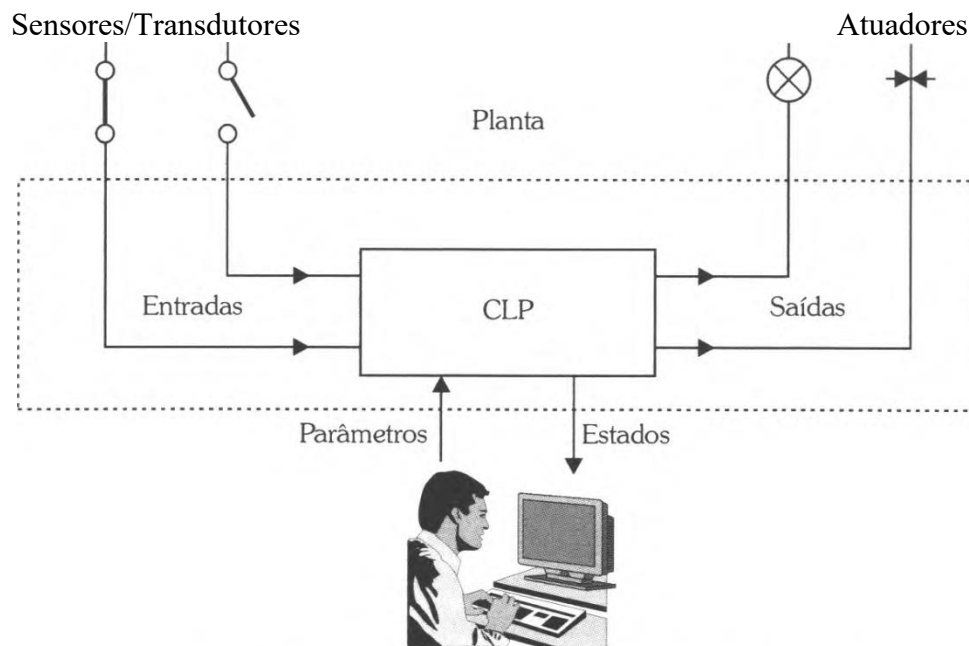
“Sistema eletrônico operado digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem internas de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas e processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas suas funções previstas.”

5.1 Utilização dos CLPs

Toda planta industrial necessita de algum tipo de controlador para garantir uma operação segura e economicamente viável. Desde o nível mais simples, em que pode ser utilizado para controlar o motor elétrico de um ventilador para regular a temperatura de uma sala, até um grau de complexidade elevado, controlando a planta de um reator nuclear para produção de energia elétrica. Embora existam tamanhos e complexidades diferentes, todos os sistemas de controle podem ser divididos em três partes com funções bem definidas: os tradutores (sensores), os controladores e os atuadores.

- **Sensores/transdutores:** transdutores é um dispositivo que converte uma condição física do elemento sensor em um sinal elétrico para ser utilizado pelo CLP através da conexão às entradas do CLP. Um exemplo típico é um botão de pressão momentânea, em que um sinal elétrico é enviado do botão de pressão ao CLP, indicando sua condição atual (pressionando OU liberando).
- **Atuadores:** Sua função é converter o sinal elétrico oriundo do CLP em um condição física, normalmente ligando ou desligando algum elemento. Os atuadores são conectados às saídas do CLP. Um exemplo típico é fazer o controle do acionamento do motor através do CLP. Neste caso a saída do CLP vai ligar ou desligar a bobina do contato que o comanda.
- **Controladores:** de acordo com os estados das suas entradas, o controlador utiliza um programa de controle para calcular os estados das suas saídas. Os sinais elétricos das saídas são convertidos no processo através dos atuadores. Muitos atuadores geram movimentos, tais como válvulas, motores, bombas; outros utilizam energia elétrica ou pneumática. O operador pode interagir com o controlador por meio dos parâmetros de controle. Alguns controladores podem mostrar o estado do processo em uma tela ou em um *display*.

Um sistema de controle típico encontra-se na figura a seguir.



Representação dos sistemas de controle.

5.2 Arquitetura dos CLPs e princípio de funcionamento

O CLP é um equipamento de estado sólido que pode ser programado para executar instruções que controlam dispositivos, máquinas e operações de processos pela implementação de funções específicas, como lógica de controle, sequenciamento, controle de tempo, operações aritméticas, controles estatístico, controle de malha, transmissão de dados etc.

Os CLP são projetados e construídos para operarem em ambientes severos, portanto devem resistir a altas temperaturas, ruídos elétricos, poluição atmosférica, ambientes úmidos etc.

Sua capacidade quanto ao número de entradas e saídas, memória, conjunto de instruções, velocidade de processamento, conectividade, flexibilidade, IHM, etc, varia conforme o fabricante e modelo.

Os primeiros controladores lógicos programáveis tinham como função primordial somente substituir os relés utilizados na indústria. A sua função era somente realizar operações sequenciais que eram anteriormente implementadas com relés, como, por exemplo, controle liga/desliga de máquinas e processos que necessitavam de operações repetitivas. Em um curto tempo esses controladores tiveram muitas melhorias em relação aos relés, como o uso de menor espaço e energia, indicadores de diagnóstico e ao contrario dos relés, a sua lógica de operações poderia ser mudada sem a necessidade de alteração das conexões físicas dos elementos.

Um controlador lógico programável pode ser dividido em duas partes, conforme a figura a seguir:

- Uma unidade central de processamento;
- Sistemas de interface de entrada/saída.

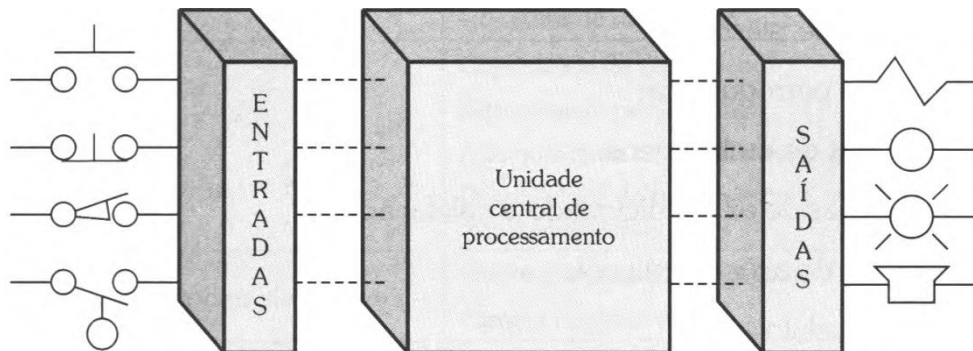


Diagrama de blocos de controlador lógico programável.

A Unidade Central de Processamento (UCP), mas conhecida pela sua sigla originária da língua inglesa CPU (*Central Processing Unit*), comanda todas as atividades do CLP, sendo formada pelos três elementos na figura a seguir:

- Processador;
- Sistema de Memórias;
- Fonte de alimentação.

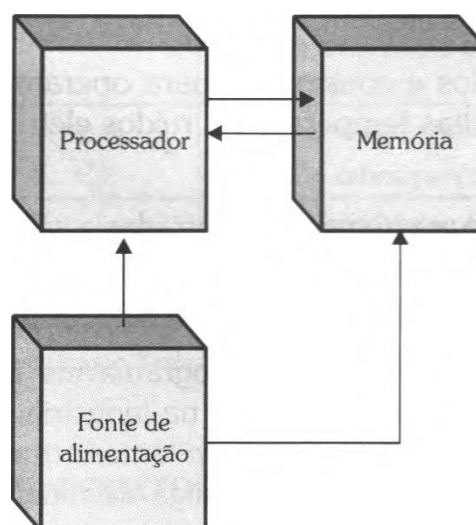


Diagrama de bloco dos principais componentes da CPU.

Podemos ter um diagrama de blocos simples do CLP, como está ilustrado na Figura a cima. Juntamente com a interface de comunicação e as interfaces de entrada e saída, temos o controlador lógico programável, como exibe a figura a seguir.

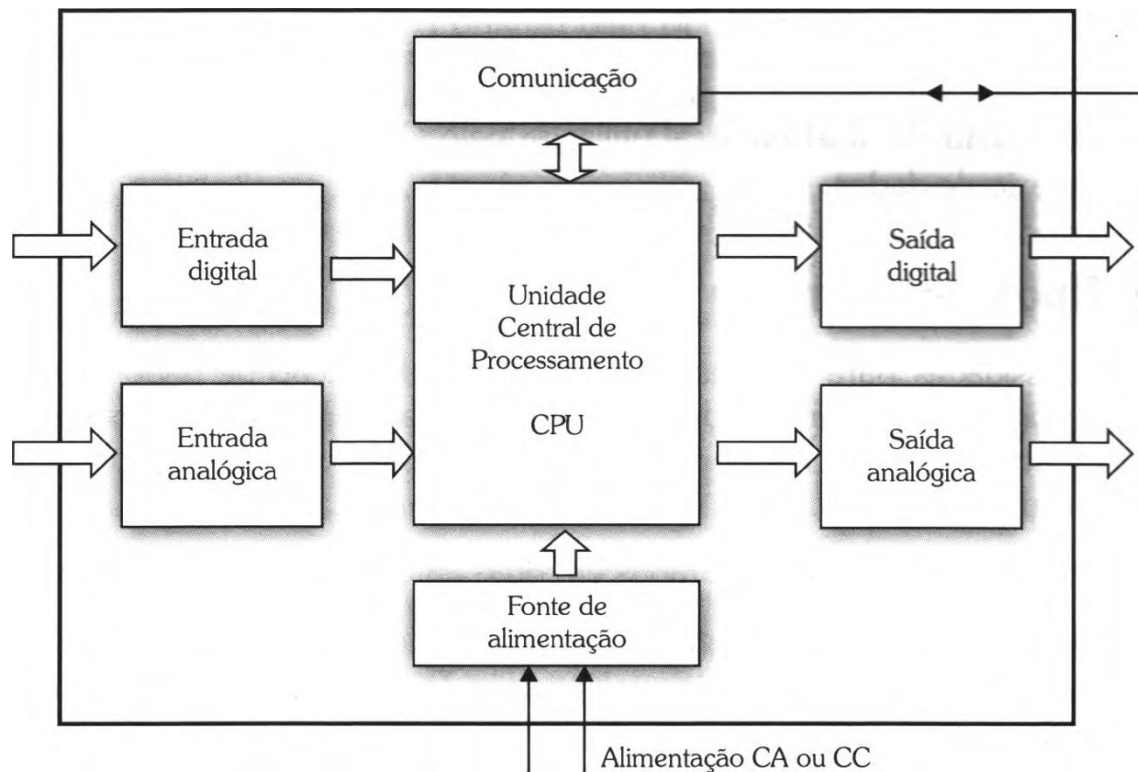


Diagrama de blocos do CLP.

De acordo com a Figura a cima, um CLP pode ser dividido em cinco partes:

1. Fonte de alimentação
2. Entradas (analógicas e/ ou digitais)
3. Saídas (analógicas e/ou digitais)
4. Unidade Central de Processamento (CPU)
5. Unidade de comunicação

A fonte de alimentação é responsável pelo fornecimento da energia necessária para a alimentação da CPU e dos módulos de entrada e de saída. Fornece todos os níveis de tensão exigidos para as operações internas do CLP. Convém lembrar que, como geralmente os CLPs são modulares, existem casos em que uma segunda fonte é necessária devido ao aumento de consumo com a expansão dos módulos. Cada fabricante especifica as condições que tornam necessária a segunda fonte. Certos modelos de CLPs são projetados para operarem com uma tensão de alimentação de 220 V, outros trabalham com tensão de alimentação contínua de 24 V.

5.3 Tipos de memória

As necessidades para o armazenamento e a recuperação de dados para memória de programa e memória de dados não são as mesmas. Por exemplo, normalmente o conteúdo da memória de dados necessita ser alterado conforme os dados vão sendo coletados.

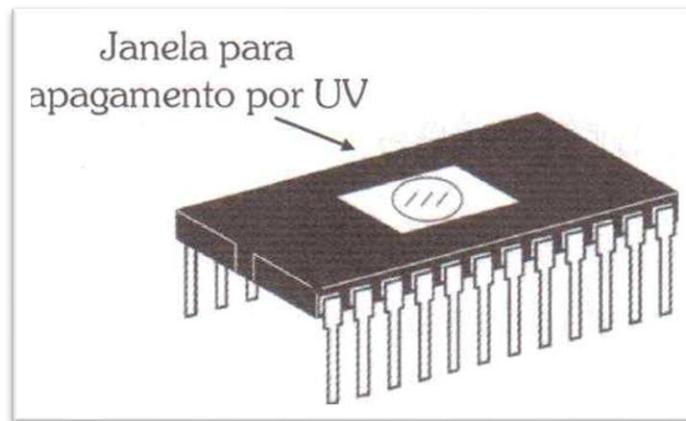
As memórias podem ser separadas em duas categorias: voláteis e não voláteis.

- **Memórias voláteis:** perdem seu conteúdo quando sua alimentação elétrica é removida. Memórias voláteis são facilmente alteradas e é recomendado para a grande maioria das aplicações que utilizem uma bateria que mantenha sua alimentação, mesmo na ausência de alimentação externa. As baterias são chamadas de “bateria de *backup*”
- **Memórias não voláteis:** retêm o conteúdo programado, mesmo durante uma completa falta de energia, sem necessidade de uma bateria de *backup*. Memórias não voláteis podem ser reprogramáveis ou fixas.

A seguir acompanhe a descrição dos seis principais tipos de memórias e suas características que afetam a maneira com as instruções programadas são alteradas ou armazenadas em um CLP.

- **Memória ROM (Read Only Memory):** projetada para armazenamento permanente de um determinado programa ou de dados. Após a gravação do seu conteúdo (normalmente feito na fábrica), somente pode ser lido e nunca mais alterado. Desta forma, por natureza, as memórias ROM são imunes a alterações por ruídos elétricos e perda de energia. Utilizada para o sistema operacional e dados fixos usado pela CPU. Outra aplicação da memória ROM é em micro CLPs construídos para uma função específica e fixa (função dedicada), em que não há necessidade de alteração do programa.
- **Memória RAM (Random Access Memory):** desenvolvida para que a informação possa ser escrita ou lida em qualquer posição de memória com alta velocidade. Esse tipo de memória é volátil, ou seja, não retém a informação se a fonte de alimentação for desligada. Requer o uso de uma bateria para manter os dados em caso de falta de energia. Um grande número de CLPs usa memória RAM para armazenar o programa aplicativo junto com baterias de *backup*. É uma memória relativamente rápida em comparação com outros tipos. Uma grande desvantagem é que a bateria pode eventualmente falhar. Por isso, normalmente os CLPs que utilizam esse sistema possuem um dispositivo que constantemente monitora o estado da bateria e informa ao processador. Memória RAM suportadas por baterias têm tido excelentes resultados para a grande maioria das aplicações em CLPs.

Memória EPROM (Erasable PROM): é uma memória PROM que pode ser reprogramada depois de ser inteiramente apagada por uma fonte de luz ultravioleta. O apagamento completo do conteúdo do chip necessita que a janela do chip seja exposta a uma fonte de luz ultravioleta por aproximadamente 20 minutos.



Janela para apagamento da memória EPROM por ultravioleta (UV)

A memória EPROM pode ser considerada um dispositivo de armazenamento semipermanente, porque armazena um programa até que ele necessite ser alterado. A memória EPROM fornece um excelente meio de armazenamento para programas que não necessitam de volatilidade, entretanto ela não permite mudanças no programa e entradas de dados on-line. Muitos fabricantes usam controladores com memórias EPROM para prover armazenamento permanente de programas em equipamentos que não necessitam de alterações ou entrada de dados pelo usuário.

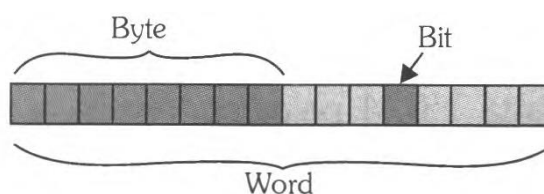
Memória EEPROM (Electrically Erasable PROM): é não volátil e oferece a mesma flexibilidade de programação que a RAM. A grande maioria dos controladores de médio e pequeno porte usa EEPROM como única memória do sistema. Ela fornece armazenamento permanente para o programa e pode ser facilmente alterado com o uso de um dispositivo de programação (por exemplo, PC) ou uma unidade de programação manual. Estas duas características ajudam a reduzir o tempo para alteração de programas. Uma das desvantagens da EEPROM é que um *byte* de memória só pode ser escrito depois que o conteúdo anterior tiver sido apagado, causando um atraso. Esse período de atraso é considerável quando mudanças *on-line* de programação forem feitas. Outra desvantagem de EEPROM é a limitação do número de vezes que pode ser executada a operação de escrever/apagar em único *byte* de memória (de 10.000 a 100.000 vezes). No entanto, essas desvantagens podem ser desprezadas, se compararmos com as notáveis vantagens que ela oferece.

- **Memória FLASH:** é um dos tipos mais recentes de memória. É utilizada pelas placas-mãe de computadores pessoais para armazenar o programa BIOS. Sua grande vantagem é a facilidade de atualização de firmware dos equipamentos através de software externos. Diversos fabricantes de CLPs já utilizam esse tipo de memória nos seus CLPs. A Siemens, por exemplo, as utiliza no modelo S7-300.

5.4 Estrutura de Memória e Capacidade

5.4.1 Definições importantes

- **Bit:** menor unidade de informação, pode ter apenas dois estados: ativos (1) ou inativo (0). Pode ser utilizado para armazenar variáveis lógicas (binárias). Também pode ser utilizado, combinados com outros bits, para formatar outros tipos de dados mais complexos.
- **Nibble ou quarteto:** agrupamento de quatro bits, utilizando principalmente para armazenamento de códigos BCD.
- **Byte ou octeto:** Agrupamento de oito bits. Pode armazenar um caractere do tipo ASCII ou um número entre 0 e 255, dois números BCD ou oito indicadores de um bit.
- **Word ou palavra:** Uma palavra corresponde a uma certa quantidade de bits que pode variar de um processador para outro. No entanto, é comum considerar uma palavra como a composição de 16 bits.
- **Double word ou palavra dupla:** é a composição de duas palavras, ou seja, para os processadores de 16 bits correspondentes a um agrupamento de 32 bits.



Unidades básicas de memória de um CLP: bits, bytes e words.

A capacidade de armazenamento de uma unidade de memória é determinada pelo número de palavras (*words*) que ela pode armazenar.

O IEC (*International Electrotechnical Commission*) aprovou, em janeiro de 1999, uma norma internacional – IEC 60027-2 – para a designação de nomes e símbolos para prefixos de múltiplos de binários utilizados nos campos de processamento e transmissão de dados. Outra norma também foi publicada pelo IEEE (IEE 541) em 2005. Os prefixos são apresentados nas tabelas seguintes:

Múltiplo (SI)
Kilo: $(10^3)^1$
Mega: $(10^3)^2$
Giga: $(10^3)^3$
Tera: $(10^3)^4$

Múltiplos SI

Fator	Nome	Símbolo	Referência	Fator
2^{10}	Kibi	Ki	Kilibinary : $(10^3)^1$	2^{10}
2^{20}	Mebi	Mi	Megabinary: $(10^{10})^2$	2^{20}
2^{30}	Gibi	Gi	Gibabinary: $(2^{10})^3$	2^{30}
2^{40}	Tebi	Ti	Terabinary: $(2^{10})^4$	2^{40}

Multiplos IEC 60027-2

Portanto, deve ser observado que:

1 Kibibit	1 Kibit	= 2^{10} bit	= 1024 bits
1 Kilobit	1 Kbit	= 10^3 bit	= 1000 bits
1 Mebibyte	1 MiB	= 2^{10} B	= 1 048 576 B
1 Megabyte	1 MB	= 10^6 B	= 1 000 000 B

Sugere-se que a primeira sílaba do nome do múltiplo do binário seja pronunciada da mesma maneira que o prefixo correspondente no SI, e a segunda sílaba seja pronunciada como “bi”.

5.5 Modo de Execução

No modo de execução (*Run*), o CLP passa a executar o programa do usuário. CLPs de maior porte podem sofrer alterações de programa mesmo durante a execução. Esse tipo de programação é chamado de *on-line* (em operação).

O funcionamento do CLP é baseado num sistema microprocessado em que há uma estrutura de *software* que realiza continuamente ciclos de leitura, chamados de *scan*. O *scan* é constituído de três processos:

1. Efetua a leitura de dados através dos dispositivos via interface de entrada.
2. Executa o programa de controle armazenado na memória.
3. Escreve ou atualiza os dispositivos de saída via interface de saída.

A Figura a seguir mostra o processo ocorrido no ciclo de *scan* de um CLP.

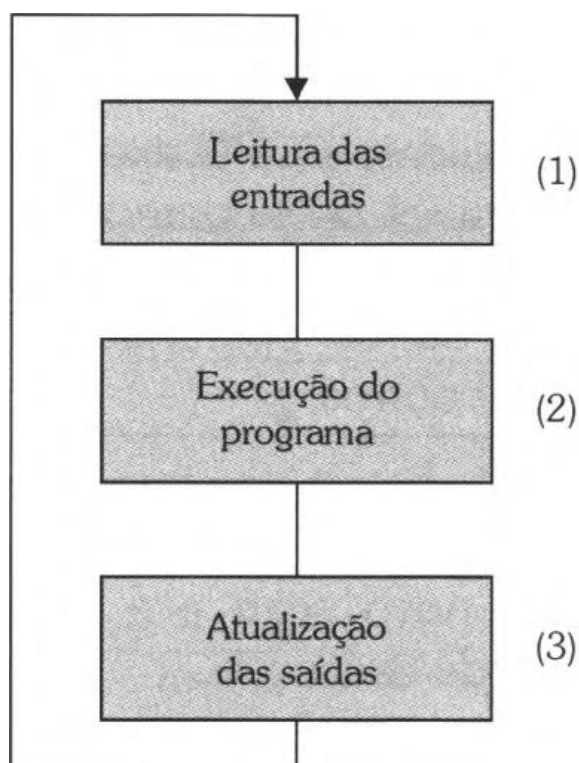
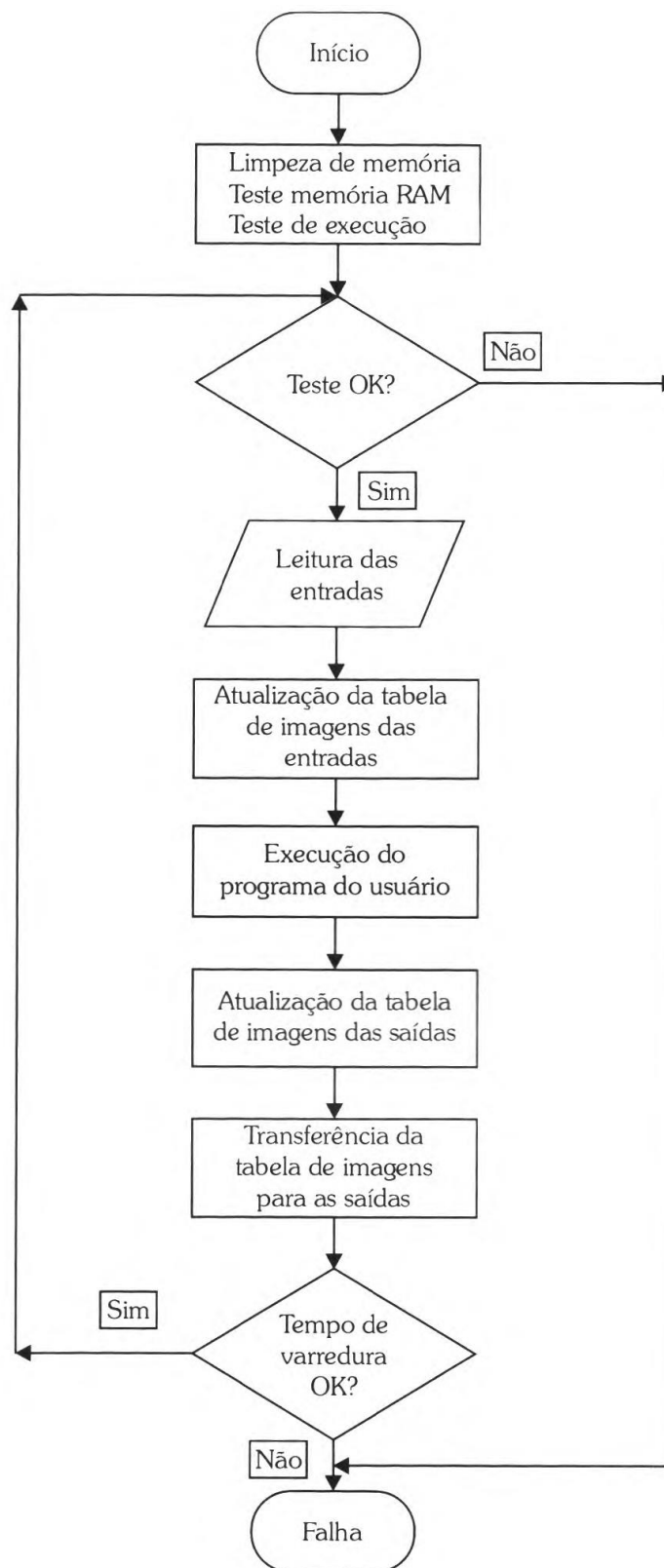


Ilustração do scan do CLP.



Fluxograma de funcionamento do CLP

5.6 Linguagem de Programação

Imagine que um gerente deseja passar instruções a um operador de determinado processo. Se ambos falarem português, instruções típicas poderiam ser: ligue o motor, desligue o motor, some dois valores, subtraia dois valores, acenda a lâmpada, apague a lâmpada, ligue a sirene e assim por diante. Portanto, para que haja uma efetiva comunicação, é necessário utilizar uma linguagem que ambos entendam. Os efeitos seriam os mesmos se as instruções fossem dadas em japonês, desde que ambos entendam japonês.

Genericamente, linguagem é um meio de transmissão de informações entre dois ou mais elementos com capacidade de se comunicarem. Esses elementos não ficam restritos aos seres humanos, nem mesmo é exclusividade dos seres vivos, já que máquinas podem ser construídas com tal capacidade.

Na área da computação, define-se instrução como um comando que permite a um sistema com capacidade computacional realizar determinada operação.

Linguagem de programação é o conjunto padronizado de instruções que o sistema computacional é capaz de reconhecer. Programar significa fornecer uma série de instruções a um sistema com capacidade computacional, de maneira que este seja capaz de comportar-se determinadamente, executando de forma automática as decisões de controle em função do estado atual, das entradas e das saídas do sistema num dado instante.

O programador é responsável por prever as situações possíveis do sistema, planejar uma estratégia de controle e codificar as instruções em uma linguagem de programação padronizada para posteriormente serem passadas ao sistema computacional.

5.6.1 Norma IEC 61131-3

Nos últimos anos houve um enorme avanço nas técnicas e nas linguagens de programação. Vários métodos de modelagem foram desenvolvidas e poderosas linguagens criadas, visando atender aos mais diversos setores. Inegavelmente a programação dos controladores lógicos programáveis é atualmente mais simples e flexível do que antes, principalmente porque foram desenvolvidas ou aperfeiçoadas várias linguagens proprietárias, incluindo variações da linguagem *Ladder* e da linguagem de Lista de Instruções. A inexistência de normas em relação às linguagens de programação dos CLPs fez surgir inúmeras variantes destas ao longo do tempo, todas diferentes entre si. Do ponto de vista das empresas usuárias, é claramente um desperdício de dinheiro e de recursos humanos, já que as habilidades desenvolvidas por seus funcionários na utilização de um determinado tipo de CLP não pode ser reaproveitadas quando sua substituição por outro tipo de fabricante.

Assim, quando a empresa necessita trocar o CLP antigo devido ao aumento de demanda ou mesmo para incorporar novos recursos, investimentos devem ser feitos em aquisição e desenvolvimentos de *software*, *hardware* e em treinamento do pessoal envolvido na implantação e manutenção desses sistemas incluindo técnicos, projetistas de sistemas até mesmo os gerentes da planta.

Felizmente a comunidade industrial reconheceu que era necessário estabelecer um padrão aberto para os CLPs, visando à uniformização de procedimentos dos diversos fabricantes. Para tanto, foi criado um grupo de trabalho no IEC (*International Electrotechnical Commission*) para estabelecer normas a todo o ciclo de desenvolvimento dos CLPs, incluindo o projeto de *hardware*, instalação, testes, documentação, programação e comunicação.

No início da década de 1990, o IEC publicou várias partes da norma IEC 1131 que cobre o ciclo de vida completo dos CLPs. Essa norma é considerada, por alguns, um marco histórico para os CLPs. Alguns anos depois essa norma foi revisada e recebeu o número IEC 61131 cuja terceira parte – IEC 61131-3 – trata das linguagens de programação. Com o objetivo de simplificar a sua análise, é usual dividi-la em três seções:

- Generalidades;
- Elementos comuns;
- Linguagem de programação.

5.6.2 Tipos de Linguagem de Programação

Visando atender aos diversos segmentos da indústria, incluindo seus usuários, e uniformizar as várias metodologias de programação dos controladores industriais, a norma IEC 61131-3 definiu sintática e semanticamente cinco linguagens de programação:

- Diagrama de Blocos de Funções (FBD – *Function Block Diagram*)
- Linguagem *Ladder* (LD – *Ladder Diagram*)
- Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC – *System Function Chart*)
- Lista de Instruções (IL – *Instruction List*)
- Texto Estruturado (ST – *Structured Text*)

5.6.2.1 Linguagem *Ladder* (LD)

É uma linguagem gráfica baseada na lógica de relés e contatos elétricos para a realização de circuitos de comandos de acionamentos. Por ser a primeira linguagem utilizada pelos fabricantes, é a mais difundida e encontrada em quase todos os CLPs da atual geração.

Bobinas e contatos são símbolos utilizados nessa linguagem. Os símbolos de contatos programados em uma linha representam as condições que serão avaliadas de acordo com a lógica. Como resultado determina o controle de uma saída, que normalmente é representado pelo símbolo de uma bobina.

Recebeu vários nomes desde sua criação, entre eles diagrama escada, diagrama de contatos e linguagem de contatos. Consideramos linguagem de *Ladder* pelos seguintes motivos: Primeiramente por ser o nome mais conhecido no meio industrial, em segundo lugar, pela tradução literal, a palavra mais próxima seria “diagrama do tipo escada”. No entanto, poderia gerar confusão, já que a pronúncia é a mesma da palavra SCADA, a

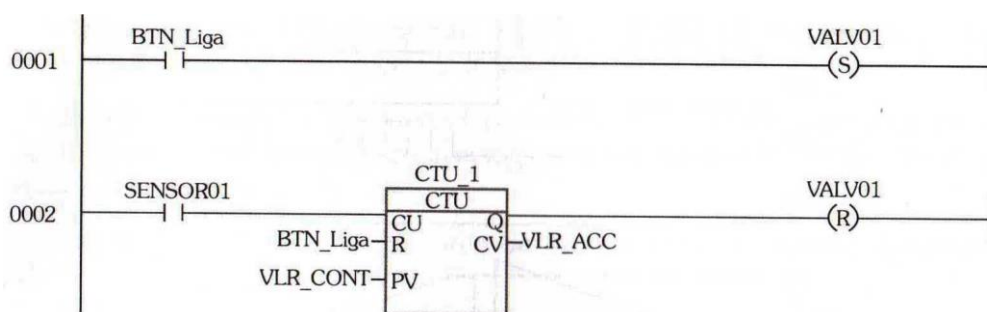
qual é comumente adotada no meio industrial para referir-se aos sistemas supervisórios. Por último, “diagrama de contatos” somente esclarece que é um tipo de diagrama e não é suficiente para caracterizar que este seja implementado em CLP, uma vez que um diagrama de contatos também pode ser implementado utilizando elementos físicos discretos como relés, contadores, temporizadores e outros, montados em painéis elétricos.

5.6.3 Exemplo Resolvido

Exemplo: Em uma loja deseja-se montar um contador automático de parafusos, separando-os em centenas. O sistema é composto de um reservatório do tipo funil que contem parafusos. Em sua extremidade mais fina há uma válvula borboleta que, quando energizada, abre-se e permite a queda de parafusos um a um, e também um sensor fotoelétrico que gera um pulso todas as vezes que um parafuso passa a sua frente. Após atingida a contagem de 100 parafusos a válvula borboleta deve ser fechada. Elabore um programa em linguagem *Ladder* para atender a essa necessidade.

Solução 1: Implementação em controlador que segue a norma IEC 61131-3.

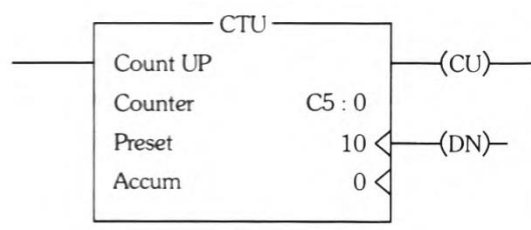
A implementação pode ser vista na figura a seguir, No primeiro degrau, ao ser pressionado o botão liga (BNT_Liga), é ativada a bobina da válvula (VALV01), que é de autorretenção (*set*). Quando o sensor fotoelétrico (SENSOR01) detecta a passagem de um parafuso, envia um sinal ao bloco contador CU que incrementa uma unidade ao valor CV. Quando o valor de CV for igual ao valor pré-programado (PV) dado por VLR_CONT = 100, a saída Q do bloco é ativada e vai desligar a válvula, pelo acionamento da bobina de *reset* da válvula.



Implementação em um controlador que segue a norma IEC 61131-3

Solução 2: Implementação nos controladores *Allen-Bradley* (RSLogix500).

Como já comentamos antes, os controladores *Allen-Bradley* ainda não seguem a simbologia de norma IEC 61131-3. O bloco de contagem crescente (CTU) é descrito na Figura 8.8.



Controlador crescente (Allen-Bradley)

Em que:

- **Conter:** apresenta o endereço do contador utilizado (neste caso, C5:0).
- **Preset:** indica o valor desejado de contagem (equivalente a PV na norma IEC).
- **Accum:** indica o valor atual da contagem (equivalente ao CV na norma IEC).

O bit DN (equivalente ao bit Q na norma IEC) é levado a nível 1 quando o valor acumulado é igual ou maior que o valor pré-programado ($Accum \geq Preset$), assim esse bit é utilizado na forma de contato NA ou NF para ligar ou desligar outras saídas.

O *Reset* do contador é feito extremamente ao bloco, numa bobina de *reset*, conforme a Figura a seguir.

C5 : 0
----- (RES) -----

Instrução para repor o valor acumulado do contador em zero (reset) nos contadores Allen-Bradley.

6. BIBLIOGRAFIA

Franchi, Claiton Moro. Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos / Valter Luís Arlindo de Camargo. --2.ed. – São Paulo: Érica, 2009.

Franchi, Claiton Moro. Inversores de Frequência: teoria e Atividades --2.ed. – São Paulo: Érica, 2009.

G.Nascimento. Comandos Elétricos: teoria e Atividades --1.ed. – São Paulo:Érica,2011