

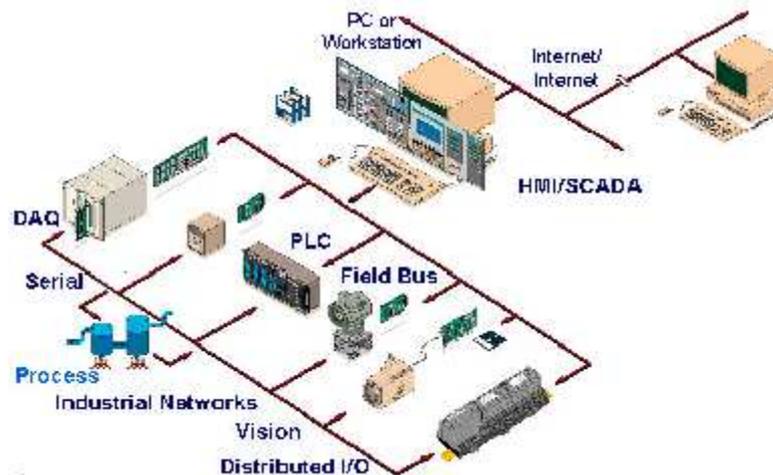


FUMEP – Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba

EEP – Escola de Engenharia de Piracicaba

COTIP – Colégio Técnico Industrial de Piracicaba

## ***CURSO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL***



Prof. Msc. Marcelo Eurípedes da Silva

Piracicaba, 05 de Setembro de 2007

## 1 - Introdução

A palavra automação está diretamente ligada ao controle automático, ou seja ações que não dependem da intervenção humana. Este conceito é discutível pois a “mão do homem” sempre será necessária, pois sem ela não seria possível a construção e implementação dos processos automáticos. Entretanto não é o objetivo deste trabalho este tipo de abordagem filosófica, ou sociológica.

Historicamente, o surgimento da automação está ligado com a mecanização, sendo muito antigo, remontando da época de 3500 e 3200 a.C., com a utilização da roda. O objetivo era sempre o mesmo, o de simplificar o trabalho do homem, de forma a substituir o esforço braçal por outros meios e mecanismos, liberando o tempo disponível para outros afazeres, valorizando o tempo útil para as atividades do intelecto, das artes, lazer ou simplesmente entretenimento (Silveira & Santos, 1998). Enfim, nos tempos modernos, entende-se por automação qualquer sistema apoiado em microprocessadores que substitua o trabalho humano.

Atualmente a automação industrial é muito aplicada para melhorar a produtividade e qualidade nos processos considerados repetitivos, estando presente no dia-a-dia das empresas para apoiar conceitos de produção tais como os Sistemas Flexíveis de Manufatura e até mesmo o famoso Sistema Toyota de Produção.

Sob o ponto de vista produtivo, a automação industrial pode ser dividida em três classes: a rígida, a flexível e a programável, aplicadas a grandes, médios e pequenos lotes de fabricação, respectivamente (Rosário, 2005).

Ainda segundo Rosário (2005), a automação industrial pode ser entendida como uma tecnologia integradora de três áreas: a eletrônica responsável pelo hardware, a mecânica na forma de dispositivos mecânicos (atuadores) e a informática responsável pelo software que irá controlar todo o sistema. Desse modo, para efetivar projetos nesta área exige-se uma grande gama de conhecimentos, impondo uma formação muito ampla e diversificada dos projetistas, ou então um trabalho de equipe muito bem coordenado com perfis interdisciplinares. Os grandes projetos neste campo envolvem uma infinidade de profissionais e os custos são suportados geralmente por grandes empresas.

Recentemente, para formar profissionais aptos ao trabalho com automação, surgiu a disciplina “mecatrônica”. Entretanto é uma tarefa muito difícil a absorção de forma completa todos os conhecimentos necessários, e este profissional com certeza se torna um “generalista” que eventualmente pode precisar da ajuda de especialistas de outras áreas. Este ainda é um desafio didático a ser resolvido, mas ainda existe uma alternativa que é a criação de equipes multidisciplinares.

Os sistemas automatizados podem ser aplicados em simples máquina ou em toda indústria, como é o caso das usinas de cana e açúcar. A diferença está no número de elementos monitorados e controlados, denominados de “pontos”. Estes podem ser simples válvulas ou servomotores, cuja eletrônica de controle é bem complexa. De uma forma geral o processo sob controle tem o diagrama semelhante ao mostrado na figura 1.1, onde os citados pontos correspondem tanto aos atuadores quanto aos sensores.

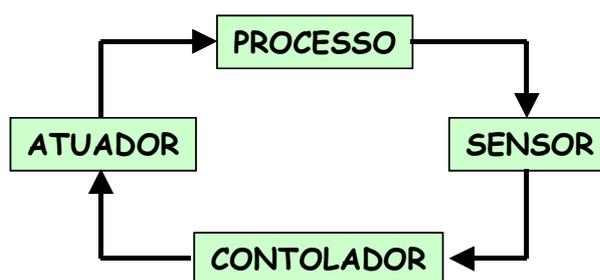


Figura 1.1 – Diagrama simplificado de um sistema de controle automático

Os sensores são os elementos que fornecem informações sobre o sistema, correspondendo as entradas do controlador. Esses podem indicar variáveis físicas, tais como pressão e temperatura, ou simples estados, tal como um fim-de-curso posicionado em um cilindro pneumático.

Os *atuadores* são os dispositivos responsáveis pela realização de trabalho no processo ao qual está se aplicando a automação. Podem ser magnéticos, hidráulicos, pneumáticos, elétricos, ou de acionamento misto.

O *controlador* é o elemento responsável pelo acionamento dos atuadores, levando em conta o estado das entradas (sensores) e as instruções do programa inserido em sua memória. Neste curso esse elemento será denominado de Controlador Lógico Programável (CLP).

A completa automatização de um sistema envolve o estudo dos quatro elementos da figura 1.1, seja o sistema de pequeno, médio ou grande porte. Estes últimos podem atingir uma complexidade e tamanho tais que, para o seu controle, deve-se dividir o problema de controle em camadas, onde a comunicação e “hierarquia” dos elementos é similar a uma estrutura organizacional do tipo funcional. A figura 1.2 mostra de forma simplificada este tipo de organização.

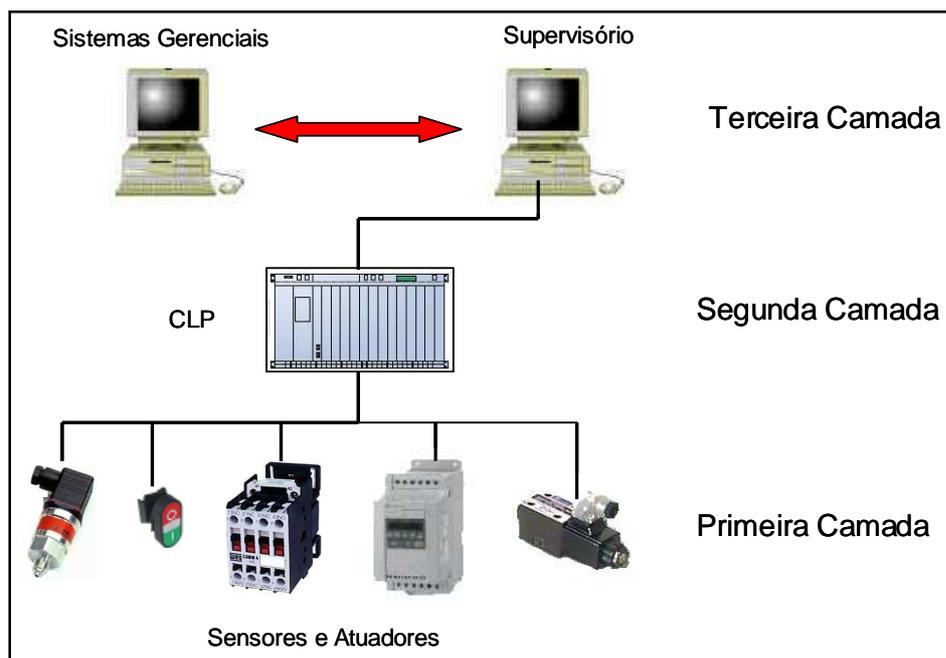


Figura 1.2 – Arquitetura de rede simplificada para um sistema automatizado

Nota-se que os elementos mostrados na figura 1.1 pertencem a primeira e segunda camadas. Na terceira camada estão os sistemas supervísórios, operados pela “mão humana”, onde são tomadas decisões importantes no processo, tal como paradas programadas de máquina e alterações no volume de produção. Esses também estão integrados com os sistemas gerenciais, responsáveis pela contabilidade dos produtos e recursos fabris.

Dentro do contexto apresentado, o objetivo deste curso é o de estudar um sistema automatizado até o nível do elemento “controlador”. Apresenta-se a sua interface com os sensores e atuadores, bem como uma de suas possíveis linguagens de programação.

Para finalizar é importante dizer que além dos conceitos aqui apresentados, de forma resumida, a Automação Industrial compreende um campo de atuação amplo e vasto. Para se ter uma noção, cada elemento sensor ou atuador tem o seu próprio funcionamento, que em algumas aplicações tem de ser bem entendidos.

No caso dos sensores todo o comportamento é previsto através de efeitos físicos, existe uma disciplina denominada de “Instrumentação” cujo objetivo é o de somente estudar estes elementos.

Para os atuadores, só para os motores de indução, existe uma grande quantidade de bibliografia disponível, e ainda tem-se os Motores de Passo e os Servomotores.

Como foi dito, a cadeia de automação ainda consiste na comunicação de dados entre os elementos, o que leva um estudo a parte das redes industriais.

Algum tempo atrás, principalmente nas indústrias químicas, existia o esquema de controle centralizado, possível com a introdução da instrumentação eletrônica. Neste conceito existia uma sala localizada a grandes distâncias do núcleo operacional. Esta destinava-se a centralizar todo o controle efetuado ao longo do parque fabril. Atualmente existem diversas outras salas de controle, distribuídas geograficamente, interligadas entre si e a uma sala central de supervisão. Surgiu então o conceito do controle distribuído.

Uma das derivações da estratégia de controle distribuído é a do SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído. Este se caracteriza pelos diferentes níveis hierárquicos estabelecidos pela comunicabilidade entre uma máquina de estado (processo propriamente dito) e outras.

Enfim, devido a esta grande variedade de conhecimentos, como já dito anteriormente, o foco deste curso será na programação dos Controladores Lógico Programáveis (CLPs) que são o cérebro de todo o processo. Os demais elementos serão vistos de forma sucinta em capítulos subseqüentes.

## 2 – Variáveis de Controle

Como foi dito no capítulo anterior, para controlar um processo o CLP usa de informações vindas de sensores. Através das instruções gravadas em sua memória interna ela comanda os atuadores, que exercem o trabalho sobre o sistema.

Conceitualmente designa-se os sensores de entradas e os atuadores de saídas, sendo que ambas podem ser representadas matematicamente por variáveis. Em automação, estas podem ser divididas em analógicas e digitais.

As variáveis *analógicas* são aquelas que variam continuamente com o tempo, conforme mostra a figura 2.1(a). Elas são comumente encontradas em processos químicos advindas de sensores de pressão, temperatura e outras variáveis físicas. As variáveis *discretas*, ou digitais, são aquelas que variam discretamente com o tempo, como pode ser visto na figura 2.1(b).

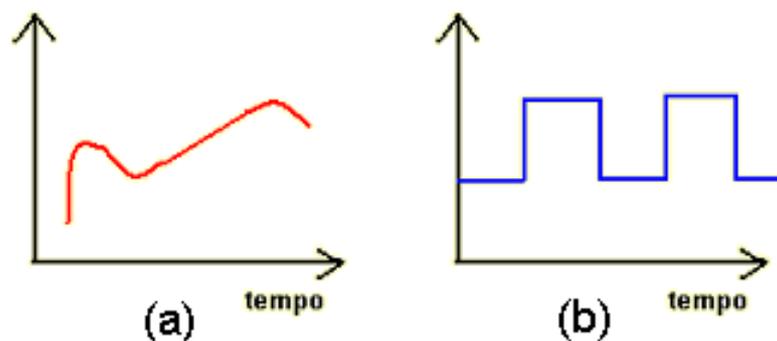


Figura 2.1 – Variáveis analógicas e digitais

Dessa forma podemos definir o Controle Analógico como aquele que se destina ao monitoramento das variáveis analógicas e ao controle discreto como sendo o monitoramento das variáveis discretas. O primeiro tipo engloba variáveis discretas, consistindo assim em um conceito mais amplo.

Ainda no controle analógico podemos separar entradas convencionais, tais como comandos do operador, ou variáveis discretas gerais, das entradas analógicas advindas de sensores ligados diretamente as saídas do processo. Estas últimas serão comparadas a uma referência que consiste no valor estável desejado para o controle (ver figura 2.2). Essa referência também é conhecida como “*set-point*”. Neste tipo de controle, onde as saídas são medidas para cálculo da estratégia de controle dizemos que há uma “*realimentação*”. Esse sistema é conhecido como sistema em “*malha fechada*”. Se não há a medição das saídas dizemos que o sistema tem “*malha aberta*”.

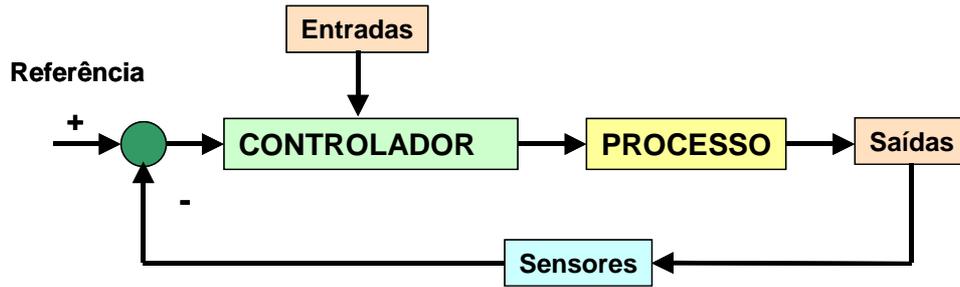


Figura 2.2 – Estratégia de controle analógico com realimentação

A automação, como a imaginamos, tem a ver mais com o comando seqüencial de ações que visam a fabricação, transporte ou inspeção de produtos. Desse modo, trabalha-se muito mais com variáveis digitais, e por isso serão as mesmas serão focalizadas no curso. O tratamento das variáveis analógicas são tema da disciplina “Engenharia de Controle”.

## 2.1 - Diferentes tipos de entradas e saídas

Como já dito antes, estaremos estudando o comportamento do controlador em um ambiente automatizado. Mas está bem claro que este comportamento é definido através de um programa do usuário e do comportamento das entradas e em alguns casos também das saídas. Assim neste tópico cita-se o exemplo de algumas entradas e saídas, que podem influenciar no comportamento do controlador. Lembrando que algumas destas entradas serão vistas em maiores detalhes posteriormente.

**A) Entradas discretas:** são aquelas que fornecem apenas um pulso ao controlador, ou seja, elas têm apenas um estado ligado ou desligado, nível alto ou nível baixo, remontando a álgebra booleana que trabalha com uns e zeros. Alguns exemplos são mostrados na figura 2.3, dentre elas: as botoeiras (2.3a), válvulas eletro-pneumáticas (2.3b), os pressostatos (2.3c) e os termostatos (2.3d).

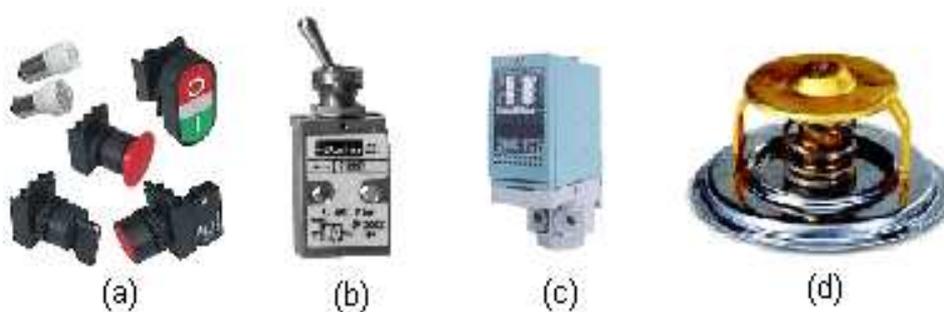


Figura 2.3 – Tipos de entradas discretas

**B) Entradas multi-bits:** são intermediárias as entradas discretas e as analógicas. Estas destinam-se a controles mais precisos como no caso do motor de passo ou servomotores. A diferença para as entradas analógicas é que estas não exigem um conversor analógico digital na entrada do controlador. Um exemplo clássico é o dos Encoders, utilizados para medição de velocidade e posicionamento (figura 2.4).



Figura 2.4 – Exemplos de entradas multi-bits – Encoders

**C) Entradas analógicas:** como o próprio nome já diz elas medem as grandezas de forma analógica. Para trabalhar com este tipo de entrada os controladores tem conversores analógico-digitais (A/D). Atualmente no mercado os conversores de 10 bits são os mais populares. As principais medidas feitas de forma analógica são a temperatura e pressão. Na figura 2.5 tem-se mostra-se o exemplo de sensores de pressão ou termopares.

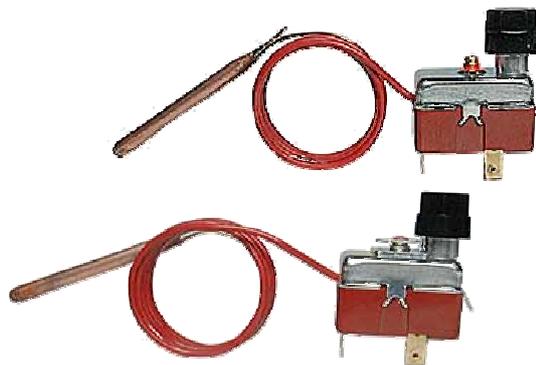


Figura 2.5 – Exemplos de entradas analógicas – Termopares

**D) Saídas discretas:** são aquelas que exigem do controlador apenas um pulso que determinará o seu acionamento ou desacionamento. Como exemplo têm-se elementos mostrados na figura 2.6: Contatores (2.6a) que acionam os Motores de Indução (2.6b) e as Válvulas Eletro-pneumáticas (2.6c).

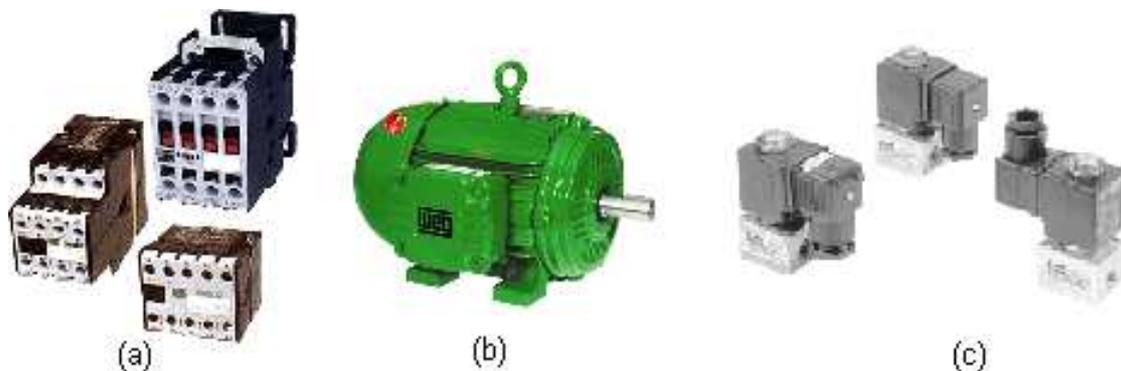


Figura 2.6 – Exemplos de saídas discretas

**E) Saídas multi-bits:** têm o conceito de operação semelhante as entradas da mesma categoria. Como principais exemplos têm-se os drivers dos Motores de Passo (figura 2.7a) e os servomotores (figura 2.7b).



Figura 2.7 – Exemplos de saídas multi-bits: Motor de Passo e Servomotor

**F) Saídas analógicas:** como dito anteriormente, de forma similar o controlador necessita de um conversor digital para analógico (D/A), para trabalhar com este tipo de saída. Os exemplos mais comuns são: válvula proporcional, acionamento de motores DC, displays gráficos, entre outros.

### 3 - Revisão de comandos elétricos

Conceitualmente o estudo da eletricidade é dividido em três grandes áreas: a geração, a distribuição e o uso. Dentre elas a disciplina de comandos elétricos está direcionada ao uso desta energia, assim pressupõe-se neste texto que a energia já foi gerada, transportada a altas tensões e posteriormente reduzida aos valores de consumo, com o uso de transformadores apropriados.

Por definição os comandos elétricos tem por finalidade a manobra de motores elétricos que são os elementos finais de potência em um circuito automatizado. Entende-se por manobra o estabelecimento e condução, ou a interrupção de corrente elétrica em condições normais e de sobre-carga. Os principais tipos de motores são:

- Motor de Indução
- Motor de corrente contínua
- Motores síncronos
- Servomotores
- Motores de Passo

Estima-se que 40% do consumo de energia no país é destinada ao acionamento dos motores elétricos (Filippo Filho, 2000). No setor industrial, mais da metade da energia é consumida por motores.

Os Servomotores e Motores de Passo necessitam de um “driver” próprio para o seu acionamento, tais conceitos fogem do escopo deste curso. Dentre os motores restantes, os que ainda têm a maior aplicação no âmbito industrial são os motores de indução trifásicos, pois em comparação com os motores de corrente contínua, de mesma potência, eles tem menor tamanho, menor peso e exigem menos manutenção. A figura 3.1 mostra um motor de indução trifásico típico.

Existem diversas aplicações para os motores de indução, dentre elas pode-se citar:

- O transporte de fluídos incompressíveis, onde se encontram as bombas de água e óleo;
- O processamento de materiais metálicos, representado pelas furadeiras, prensas, tornos;
- A manipulação de cargas feita pelos elevadores, pontes rolantes, talhas, guindastes, correias transportadoras, entre outros.



Figura 3.1 – Motor de Indução Trifásico

Havendo ressaltada a importância dos motores em sistemas automatizados, descreve-se nos próximos parágrafos, os conceitos de comandos, necessários a manobra dos mesmos.

Um dos pontos fundamentais para o entendimento dos comandos elétricos é a noção de que “os objetivos principais dos elementos em um painel elétrico são: a) proteger o operador e b) propiciar uma lógica de comando”.

Partindo do princípio da proteção do operador, mostra-se na figura 3.2, uma seqüência genérica dos elementos necessários a partida e manobra de motores, onde são encontrados os seguintes elementos:

- **Seccionamento:** só pode ser operado sem carga. Usado durante a manutenção e verificação do circuito.
- **Proteção contra correntes de curto-circuito:** destina-se a proteção dos condutores do circuito terminal.
- **Proteção contra correntes de sobrecarga:** para proteger as bobinas do enrolamento do motor.
- **Dispositivos de manobra:** destinam-se a ligar e desligar o motor de forma segura, ou seja, sem que haja o contato do operador no circuito de potência, onde circula a maior corrente.

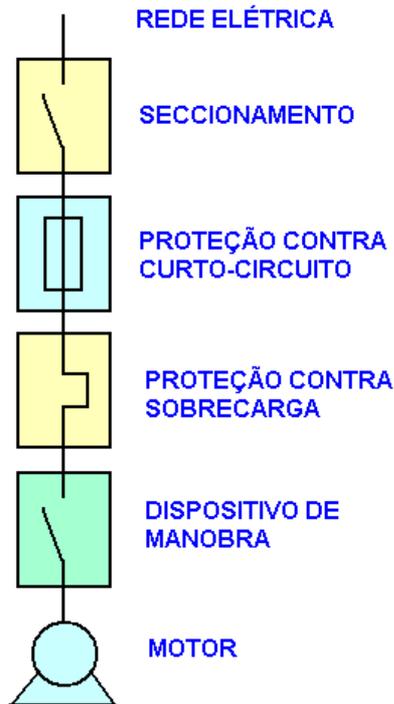


Figura 3.2 – Seqüência genérica para o acionamento de um motor

É importante repetir que no estudo de comandos elétricos deve-se ter a seqüência mostrada na figura 3.2 em mente, pois ela consiste na orientação básica para o projeto de qualquer circuito.

Ainda falando em proteção, as manobras (ou partidas de motores) convencionais, são divididas em dois tipos, segundo a norma IEC 60947:

- I. **Coordenação do tipo 1:** Sem risco para as pessoas e instalações, ou seja, desligamento seguro da corrente de curto-circuito. Porém podem haver danos ao *contator* e ao *relé de sobrecarga*.
- II. **Coordenação do tipo 2:** Sem risco para as pessoas e instalações. Não pode haver danos ao *relé de sobrecarga* ou em outras partes, com exceção de leve fusão dos contatos do *contator* e estes permitam uma fácil separação sem deformações significativas.

O *relé de sobrecarga*, os *contatores* e outros elementos em maiores detalhes nos capítulos posteriores, bem como a sua aplicação prática em circuitos reais.

Em comandos elétricos trabalhar-se-á bastante com um elemento simples que é o contato. A partir do mesmo é que se forma toda lógica de um circuito e também é ele quem dá ou não a condução de corrente. Basicamente existem dois tipos de contatos, listados a seguir:

- i. **Contato Normalmente Aberto (NA):** não há passagem de corrente elétrica na posição de repouso, como pode ser observado na figura 3.3(a). Desta forma a carga não estará acionada.
- ii. **Contato Normalmente Fechado (NF):** há passagem de corrente elétrica na posição de repouso, como pode ser observado na figura 3.3(b). Desta forma a carga estará acionada.

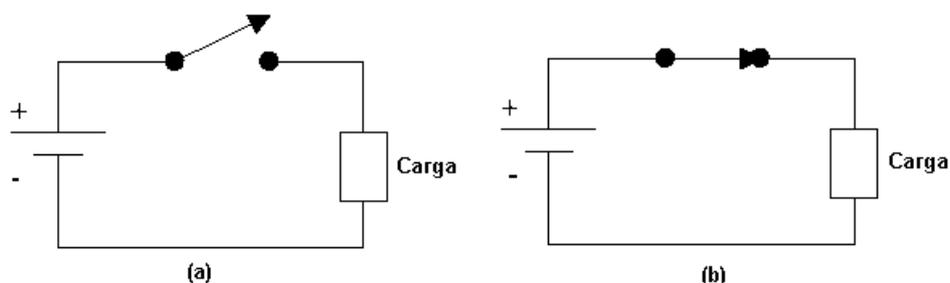


Figura 3.3 – Representação dos contatos NA e NF

Os citados contatos podem ser associados para atingir uma determinada finalidade, como por exemplo, fazer com que uma carga seja acionada somente quando dois deles estiverem ligados. As principais associações entre contatos são descritas a seguir.

### 3.1 - Associação de contatos normalmente abertos

Basicamente existem dois tipos, a associação em série (figura 3.4a) e a associação em paralelo (3.4b).

Quando se fala em associação de contatos é comum montar uma tabela contendo todas as combinações possíveis entre os contatos, esta é denominada de “*Tabela Verdade*”. As tabelas 3.1 e 3.2 referem-se as associações em série e paralelo.

Nota-se que na combinação em série a carga estará acionada somente quando os dois contatos estiverem acionados e por isso é denominada de “*função E*”. Já na combinação em paralelo qualquer um dos contatos ligados aciona a carga e por isso é denominada de “*função OU*”.

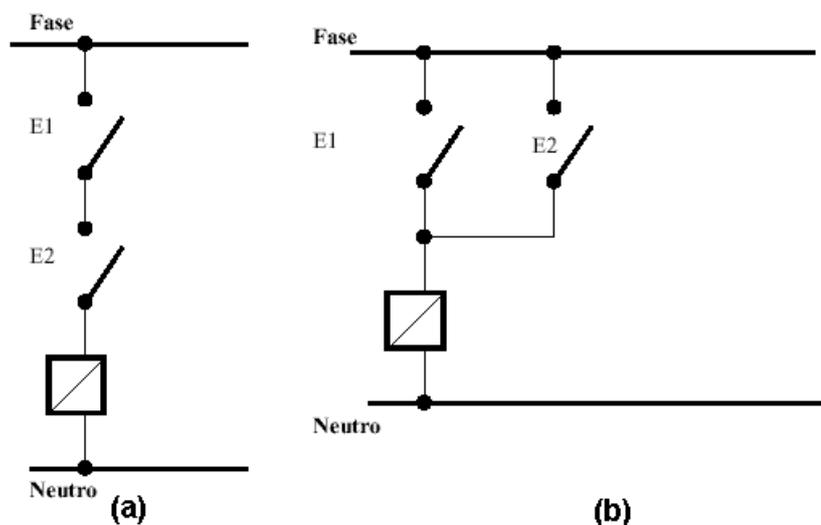


Figura 3.4 – Associação de contatos NA

| CONTATO E1 | CONTATO E2 | CARGA     |
|------------|------------|-----------|
| repouso    | repouso    | desligada |
| repouso    | acionado   | desligada |
| acionado   | repouso    | desligada |
| acionado   | acionado   | ligada    |

| CONTATO E1 | CONTATO E2 | CARGA     |
|------------|------------|-----------|
| repouso    | repouso    | desligada |
| repouso    | acionado   | ligada    |
| acionado   | repouso    | ligada    |
| acionado   | acionado   | ligada    |

### 3.2 - Associação de contatos normalmente fechados

Os contatos NF da mesma forma podem ser associados em série (figura 3.5a) e paralelo (figura 3.5b), as respectivas tabelas verdade são 3.3 e 3.4.

Nota-se que a tabela 3.3 é exatamente inversa a tabela 3.2 e portanto a associação em série de contatos NF é denominada “*função não OU*”. Da mesma forma a associação em paralelo é chamada de “*função não E*”.

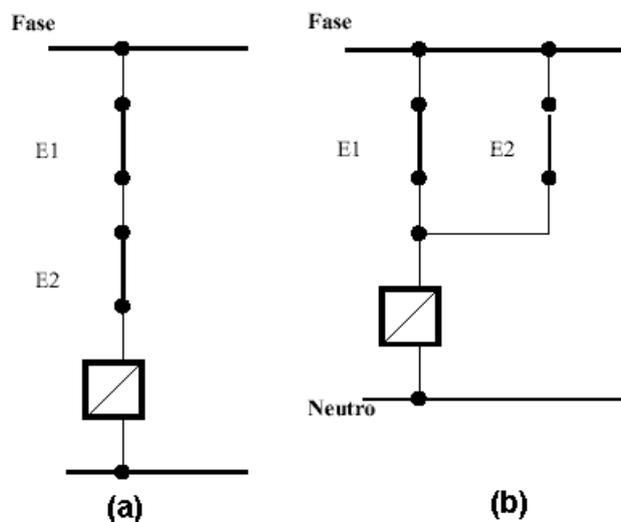


Figura 3.5 – Associação de contatos NF

| <b>Tabela 3.3 – Associação em série de contatos NF</b> |            |           |
|--------------------------------------------------------|------------|-----------|
| CONTATO E1                                             | CONTATO E2 | CARGA     |
| repouso                                                | repouso    | ligada    |
| repouso                                                | acionado   | desligada |
| acionado                                               | repouso    | desligada |
| acionado                                               | acionado   | desligada |

| <b>Tabela 3.4 – Associação em paralelo de contatos NF</b> |            |           |
|-----------------------------------------------------------|------------|-----------|
| CONTATO E1                                                | CONTATO E2 | CARGA     |
| repouso                                                   | repouso    | ligada    |
| repouso                                                   | acionado   | ligada    |
| acionado                                                  | repouso    | ligada    |
| acionado                                                  | acionado   | desligada |

### 3.3 - Principais elementos em comandos elétricos

Havendo estudado os principais tipos de contato, o próximo passo é conhecer os componentes de um painel elétrico.

### 3.3.1 - Botoeira ou Botão de comando

Quando se fala em ligar um motor, o primeiro elemento que vem a mente é o de uma chave. Entretanto, no caso de comandos elétricos a “chave” que liga os motores é diferente de uma chave usual, destas encontradas em residências, utilizadas para ligar a luz, por exemplo. A diferença principal está no fato de que ao movimentar a “chave residencial” ela vai para uma posição e permanece nela, mesmo quando se retira a pressão do dedo. Na “chave industrial” ou botoeira há o retorno para a posição de repouso através de uma mola, como pode ser observado na figura 3.6a. O entendimento deste conceito é fundamental para compreender o porque da existência de um *selo* no circuito de comando.

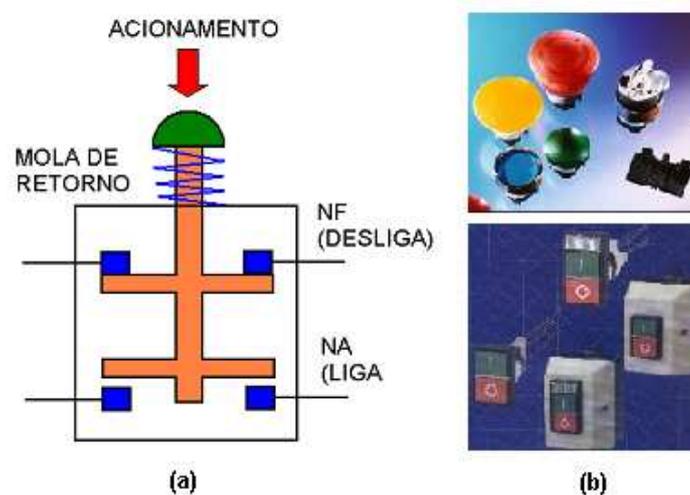


Figura 3.6 – (a) Esquema de uma botoeira – (b) Exemplos de botoeiras comerciais

A botoeira faz parte da classe de componentes denominada “*elementos de sinais*”. Estes são dispositivos pilotos e **nunca são aplicados no acionamento direto de motores**.

A figura 3.6a mostra o caso de uma botoeira para comutação de 4 pólos. O contato NA (Normalmente Aberto) pode ser utilizado como botão LIGA e o NF (Normalmente Fechado) como botão DESLIGA. Esta é uma forma elementar de *intertravamento*. Note que o retorno é feito de forma automática através de mola. Existem botoeiras com apenas um contato. Estas últimas podem ser do tipo NA ou NF.

Ao substituir o botão manual por um rolete, tem-se a chave fim de curso, muito utilizada em circuitos pneumáticos e hidráulicos. Este é muito utilizado na movimentação de cargas, acionado no esbarro de um caixote, engradado, ou qualquer outra carga.

Outros tipos de elementos de sinais são os Termostatos, Pressostatos, as Chaves de Nível e as chaves de fim de curso (que podem ser roletes).

Todos estes elementos exercem uma ação de controle discreta, ou seja, liga / desliga. Como por exemplo, se a pressão de um sistema atingir um valor máximo, a ação do Pressostato será a de mover os contatos desligando o sistema. Caso a pressão atinja novamente um valor mínimo atua-se re-ligando o mesmo.

### 3.3.2 - Relés

Os *relés* são os elementos fundamentais de manobra de cargas elétricas, pois permitem a combinação de lógicas no comando, bem como a separação dos circuitos de potência e comando. Os mais simples constituem-se de uma carcaça com cinco terminais. Os terminais (1) e (2) correspondem a bobina de excitação. O terminal (3) é o de entrada, e os terminais (4) e (5) correspondem aos contatos normalmente fechado (NF) e normalmente aberto (NA), respectivamente.

Uma característica importante dos relés, como pode ser observado na figura 3.7 é que a tensão nos terminais (1) e (2) pode ser 5 Vcc, 12 Vcc ou 24 Vcc, enquanto simultaneamente os terminais (3), (4) e (5) podem trabalhar com 110 Vca ou 220 Vca. Ou seja **não há contato físico** entre os terminais de acionamento e os de trabalho. Este conceito permitiu o surgimento de dois circuitos em um painel elétrico:

- i. **Circuito de comando:** neste encontra-se a interface com o operador da máquina ou dispositivo e portanto trabalha com baixas correntes (até 10 A) e/ou baixas tensões.
- ii. **Circuito de Potência:** é o circuito onde se encontram as cargas a serem acionadas, tais como motores, resistências de aquecimento, entre outras. Neste podem circular correntes elétricas da ordem de 10 A ou mais, e atingir tensões de até 760 V.

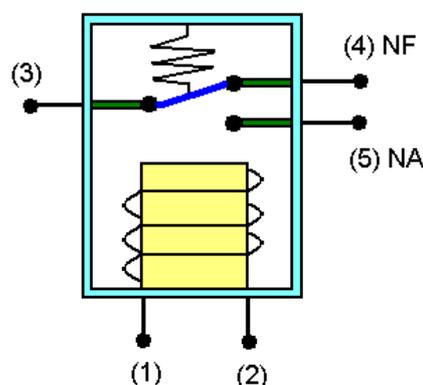


Figura 3.7 – Diagrama esquemático de um relé

Em um painel de comando, as botoeiras, sinaleiras e controladores diversos ficam no circuito de comando.

Do conceito de relés pode-se derivar o conceito de contadores, visto no próximo item.

### 3.3.3 - Contadores

Para fins didáticos pode-se considerar os contadores como relés expandidos pois o princípio de funcionamento é similar. Conceituando de forma mais técnica, o *contator* é um elemento eletro-mecânico de *comando a distância*, com uma única posição de repouso e sem travamento.

Como pode ser observado na figura 3.8, o contator consiste basicamente de um núcleo magnético excitado por uma bobina. Uma parte do núcleo magnético é móvel, e é atraído por forças de ação magnética quando a bobina é percorrida por corrente e cria um fluxo magnético. Quando não circula corrente pela bobina de excitação essa parte do núcleo é repelida por ação de molas. Contatos elétricos são distribuídos solidariamente a esta parte móvel do núcleo, constituindo um conjunto de contatos móveis. Solidário a carcaça do contator existe um conjunto de contatos fixos. Cada jogo de contatos fixos e móveis podem ser do tipo Normalmente aberto (NA), ou normalmente fechados (NF).

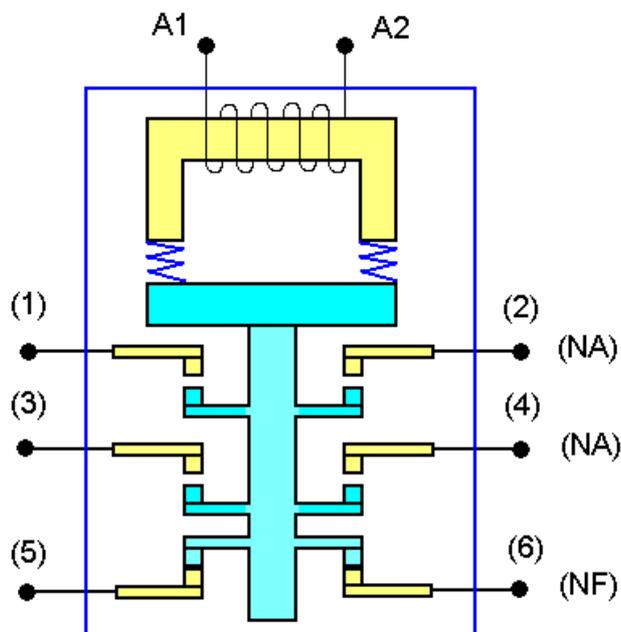


Figura 3.8 – Diagrama esquemático de um contator com 2 terminais NA e um NF

Os contatores podem ser classificados como principais (CW, CWM) ou auxiliares (CAW). De forma simples pode-se afirmar que os contatores auxiliares tem corrente máxima de 10A e possuem de 4a 8 contatos, podendo chegar a 12 contatos. Os contatores principais tem corrente máxima de até 600A. De uma maneira geral possuem 3 contatos principais do tipo NA, para manobra de cargas trifásicas a 3 fios.

Um fator importante a ser observando no uso dos contatores são as faíscas produzidas pelo impacto, durante a comutação dos contatos. Isso promove o desgaste natural dos mesmos, além de consistir em riscos a saúde humana. A intensidade das faíscas pode se agravar em ambientes úmidos e também com a quantidade de corrente circulando no painel. Dessa forma foram aplicadas diferentes formas de proteção, resultando em uma classificação destes elementos. Basicamente existem 4 categorias de emprego de contatores principais:

- a. **AC1**: é aplicada em cargas ôhmicas ou pouco indutivas, como aquecedores e fornos a resistência.
- b. **AC2**: é para acionamento de motores de indução com rotor bobinado.
- c. **AC3**: é aplicação de motores com rotor de gaiola em cargas normais como bombas, ventiladores e compressores.
- d. **AC4**: é para manobras pesadas, como acionar o motor de indução em plena carga, reversão em plena marcha e operação intermitente.

A figura 3.9 mostra o aspecto de um contator comum. Este elemento será mais detalhado em capítulos posteriores.



Figura 3.9 – Foto de contatores comerciais

### 3.3.4 - Fusíveis

Os fusíveis são elementos bem conhecidos pois se encontram em instalações residenciais, nos carros, em equipamentos eletrônicos, máquinas, entre outros. Tecnicamente falando estes são elementos que destinam-se a *proteção contra correntes de curto-circuito*. Entende-se por esta última aquela provocada pela falha de montagem do sistema, o que leva a impedância em determinado ponto a um valor quase nulo, causando assim um acréscimo significativo no valor da corrente.

Sua atuação deve-se a a  *fusão de um elemento pelo efeito Joule*, provocado pela súbita elevação de corrente em determinado circuito. O elemento fusível tem propriedades físicas tais que o seu ponto de fusão é inferior ao ponto de fusão do cobre. Este último é o material mais utilizado em condutores de aplicação geral.

### 3.3.5 - Disjuntores

Os disjuntores também estão presentes em algumas instalações residenciais, embora sejam menos comuns do que os fusíveis. Sua aplicação determinadas vezes interfere com a aplicação dos fusíveis, pois são elementos que também destinam-se a *proteção do circuito contra correntes de curto-circuito*. Em alguns casos, quando há o elemento térmico os disjuntores também podem se destinar a proteção contra correntes de *sobrecarga*.

A corrente de sobrecarga pode ser causada por uma súbita elevação na carga mecânica, ou mesmo pela operação do motor em determinados ambientes fabris, onde a temperatura é elevada.

A vantagem dos disjuntores é que permitem a re-ligação do sistema após a ocorrência da elevação da corrente, enquanto os fusíveis devem ser substituídos antes de uma nova operação.

Para a proteção contra a sobrecarga existe um elemento térmico (bi-metálico). Para a proteção contra curto-circuito existe um elemento magnético.

O disjuntor precisa ser caracterizado, além dos valores nominais de tensão, corrente e frequência, ainda pela sua capacidade de interrupção, e pelas demais indicações de temperatura e altitude segundo a respectiva norma, e agrupamento de disjuntores, segundo informações do fabricante, e outros, que podem influir no seu dimensionamento.

A figura 3.10 mostra o aspecto físico dos disjuntores comerciais.



Figura 3.10 – Aspecto dos disjuntores de três e quatro pólos

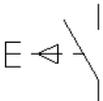
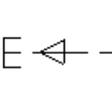
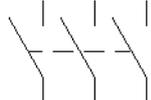
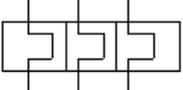
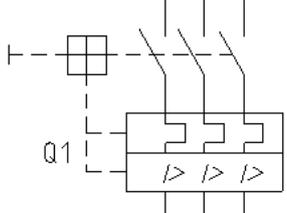
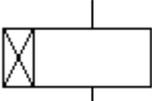
### 3.3.6 - Relé térmico ou de sobrecarga

Antigamente a proteção contra corrente de sobrecarga era feita por um elemento separado denominado de relé térmico. Este elemento é composto por uma junta bimetálica que se dilatava na presença de uma corrente acima da nominal por um período de tempo longo. Atualmente os disjuntores englobam esta função e sendo assim os relés de sobrecarga caíram em desuso.

### 3.4 - Simbologia gráfica

Até o presente momento mostrou-se a presença de diversos elementos constituintes de um painel elétrico. Em um comando, para saber como estes elementos são ligados entre si é necessário consultar um desenho chamado de esquema elétrico. No desenho elétrico cada um dos elementos é representado através de um símbolo. A simbologia é padronizada através das normas NBR, DIN e IEC. Na tabela 2.5 apresenta-se alguns símbolos referentes aos elementos estudados nos parágrafos anteriores.

Tabela 2.5 – Simbologia em comandos elétricos

| SÍMBOLO                                                                            | DESCRIÇÃO                                                                                      | SÍMBOLO                                                                             | DESCRIÇÃO                          |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|   | Botoeira NA                                                                                    |   | Botoeira NF                        |
|   | Botoeira NA com retorno por mola                                                               |   | Botoeira NF com retorno por mola   |
|   | Contatos tripolares NA, ex: contator de potência                                               |  | Fusível                            |
|   | Acionamento eletromagnético, ex: bobina do contator                                            |   | Contato normalmente aberto (NA)    |
|   | Relé térmico                                                                                   |   | Contato normalmente fechado (NF)   |
|  | Disjuntor com elementos térmicos e magnéticos, proteção contra correntes de curto e sobrecarga |  | Acionamento temporizado na ligação |

#### 4 - Manobras convencionais em motores elétricos: Partida Direta

Os componentes e contatos, estudados no capítulo anterior, destinam-se ao acionamento seguro de cargas ou atuadores elétricos, ou seja, a manobra dos mesmos. Dentre estes destacou-se os motores de indução por sua grande utilização no ambiente industrial. Esses, por sua vez, apresentam particularidades no seu acionamento e estas devem ser consideradas nos circuitos automáticos.

A primeira particularidade em manobra de motores, como foi dito, é a divisão do circuito em comando e potência para proteção dos operadores. No comando geralmente se encontra a bobina do contator principal de manobra do motor. Deve-se lembrar que os circuitos eletro-pneumáticos eletro-hidráulicos também apresentam a mesma divisão.

O circuito de comando também tem as funções de selo, intertravamento, sinalização, lógica e medição. A tensão de comando pode ser contínua ou alternada. Determinada a tensão de comando, todos os elementos de acionamento devem ser comprados para esta tensão. São elementos de acionamento: bobinas dos contatores principais e auxiliares, todos os relés, as lâmpadas de sinalização, sirenes, buzinas, temporizadores, entre outros.

A primeira e mais básica manobra apresentada é a partida direta. Esta destina-se simplesmente ao acionamento e interrupção do funcionamento de um motor de indução trifásico, em um determinado sentido de rotação.

A seqüência de ligação dos elementos é mostrada na figura 4.1, onde pode-se notar a presença dos circuitos de potência e comando.

A partida direta funciona da seguinte forma: ao pressionar a botoeira S1 permite-se a passagem de corrente pela bobina do contator K1, ligando o motor. Para que o mesmo não desligue, acrescentou-se um contato NA de K1 em paralelo com S1. Este contato é denominado de **selo**, sendo muito utilizado em manobras e portanto é de fundamental importância. A botoeira S0 serve para o desligamento do motor.

A lâmpada H1 corresponde a cor verde e portanto deve ser ligada somente quando o motor estiver funcionando, por isso para seu acionamento utiliza-se um contato NA do contator K1.

A lâmpada H2 tem cor amarela, indicando “espera”, ou seja, a alimentação de energia está habilitada e o motor está pronto para ser ligado. Utiliza-se um contato NF de K1 antes da mesma pois, ao acionar o motor, esta lâmpada deve desligar.

Finalmente, liga-se a lâmpada vermelha H3 no contato NA do relé térmico F1, para indicar a atuação do mesmo. É importante notar que as sinaleiras H1 e H2 foram ligadas após o contato NF (96) do relé F1, isso porque ao atuar a sobrecarga, ambas sinaleiras devem desligar.

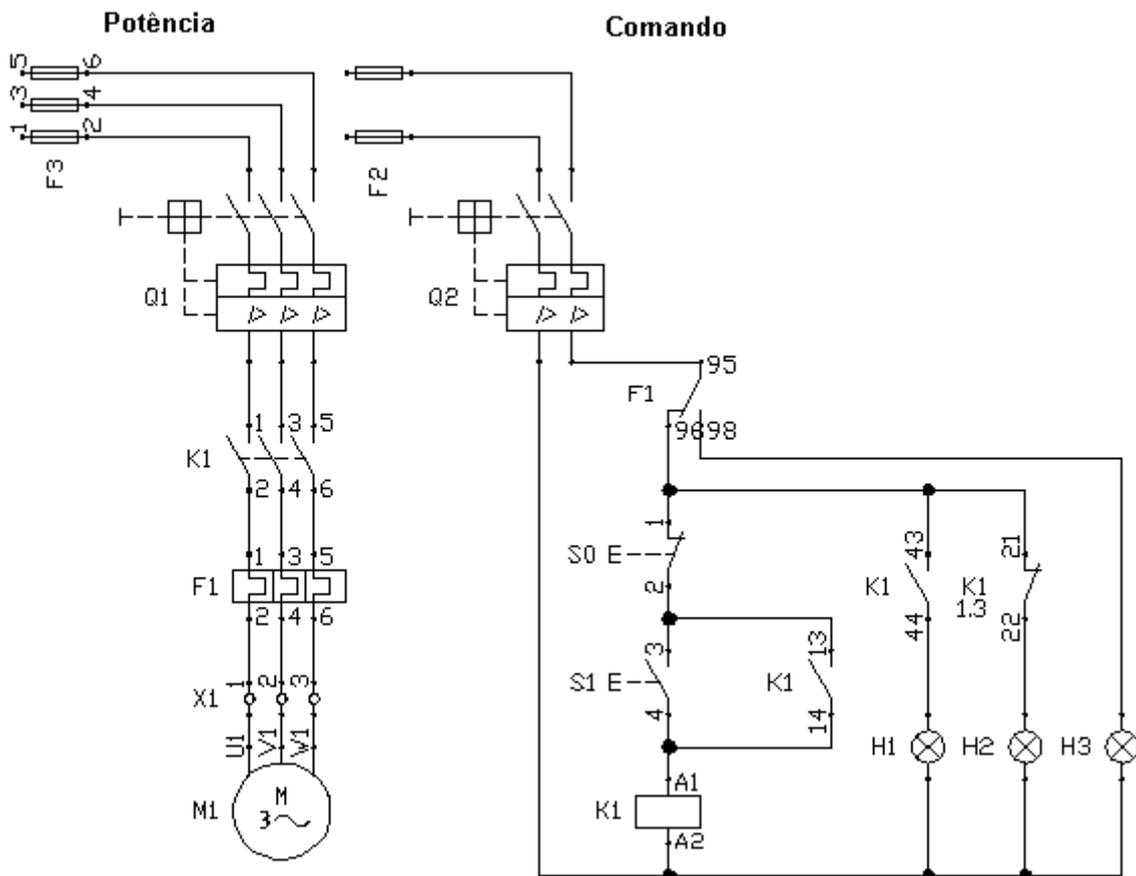


Figura 4.1 – Circuitos de comando e potência para uma partida com sinalização

**Legenda:**

| Símbolo | Elemento                  | Símbolo | Elemento                     |
|---------|---------------------------|---------|------------------------------|
| Q1      | Disjuntor tripolar        | S0      | botão NF                     |
| Q2      | disjuntor bipolar         | S1      | botão NA                     |
| F1      | relé térmico              | M       | Motor trifásico              |
| K1      | contator                  | H2      | Lâmpada (sinaleira) amarela  |
| H1      | Lâmpada (sinaleira) verde | H3      | Lâmpada (sinaleira) vermelha |

## 5 – Manobra de motores com reversão do sentido de giro

Esta manobra destina-se ao acionamento do motor com possibilidade de reversão do sentido de giro de seu eixo. Para fazer isso deve-se trocar duas fases, de forma automática. Portanto utiliza-se dois contatores, um para o sentido horário e outro para o sentido anti-horário (K1 e K2).

A figura 5.1 mostra os circuitos de comando e potência para este tipo de partida. Pode-se observar que no contator K1 as fases R, S e T entram nos terminais 3, 2 e 1 do motor, respectivamente. Já em K2 as fases R, S e T entram nos terminais 1, 2 e 3, ou seja houve a inversão das fases R e T, provocando a mudança no sentido de rotação.

É importante observar que os fios passando pelos contatores K1 e K2 ligam as fases S e T diretamente sem haver passagem por uma carga. Desse modo estes contatores não podem ser ligados simultaneamente, pois isso causaria um curto-circuito no sistema. Para evitar isso introduz-se no comando dois contatos NF, um de K1 antes da bobina de K2 e outro de K2 antes da bobina de K1. Esse procedimento é denominado de “*intertravamento*” sendo muito comum nos comandos elétricos.

Ao pressionar o botão S1 permite-se a passagem de corrente pela bobina de K1. Automaticamente os contatos 1-2, 3-4 e 5-6 se fecham ligando o motor. O contato 13-14 de K1 também se fecha “selando” a passagem de corrente. O contato 21-22 de K1 se abre, impedindo a passagem de corrente pela bobina de K2, mesmo que o operador pressione a botoeira S2 tentando reverter a velocidade de rotação. Desse modo é necessária a parada do motor para inverter o sentido de giro, por isso o circuito é denominado de “*partida com reversão de parada obrigatória*”.

O funcionamento do circuito quando se liga o motor no outro sentido de rotação através da botoeira S2 é similar e por isso não será descrito.

Em alguns casos, dependendo da carga manobrada, adiciona-se ainda temporizadores de modo a contar um tempo antes que a velocidade possa ser invertida. Evita-se assim os famosos “trancos” extremamente prejudiciais ao sistema mecânico e elétrico.

A segurança também pode ser aumentada convenientemente através da adição de mais dois contatos de intertravamento, garantido assim a inexistência de curtos, caso um dos contatos esteja danificado.

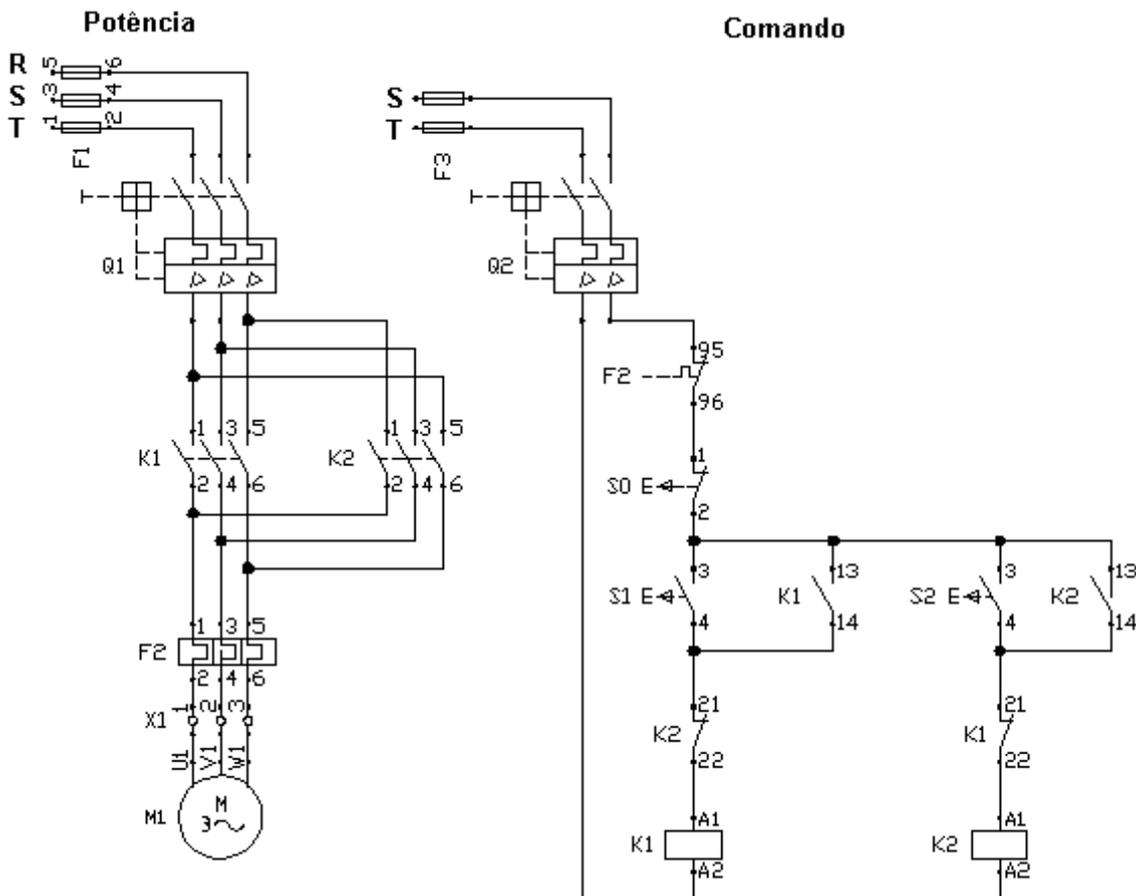


Figura 5.1 – Circuitos de comando e potência para uma partida com reversão

**Legenda:**

| Símbolo | Elemento           | Símbolo | Elemento        |
|---------|--------------------|---------|-----------------|
| Q1      | Disjuntor tripolar | S0      | botoeira NF     |
| Q2      | disjuntor bipolar  | S1      | botoeira NA     |
| F1      | relé térmico       | S2      | Botoeira NA     |
| K1      | contator           | M       | Motor trifásico |
| K2      | contator           |         |                 |

**Atividade:**

Desenhe no comando como seriam as ligações das sinaleiras, obedecendo a seguintes regras: i) a sinaleira amarela indica espera, devendo ligar assim que a energia no circuito for alimentada; ii) a sinaleira verde dever ligar se o motor estiver girando em qualquer um dos sentidos, neste caso a sinaleira amarela se apaga; iii) a sinaleira vermelha aciona caso haja sobrecarga, neste caso as sinaleiras verde e amarela devem estar apagadas. Dica: utilize a associações de contatos estudadas nos itens (3.1) e (3.2).

## 6 – Limitação da corrente de partida do motor de indução

Normalmente os motores de indução exigem, durante a partida, uma corrente maior que pode variar de cinco a sete vezes o valor de sua corrente nominal. Esta característica é extremamente indesejável pois além de exigir um super -dimensionamento dos cabos, ainda causa quedas no fator de potência da rede, provocando possíveis multas da concessionária de energia elétrica. Uma das estratégias para se evitar isso é a *Partida Estrela-triângulo (Y/Δ)*, cujo princípio é o de ligar o motor na configuração estrela (Y), reduzindo a corrente e posteriormente comutá-lo para triângulo (Δ) atingindo sua potência nominal. Outra estratégia é o uso de *Chaves compensadoras*.

A carga sobre a qual o motor está sujeito deve ser bem estudada para definir qual tipo de limitação de corrente é o mais adequado, entretanto este é um tópico da disciplina *Máquinas Elétricas*. Modernamente, através do desenvolvimento da tecnologia do estado sólido, também são utilizados os *Soft-starters* e os *Inversores de Freqüência*, estudados na disciplina *Eletrônica Industrial*.

Para entender como a partida Y/Δ reduz a corrente de partida basta analisar a figura 6.1, onde  $U_f$  e  $U_L$  são as tensões de fase e linha, respectivamente. Já  $I_f$  e  $I_L$  correspondem as correntes de fase e linha.

Na configuração Y é válida a relação dada na equação (6.1) ou seja a  $U_f$  é  $\sqrt{3}$  vezes menor que  $U_L$ . Desse modo, se ambas configurações forem alimentadas com a mesma tensão de linha, a corrente de fase na configuração Y também será menor, promovendo assim a esperada redução na corrente de partida.

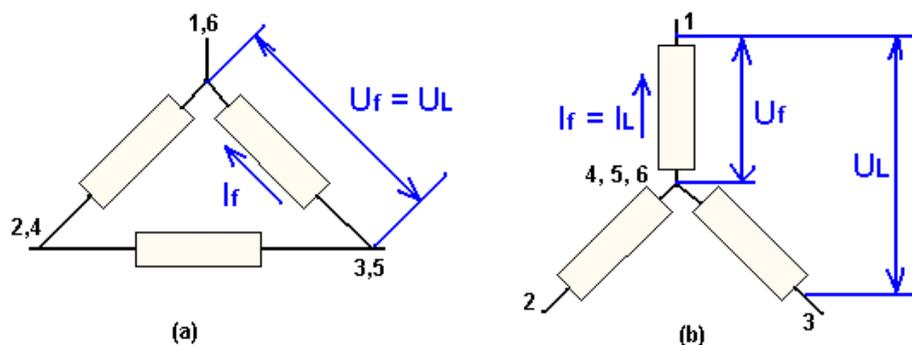


Figura 6.1 – Ligações Triângulo (a) e Estrela (Y) de um motor de 6 pontas

$$U_f = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \quad (6.1)$$

As figuras 6.2 e 6.3 mostram os circuitos de comando e potência para a partida Y/ $\Delta$ , respectivamente. Para funcionar de forma automática, o fechamento do motor, antes feito no próprio, é realizado agora através da combinação dos contatores K1-K2 e K1-K3. Desse modo K2 e K3 não podem funcionar simultaneamente pois ocorreria curto-circuito, pela mesma razão já explicada na partida com reversão. O intertravamento destes dois contatores pode ser observado no circuito de comando.

Introduz-se nesta partida o relê temporizador (K6), responsável pela comutação do motor de estrela para triângulo.

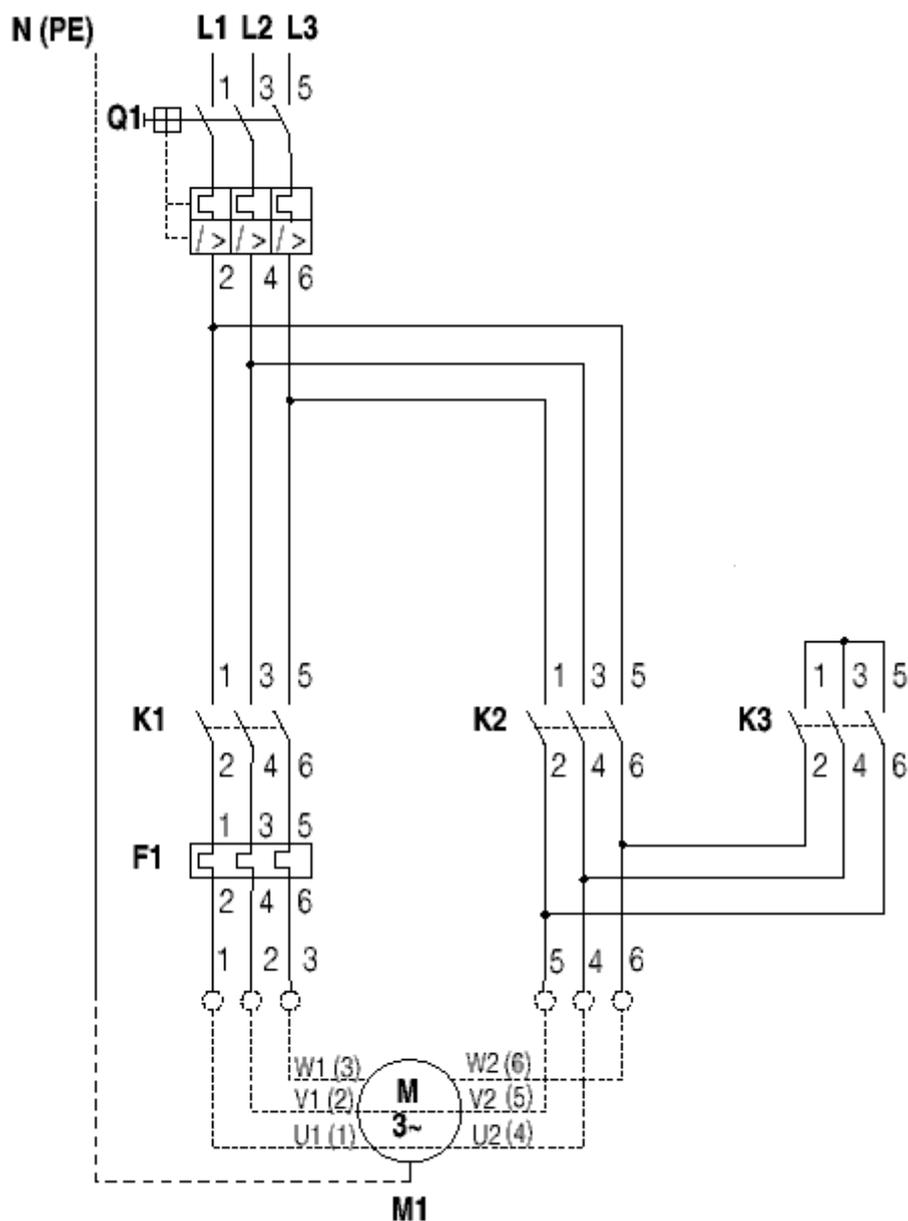


Figura 6.2 – Circuito de potência para uma partida estrela-triângulo

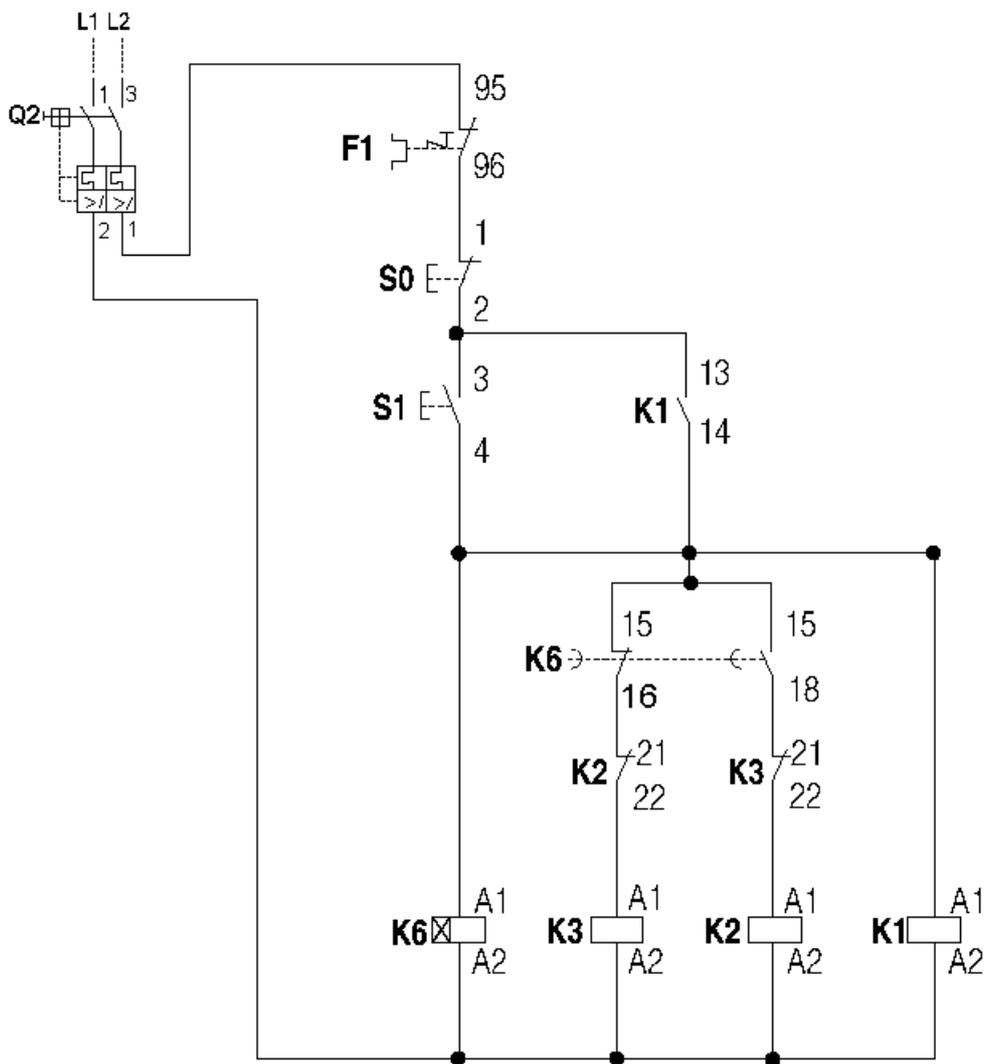


Figura 6.3 – Circuito de comando para uma partida estrela-triângulo

**Legenda:**

| Símbolo | Elemento           | Símbolo | Elemento          |
|---------|--------------------|---------|-------------------|
| Q1      | Disjuntor tripolar | K3      | contator          |
| Q2      | disjuntor bipolar  | S0      | botoeira NF       |
| F1      | relé térmico       | S1      | botoeira NA       |
| K1      | contator           | K6      | relê temporizador |
| K2      | contator           | M       | Motor trifásico   |

**Atividade:**

Desenhe no circuito a lógica de ligamento das sinaleiras H1, H2 e H3, conforme o padrão estabelecido: amarelo para espera, verde para motor em funcionamento e vermelho para sobrecarga.

## 7 - Exercícios de Comandos Elétricos

7.1 - Desenhe um circuito de comando para acionar um motor de indução trifásico, ligado em 220 V, de forma que o operador tenha que utilizar as duas mãos para realizar o acionamento.

7.2 - Desenhe um circuito de comando para um motor de indução trifásico de forma que o operador possa realizar o ligamento por dois pontos independentes. Para evitar problemas com sobrecarga deve-se utilizar um relé térmico.

7.3 – No circuito mostrado na figura (7.1) abaixo, existem quantas botoeiras de desligamento? Existe alguma situação onde os contatores K1 e K2 possam estar ligados simultaneamente? Se sim explique como.

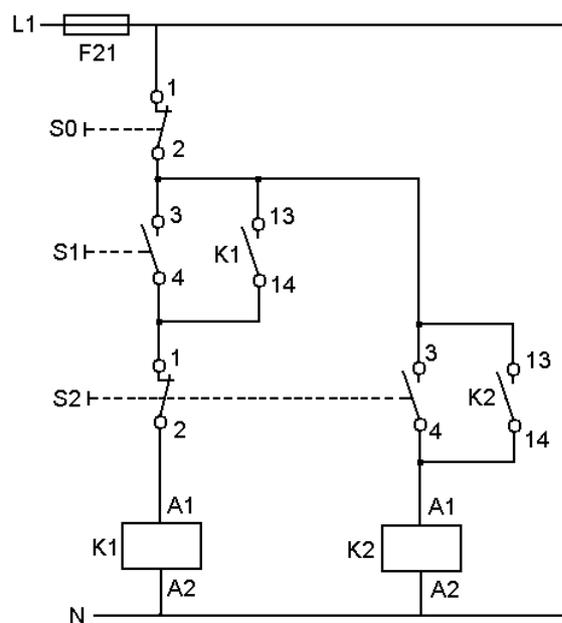


Figura 7.1 – Esquema elétrico referente ao exercício (7.3)

7.4 – No diagrama da figura (7.2) abaixo, identifique em quais condições os contatores K1 e K2 podem estar funcionando sozinhos ou simultaneamente.

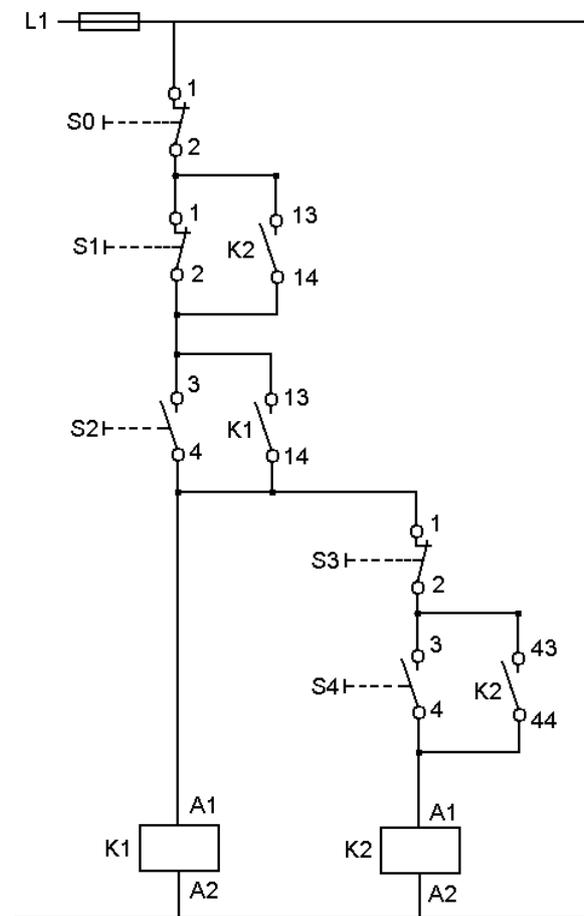


Figura 7.2 – Esquema elétrico referente ao exercício (7.4)

7.5 - Desenhe o circuito de comando para dois motores de forma que o primeiro pode ser ligado de forma independente e o segundo pode ser ligado apenas se o primeiro estiver ligado.

7.6 - Faça um comando para manobrar dois motores de modo que o primeiro pode ser ligado de forma independente. O segundo pode ser ligado apenas quando o primeiro for ligado, mas pode se manter ligado mesmo quando se desliga o primeiro motor.

## 8 - Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis

No capítulo anterior pode-se notar, principalmente nos laboratórios, as dificuldades de se montar e dar manutenção nos painéis elétricos. A falta de flexibilidade, a segurança e o custo eram fatores primordiais para que o mercado exigisse uma mudança, e ela veio inicialmente através dos circuitos digitais e posteriormente através dos Controladores Lógico Programáveis, mais conhecidos com CLPs.

Os CLPs podem ser definidos, segundo a norma ABNT, como um equipamento eletrônico-digital compatível com aplicações industriais. O termo em inglês é PLC, que significa Programmable Logic Controller.

O primeiro CLP data de 1968 na divisão de hidramáticos da General Motors. Surgiu como evolução aos antigos painéis elétricos, cuja lógica fixa tornava impraticável qualquer mudança extra do processo.

A tecnologia dos CLPs só foi possível com o advento dos chamados Circuitos Integrados e da evolução da lógica digital. Este equipamento trouxe consigo as principais vantagens:

- fácil diagnóstico durante o projeto
- economia de espaço devido ao seu tamanho reduzido
- não produzem faíscas
- podem ser programados sem interromper o processo produtivo
- possibilidade de criar um banco de armazenamento de programas
- baixo consumo de energia
- necessita de uma reduzida equipe de manutenção
- tem a flexibilidade para expansão do número de entradas e saídas
- capacidade de comunicação com diversos outros equipamentos, entre outras

### 8.1 - Histórico da Tecnologia

Historicamente os CLPs podem ser classificados nas seguintes categorias:

**1ª geração:** Programação em Assembly. Era necessário conhecer o hardware do equipamento, ou seja, a eletrônica do projeto do CLP.

**2ª geração:** Apareceram as linguagens de programação de nível médio. Foi desenvolvido o “Programa monitor” que transformava para linguagem de máquina o programa inserido pelo usuário.

**3ª geração:** Os CLPs passam a ter uma entrada de programação que era feita através de um teclado, ou programador portátil, conectado ao mesmo.

**4ª geração:** É introduzida uma entrada para comunicação serial, e a programação passa a ser feita através de micro-computadores. Com este advento surgiu a possibilidade de testar o programa antes do mesmo ser transferido ao módulo do CLP, propriamente dito.

**5ª geração:** Os CLPs de quinta geração vem com padrões de protocolo de comunicação para facilitar a interface com equipamentos de outros fabricantes, e também com Sistemas Supervisórios e Redes Internas de comunicação.

## **8.2- Princípio de Funcionamento**

Como pode ser visto na Figura 8.1, o CLP funciona de forma seqüencial, fazendo um ciclo de varredura em algumas etapas. É importante observar que quando cada etapa do ciclo é executada, as outras etapas ficam inativas. O tempo total para realizar o ciclo é denominado *CLOCK*. A não simultaneidade das operações justifica a exigência de processadores com velocidades cada vez mais altas. Em cada etapa o CLP realiza as tarefas descritas nos próximos parágrafos.

**Início:** Verifica o funcionamento da C.P.U, memórias, circuitos auxiliares, estado das chaves, existência de um programa de usuário, emite aviso de erro em caso de falha. Desativa todas as as saídas.

**Verifica o estado das entradas:** Lê cada uma das entradas, verificando se houve acionamento. O processo é chamado de ciclo de varredura.

**Compara com o programa do usuário:** Através das instruções do usuário sobre qual ação tomar em caso de acionamento das entradas o CLP atualiza a memória imagem das saídas.

**Atualiza as saídas:** As saídas são acionadas ou desativadas conforme a determinação da CPU. Um novo ciclo é iniciado.



Figura 8.1 – Ciclo de Varredura de um CLP

### 8.3 - Estrutura Básica de um CLP

**Fonte de alimentação:** Converte a tensão da rede de 110 ou 220 VCA em +5VCC, +12VCC ou +24VCC para alimentar os circuitos eletrônicos, as entradas e as as saídas.

**Unidade de processamento:** Também conhecida por CPU, é composta por microcontroladores ou microprocessadores (Intel 80xx, motorola 68xx, PIC 16xx). Endereçamento de memória de até 1Mega Byte, velocidades de clock de 4 a 30 MHz, manipulação de dados decimais, octais e hexadecimais.

**Bateria:** Utilizada para manter o circuito do relógio em tempo real. Normalmente são utilizadas baterias recarregáveis do tipo Ni - Ca.

**Memória do programa supervisor:** O programa supervisor é responsável pelo gerenciamento de todas as atividades do CLP. Não pode ser modificado pelo usuário e fica normalmente em memórias do tipo PROM, EPROM, EEPROM.

**Memória do usuário:** Espaço reservado ao programa do usuário. Constituída por memórias do tipo RAM, EEPROM ou FLASH-EPROM. Também pode-se utilizar cartuchos de memória, para proporcionar agilidade e flexibilidade.

**Memória de dados:** Armazena valores do programa do usuário, tais como valores de temporizadores, contadores, códigos de erros, senhas, etc. Nesta região se encontra também a memória imagem das entradas – a saídas. Esta funciona como uma tabela virtual onde a CPU busca informações para o processo decisório.

Os circuitos auxiliares atuam em caso de falha do CLP, são:

**POWER ON RESET:** desliga todas as saídas assim que o equipamento é ligado, isso evita que possíveis danos venham a acontecer.

**POWER DOWN:** monitora a tensão de alimentação salvando o conteúdo das memórias antes que alguma queda de energia possa acontecer.

**WATCH DOG TIMER:** o cão de guarda deve ser acionado em intervalos periódicos, isso evita que o programa entre em “loop”.

#### 8.4 - Classificação dos CLPs segundo a capacidade

Além da classificação histórica, os CLPs podem ser classificados também segundo a sua capacidade, como descrito abaixo.

**Nano e micro CLPs:** possuem até 16 entradas e a saídas. Normalmente são compostos por um único módulo com capacidade de memória máxima de 512 passos.

**CLPs de médio porte:** capacidade de entrada e saída em até 256 pontos, digitais e analógicas. Permitem até 2048 passos de memória.

**CLPs de grande porte:** construção modular com CPU principal e auxiliares. Módulos de entrada e saída digitais e analógicas, módulos especializados, módulos para redes locais. Permitem a utilização de até 4096 pontos. A memória pode ser otimizada para o tamanho requerido pelo usuário.

## 8.5 – Linguagens de Programação

Basicamente existem três tipos de linguagens para programação dos CLPs: Ladder, Blocos Lógicos e Lista de instruções. Alguns fabricantes como a Siemens juntaram as três linguagens em uma única, denominada comercialmente de *STEP7*.

A linguagem Ladder, ou diagrama de contatos, foi a primeira a surgir pois se assemelhava muito aos diagramas elétricos (ver figura 8.2) , facilitando assim o entendimentos dos técnicos e engenheiros da época.

Os blocos lógicos correspondem a uma linguagem de nível intermediário e muito prática pois traz consigo várias funções de temporização pré-definidas, facilitando assim a confecção de programas. Desse modo neste curso será abordada essa linguagem de programação.

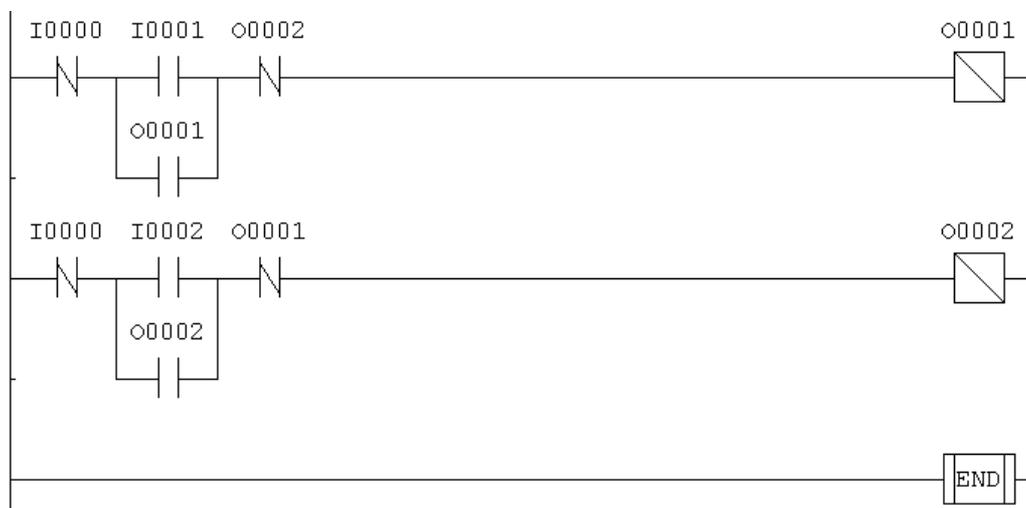


Figura 8.2 – Exemplo de um programa em Ladder utilizado para Partida com reversão

## 9 - Introdução à programação em Blocos Funcionais

O estudo deste tipo de linguagem a programação será realizado com um CLP comercial que é o *LOGO 24RL da Siemens*, mostrado na figura (9.1). Vale lembrar que embora no curso se faça uso de um equipamento específico, a linguagem é padronizada por normas internacionais, tais como a DIN e a IEC. Desse modo o aluno fica habilitado a programar em outros diferentes modelos de controladores.



Figura 4.1 – CLP Logo da Siemens

Geralmente os CLPs são programados em Microcomputadores e o programa é transferido posteriormente para sua memória interna. No Logo existe a possibilidade de se programar na tela da Interface Homem Máquina (IHM). Assim sendo, para facilitar a inserção do programa na IHM, os blocos de funções foram divididos em 4 principais listas, descritas a seguir:

### A) ↓ Co: Lista “Co” (Connectors)

Nesta lista encontram-se símbolos que estão relacionados com as entradas e saídas físicas, externas ao controlador programável, correspondendo aos sensores e atuadores que são ligados eletricamente ao controlador. Nela podem se encontrar:

- Entradas: I1, I2, I3,...
- Saídas: Q1, Q2, Q3,...
- Níveis: lo → baixo; hi → alto
- Não conectado, ou inutilizado: “X”

## **B) ↓ GF: Lista de Funções Gerais (General Functions)**

As funções gerais correspondem as funções lógicas do CLP, muito importante para definir o relacionamento entre as variáveis de controle. Algumas funções são:

- Porta AND (E)
- Porta OR (OU)
- Porta NAND (Não E)
- Etc...

## **C) ↓ SF: Funções Especiais (Special Functions)**

Aqui se encontram as funções com contagem de tempo, correspondentes aos vários conceitos empregados na montagem do relacionamento lógico e temporal dos painéis elétricos. Estas funções permitem a geração de seqüências de acionamento, e são responsáveis pela imagem que se tem de um sistema verdadeira automatizado. Alguns exemplos são:

- Relê de Retardo na Ativação
- Relê de Retardo na Desativação
- Relê de Impulsos
- Saída de Impulsos Simétricos
- Etc...

## **D) ↓ BN: Números de Blocos (Block Number)**

Contém uma lista com os Blocos já utilizados no circuito, e que podem ser utilizados posteriormente, como entradas em blocos novos, por exemplo.

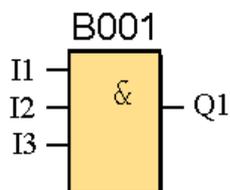
Nos próximos capítulos serão apresentadas as principais funções lógicas e especiais utilizadas na programação em Blocos Lógicos.

## 10 - Blocos de Funções Gerais

As funções gerais consistem em funções lógicas, normalmente estudadas nos cursos de Técnicas Digitais. Abaixo encontra-se uma descrição mais detalhada de cada uma delas. Deve-se lembrar que em programação lógica, a representação que melhor se aplica ao entendimento das funções é a Tabela Verdade.

A Tabela Verdade consiste na representação de todas as combinações lógicas possíveis entre as entradas e saídas. Para 2 entradas a tabela tem 4 linhas. Para 3 entradas a tabela tem 8 linhas, seguindo sempre uma relação de  $2^n$ , onde “n” é o número de entradas.

### 10.1 - Função “AND”



Nesta função a saída é ativada somente se todas as entradas estiverem ativadas. Ao lado se encontra a simbologia no logo.

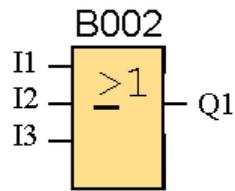
Tabela verdade para 2 entradas

| I1 | I2 | Q1 |
|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  |
| 0  | 1  | 0  |
| 1  | 0  | 0  |
| 1  | 1  | 1  |

Tabela Verdade para 3 entradas

| I1 | I2 | I3 | Q1 |
|----|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0  | 0  | 1  | 0  |
| 0  | 1  | 0  | 0  |
| 0  | 1  | 1  | 0  |
| 1  | 0  | 0  | 0  |
| 1  | 0  | 1  | 0  |
| 1  | 1  | 0  | 0  |
| 1  | 1  | 1  | 1  |

## 10.2 - Função OR



Nesta função a saída é ativada se qualquer uma das entradas estiver ativada.

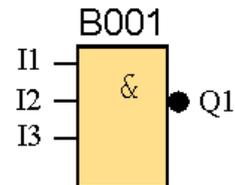
Tabela Verdade para 2 entradas

| I1 | I2 | Q1 |
|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  |
| 0  | 1  | 1  |
| 1  | 0  | 1  |
| 1  | 1  | 1  |

Tabela Verdade para 3 entradas:

| I1 | I2 | I3 | Q1 |
|----|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  | 0  |
| 0  | 0  | 1  | 1  |
| 0  | 1  | 0  | 1  |
| 0  | 1  | 1  | 1  |
| 1  | 0  | 0  | 1  |
| 1  | 0  | 1  | 1  |
| 1  | 1  | 0  | 1  |
| 1  | 1  | 1  | 1  |

## 10.3 - Função NAND



Nesta função a saída é ativada sempre que uma das entradas for zero, ou seja, a saída é nula quando todas as entradas estiverem ativadas. Observe que diferença para a função AND consiste em um ponto ou um quadrado no lado as saída do bloco.

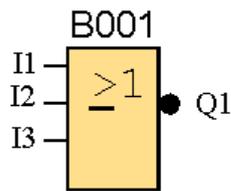
Tabela verdade para 2 entradas

| I1 | I2 | Q1 |
|----|----|----|
| 0  | 0  | 1  |
| 0  | 1  | 1  |
| 1  | 0  | 1  |
| 1  | 1  | 0  |

Tabela verdade para 3 entradas

| I1 | I2 | I3 | Q1 |
|----|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  | 1  |
| 0  | 0  | 1  | 1  |
| 0  | 1  | 0  | 1  |
| 0  | 1  | 1  | 1  |
| 1  | 0  | 0  | 1  |
| 1  | 0  | 1  | 1  |
| 1  | 1  | 0  | 1  |
| 1  | 1  | 1  | 0  |

## 10.4 - Função NOR



Nesta função, a saída é ativada, somente quando todas as entradas forem zero, ou seja, a saída é nula sempre uma das entradas for ativada.

Tabela verdade para 2 entradas

| I1 | I2 | Q1 |
|----|----|----|
| 0  | 0  | 1  |
| 0  | 1  | 0  |
| 1  | 0  | 0  |
| 1  | 1  | 0  |

Tabela verdade para 3 entradas

| I1 | I2 | I3 | Q1 |
|----|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  | 1  |
| 0  | 0  | 1  | 0  |
| 0  | 1  | 0  | 0  |
| 0  | 1  | 1  | 0  |
| 1  | 0  | 0  | 0  |
| 1  | 0  | 1  | 0  |
| 1  | 1  | 0  | 0  |
| 1  | 1  | 1  | 0  |

## 10.5 – Exemplo de aplicação das funções Lógicas – comando bi-manual

Considere o esquema hidráulico mostrado na figura 10.1, correspondente ao acionamento de uma prensa. No circuito são utilizados um cilindro de dupla ação, uma válvula 4/3 vias com centro aberto negativo e um sensor capacitivo no fim de curso (S4). A válvula 4/3 vias é servo-pilotada em ambos sentidos e centrada por molas. Para aumentar a segurança também faz-se o uso de outro sensor capacitivo (S3), que determina se a peça foi inserida corretamente na prensa. As condições lógicas para o funcionamento do sistema são:

- O avanço deve ser comandado por duas botoeiras (S1 e S2) que devem ser pressionadas simultaneamente.
- O cilindro só pode descer se a peça tiver sido colocada na máquina.
- O cilindro deve retornar automaticamente ao atingir o fim de curso.
- Se o operador retirar as mãos da botoeira o cilindro deve parar.
- Existe uma botoeira de segurança (S0) que ao ser pressionada deve comandar o retorno imediato do cilindro.

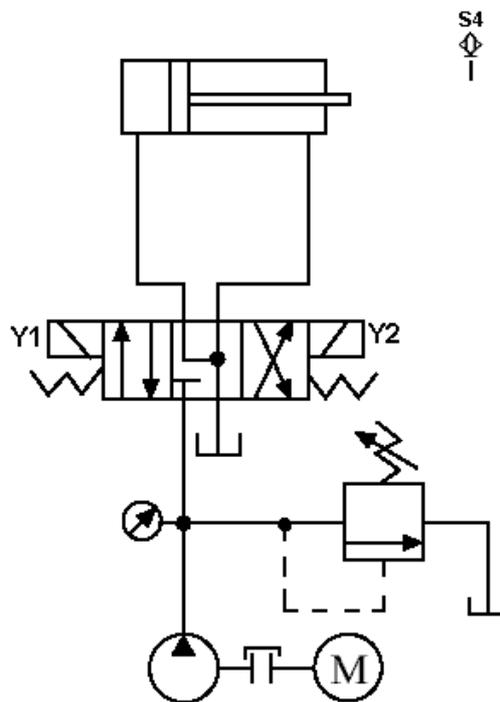


Figura 10.1 – Esquema hidráulico do comando bi-manual

O primeiro passo para fazer a programação do CLP é determinar em quais entradas e saídas serão ligadas os elementos de comando. A figura 10.2 mostra como a ligação elétrica dos elementos com o CLP poderia ser feita.

O segundo passo é determinar quais as relações lógicas entre os elementos. Isso é facilmente visualizado através das condições lógicas que foram dadas para o funcionamento do sistema. Através delas pode-se determinar:

- As botoeiras S1 e S2 juntamente com o sensor S3 obedecem a uma condição lógica do tipo AND pois as três condições devem ocorrer simultaneamente para que o cilindro retorne.
- A botoeira de emergência S0 e o fim de curso S4 tem uma relação lógica do tipo OR, pois se qualquer uma das condições ocorrer a prensa deve retornar.

Havendo estabelecido as funções lógicas a se utilizar, a programação fica fácil, sendo mostrada na figura 10.3, abaixo.

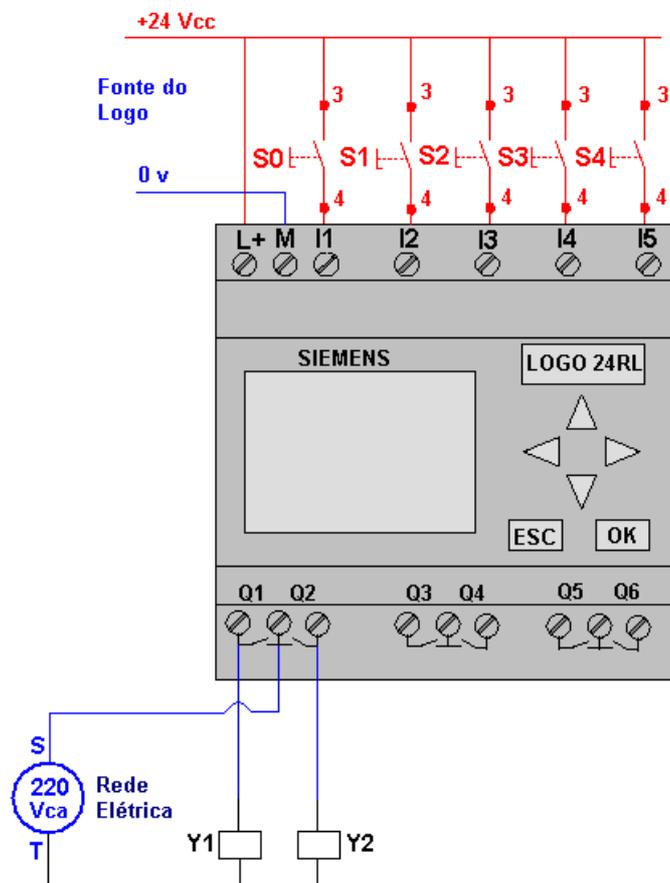


Figura 10.2 – Ligações elétricas no CLP dos elementos para comando bi-manual

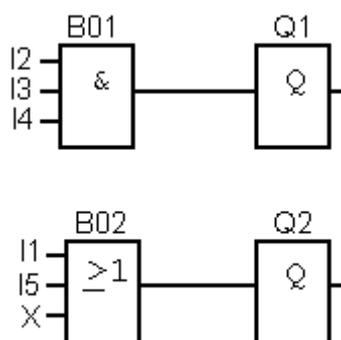


Figura 10.3 – Programa em Blocos Lógicos para o comando bi-manual

Visualizando o programa 10.3 ainda existe um problema ser considerado, ao chegar no fim de curso, se o operador não retirar as mãos das botoeiras, a prensa não retorna, pois o solenóide de avanço continua acionado. Para evitar isso pode-se fazer a seguinte modificação:

adiciona-se mais um bloco AND, com a inversão de Q2, desse modo quando essa saída for ativada, o avanço é desligado. Esse, nada mais é do que o princípio de intertravamento, estudado nos comandos elétricos. O novo programa fica como mostrado na figura 10.4, a seguir.

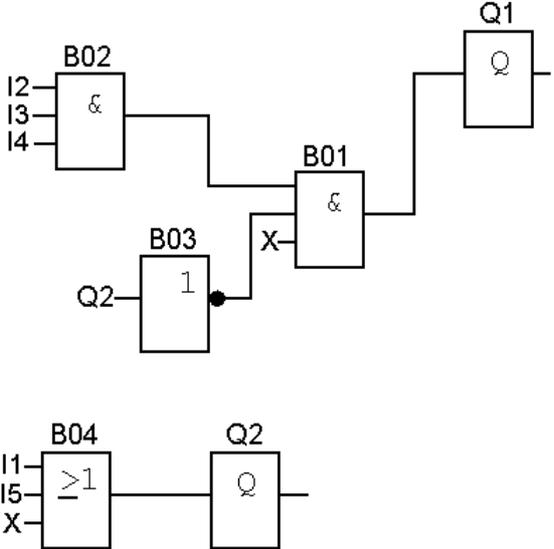


Figura 10.4 – Programa estendido para o comando bi-manual

## 11 - Funções Especiais

Como foi dito as funções especiais englobam contagem de tempo, além de outras funcionalidades. Assim para o seu entendimento deve-se observar a seguinte nomenclatura:

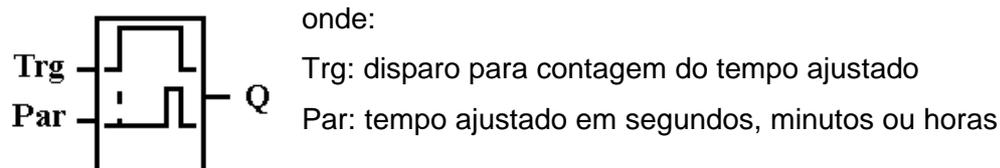
- **Trg** = Trigger → **Disparo** em Português. Refere-se a entrada que deve ser acionada para que o bloco **tenha atuação**.
- **Par** = **Parameter** → **Parâmetro** em Português. Refere-se a entrada onde é ajustado o parâmetro do bloco, como tempo, por exemplo.

Essas funções são muito importantes no desenvolvimento dos circuitos automatizados pois as funções lógicas em si não oferecem os recursos necessários a construção seqüencial de movimentos, além de recursos simples como o selo estudado nos comandos elétricos.

Nos próximos itens serão descritas algumas funções especiais, outros recursos devem ser estudados na bibliografia indicada.

### 11.1 - Retardo de Ativação

Como o próprio nome indica, esta função retarda a ativação da saída quando a entrada de disparo é acionada. O símbolo desta função encontra-se abaixo.



Quando *Trg* for igual a 1 inicia-se a contagem do tempo ajustado, após o qual a saída *Q* é acionada. Se a entrada *Trg* for de 1 para 0 antes do tempo programado, a saída *Q* não será ativada, sendo assim deve-se começar uma nova contagem de tempo.

Neste ponto é importante observar a praticidade na simbologia das funções especiais, pois ela indica o comportamento relacional entre a entrada e a saída quando o trigger é acionado. Na parte superior do símbolo encontra-se o comportamento temporal da entrada e na parte inferior o da saída, como mostra o gráfico da figura 11.1, a seguir.

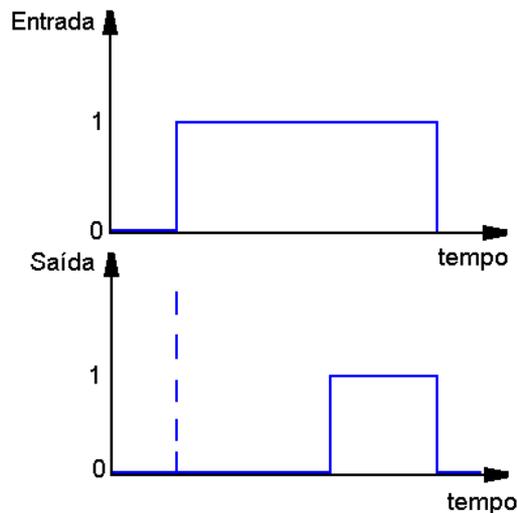
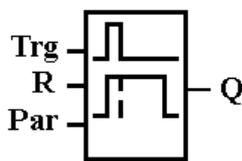


Figura 11.1 – Função da entrada e saída em relação ao tempo no retardo na ativação

### 11.2 - Retardo na Desativação

Esta função retarda a desativação da saída, quando o disparo é desligado. O símbolo é mostrado abaixo.



onde:

Trg: dispara a contagem de tempo até a desativação da saída.

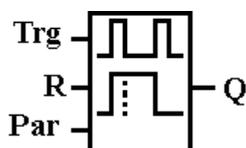
R (Reset): Volta a saída e a contagem de tempo no estado inicial.

Par: tempo ajustado em segundos, minutos ou horas.

É importante observar que, ao se acionar o disparo ( $Trg = 1$ ), a contagem de tempo para desativação da saída ainda não é iniciada. Somente quando o disparo é desligado ( $Trg = 0$ ) começa-se a contar o tempo para desligar a saída. A entrada “R” tem prioridade sobre “Trg”, ou seja, o Reset sempre desliga a saída, obviamente por questões de segurança.

### 11.3 - Relé de Impulsos

Nesta função, cada vez que o disparo Trg assume o nível lógico 1, a saída Q assume o estado diferente do que estava anteriormente, ou seja, se Q estava ligada ela desliga e vice-versa.



Trg : Ativa ou desativa a saída , dependendo do estado anterior.

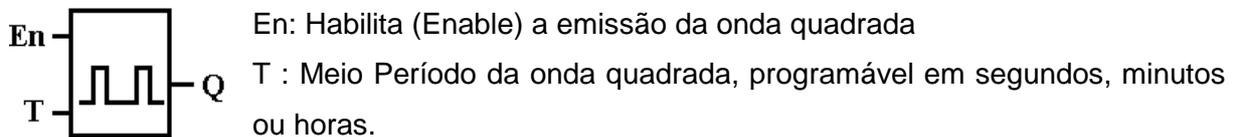
R : Desativa a saída Q (assume nível lógico 0).

Par: Ativa ou não a Remanência.

A remanência significa a capacidade do CLP de armazenar o último estado da saída, caso haja uma queda de energia. Como foi dito no capítulo 8, isso só é possível através do recurso “Power Down”, onde a tensão da linha de alimentação é monitorada continuamente.

#### 11.4 - Relé de impulsos simétricos

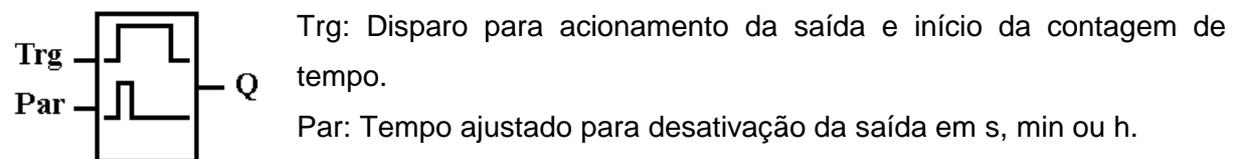
Emite pulsos regulares conforme o tempo programado, ou seja, quando a entrada de habilitação vai para 1, a saída liga e desliga automaticamente em intervalos de tempo simétricos.



A saída “Q” aciona e desaciona em intervalos de tempos iguais a “T” segundos.

#### 11.5 - Relé de contato Passageiro

A saída Q liga assim que Trg assume o nível lógico 1, desligando após o tempo programado.

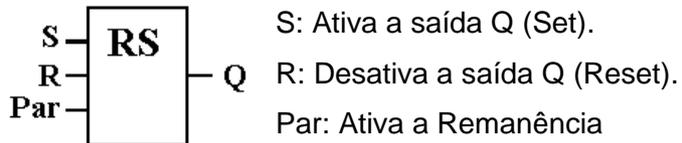


Se antes da contagem do tempo ajustado, a entrada Trg vai para o nível lógico 0, a saída Q também desativa instantaneamente.

O tempo T é limitado a um valor mínimo de 0,1s.

## 11.6 - Relé de Auto-retenção (SET-RESET)

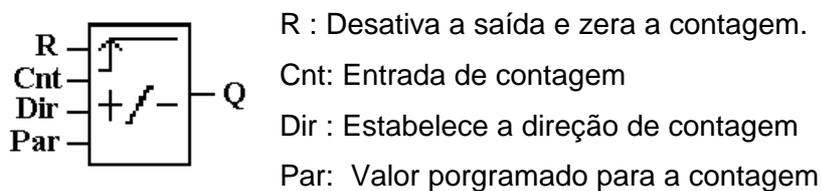
Este relé tem uma função similar a do selo presente nos diagramas de comando elétrico, ou seja, a saída Q liga com um pulso na entrada S, e desliga com outro pulso na entrada R.



Por questões de segurança a entrada R tem prioridade sobre a entrada S. Isso significa que caso as duas entradas estejam com nível lógico 1, a saída sempre estará desligada.

## 11.7 - Contador Crescente / Decrescente

Esta função conta o número de vezes em que a entrada Cnt assume o nível lógico 1. Após a contagem do parâmetro programado a saída Q é acionada.



Algumas considerações adicionais sobre esta função são: a entrada Cnt conta apenas as transições de 0 para 1; o valor programado Par pode variar de 0 a 999.999 e a direção Dir determina se a contagem é crescente (Dir = 0) ou decrescente (Dir = 1). A saída "Q" é ativada após a contagem programada em "Par".

## 12 – Sistemas automatizados com programação em Blocos Funcionais

Existem inúmeros exemplos de sistemas que podem, e são automatizados com os CLPs, utilizando diferentes tipos de linguagem de programação. O presente capítulo tem por objetivo mostrar alguns desses casos, focando os sistemas mais simples.

Apesar de apresentar os problemas mais simples, a lógica para montagem dos mesmos muitas vezes não é tão óbvia, como o aluno poderá perceber. É importante lembrar também que, as automações complexas muitas vezes são feitas através da combinação dessas diversas rotinas básicas.

Os Blocos Funcionais são as ferramentas básicas da programação no CLP, desse modo, para o perfeito entendimento dos programas, é muito importante ter em mente o comportamento das funções estudadas nos dois capítulos anteriores. Pode-se dizer que os blocos funcionais estão para os CLPs, assim como os parafusos, engrenagens, polias, correias estão para a mecânica, ou seja, sem o conhecimento exato da função de cada um desses elementos não se monta uma máquina e nem um programa para automação.

### 12.1 – Automação de uma bomba de águas pluviais

Considere o sistema exemplificado na figura 12.1, referente a uma bomba que retira a água acumulada da chuva em um poço, por exemplo, de uma estação de trem subterrânea. Nele foram instalados três sensores, um para nível baixo, um para nível alto e outro para nível muito alto.

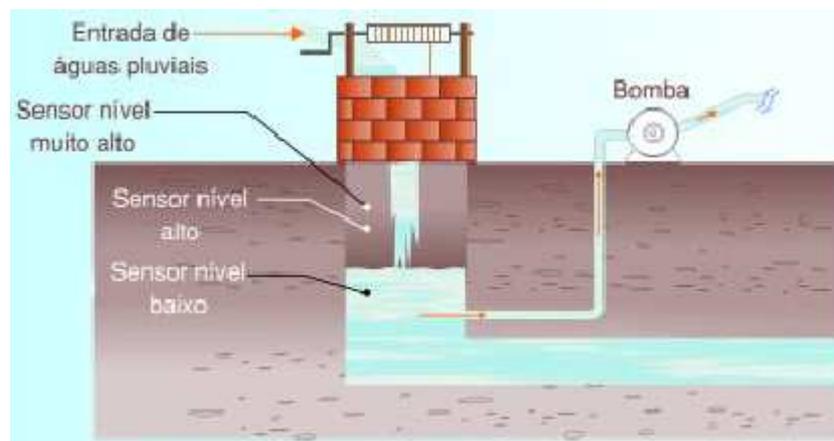


Figura 12.1 – Sistema de captação de águas pluviais (Mecatrônica atual, junho de 2002)

Neste sistema, a bomba deve ser ligada quando o poço atingir o nível alto e desligada quando o mesmo atingir o nível muito baixo. Se mesmo com a bomba ligada o nível muito alto for atingido, deve-se acionar uma sirene indicando para o pessoal de manutenção que pode haver transbordamento do poço.

Os sensores de nível alto (LH) e baixo (LLO) são do tipo NA e o sensor de nível muito alto (LHH) é do tipo NF. Este último foi escolhido desta maneira por questões de segurança, pois se o fio partir, a sirene irá tocar como se o reservatório estivesse muito cheio, alertando assim o pessoal da manutenção.

O primeiro passo para fazer a programação, como foi dito no capítulo 10, é fazer as ligações elétricas, para determinar as entradas e saídas específicas de cada elemento, como pode ser visto na figura 12.2, abaixo.

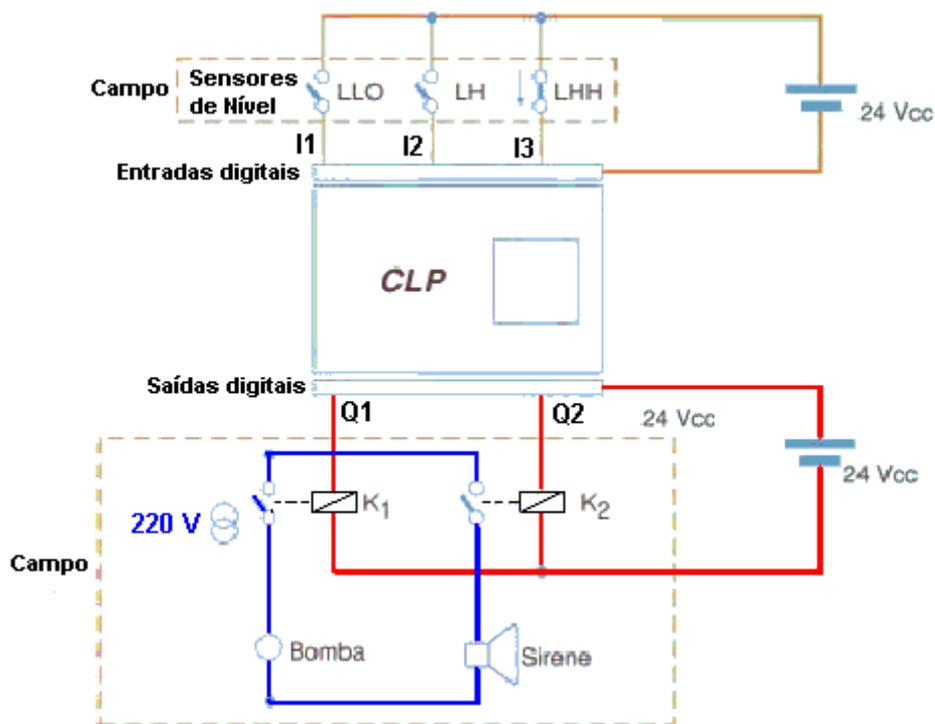


Figura 12.2 – Sistema de captação de águas pluviais (Mecatrônica atual, junho de 2002)

Feito isso basta montar o programa. Como a bomba é acionada por um motor, basta ligar o mesmo em partida direta, para isso utiliza-se um relé de auto-retenção, onde intuitivamente, nota-se que o set é dado pelo sensor de nível alto (I2) e o reset pelos sensor de nível baixo (I1). Quanto ao nível muito alto (I3), por ser um contato NF, deve passar por uma função inversora (NOT), caso contrário acionaria a sirene assim que a alimentação de energia fosse ligada. Após estas considerações desenha-se o programa final, mostrado na figura 12.3.

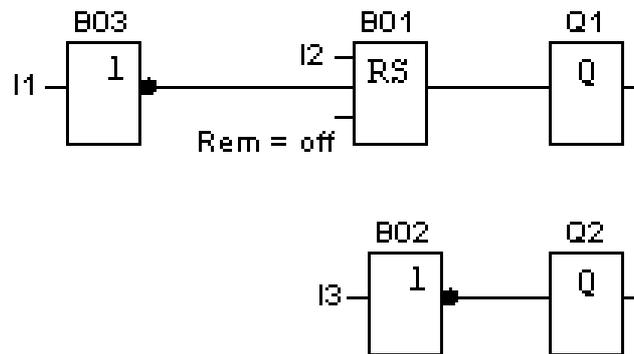


Figura 12.3 – Programa para automação do sistema de captação de águas pluviais

## 12.2 – Partida de um motor elétrico de indução com reversão

A partida com reversão, foi estudada no capítulo 5, onde a lógica de acionamento já está pronta, e portanto basta fazer sua transformação para blocos funcionais. Para isso basta observar que o acionamento de cada sentido de giro consiste em um circuito de selo em série com um intertravamento (ver figura 12.4).

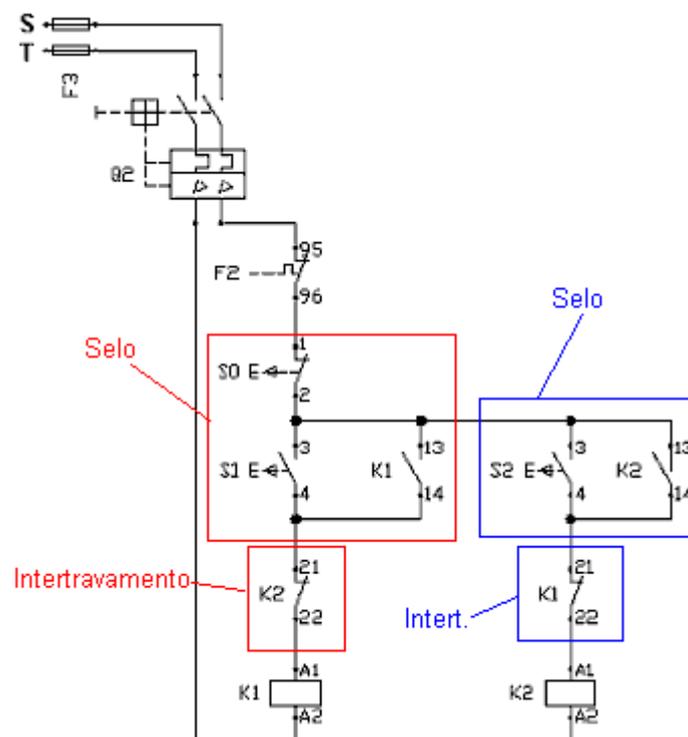


Figura 12.4 – Circuitos de Selo e Intertravamento na Partida com reversão

Lembrando que o selo é equivalente ao relé de auto retenção (set-reset) e dois elementos em série significa uma função lógica AND, pode-se montar o programa que é mostrado na figura 12.5, a seguir.

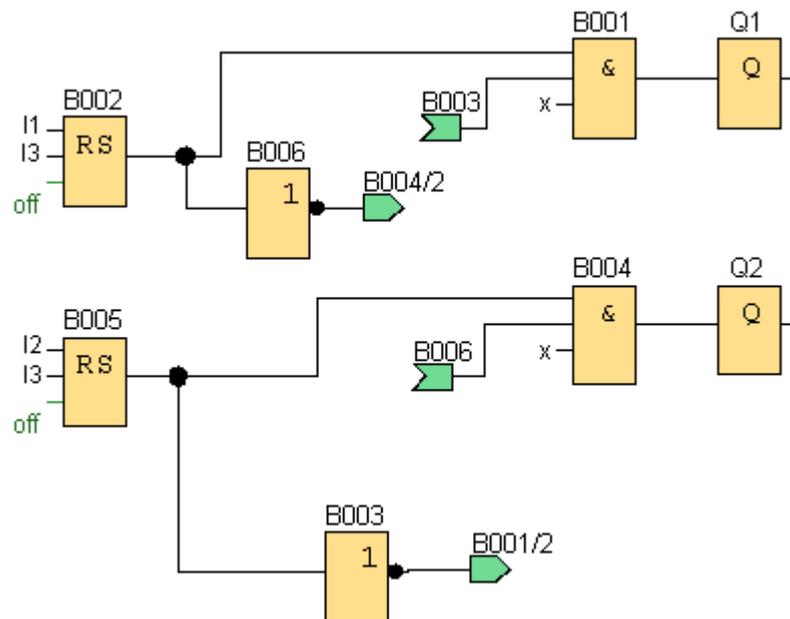


Figura 12.5 – Programa para comandar uma partida com reversão

Neste ponto considera-se que o circuito elétrico referentes às ligações do CLP já está determinado, havendo a seguinte correspondência:

- **I1**: Conectada a uma botoeira NA para ligar o motor no sentido horário;
- **I2**: Conectada a uma botoeira NA para ligar o motor no sentido anti-horário;
- **I3**: Conectada a uma botoeira NA para desligar o motor;
- **Q1**: Ligada a bobina do contator K1 (horário);
- **Q2**: Ligada a bobina do contator K2 (anti-horário);

### 12.3 - Acionamento alternado de motores

Em sistemas automatizados, a seqüência de tarefas pode requerer que dois motores sejam acionados alternadamente, pois cada um executa uma ação em um intervalo de tempo diferente. A figura 12.6 apresenta uma possível solução para o problema, onde os motores funcionam em intervalos de tempo simétricos de 30 min.

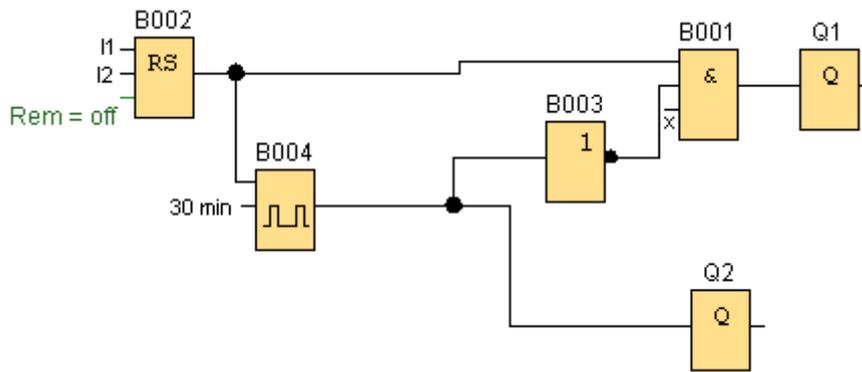


Figura 12.6 – Programa para partida alternada de motores

Note que a inserção dos blocos 1 e 3 no programa são importantes para evitar o ligamento do motor comandado por Q1, no instante da alimentação de energia no circuito. A ligação elétrica de cada elemento do CLP é descrita a seguir.

- **I1**: Conectada a uma botoeira NA para ligar o motor 1;
- **I2**: Conectada a uma botoeira NA para ligar o motor 2;
- **Q1**: Ligada a bobina do contator K1 (motor 1);
- **Q2**: Ligada a bobina do contator K2 (motor 2);

#### 12.4 - Partida Estrela / Triângulo

Para a partida Y/ $\Delta$ , propõe-se a solução mostrada na figura 12.7, lembrando que as seguintes regras são válidas:

- i. O contator “K1” deve permanecer ligado;
- ii. O contator “K3” deve ficar ligado 6s e o restante do tempo desligado;
- iii. O contator “K2” deve ligar logo após o contator “K3” ter se desligado;
- iv. Os contadores “K2” e “K3” nunca devem ficar ligados ao mesmo tempo.

Na solução proposta utiliza-se um bloco XOR (ver bloco 3 na figura 12.7) para impedir que as duas saídas Q2 e Q3 sejam ligadas ao mesmo tempo. Além disso, para aumentar a segurança do sistema, insere-se um retardo de ativação de 0,2 s. Isso porque a resposta do sistema mecânico é bem mais lenta que a resposta do sistema elétrico.

É importante lembrar que, neste tipo de partida, o intertravamento entre as saídas também deve ser feito de forma física, utilizando os contatos NF dos contadores.

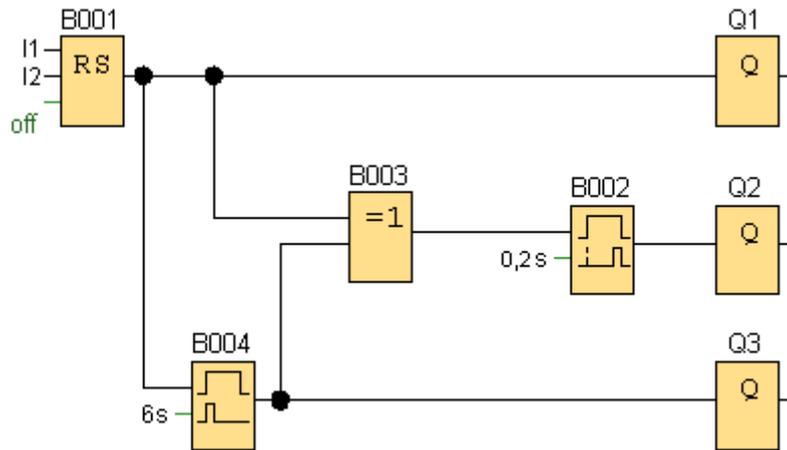


Figura 12.7 – Programa em Blocos Lógicos para partida Y/Δ

### 12.5 - Partida com reversão automática

Utilizando-se os recursos da programação em Blocos Funcionais pode-se programar uma partida com reversão automática, ou seja, ao pressionar a botoeira o motor começa a girar no sentido horário e inverte a rotação automaticamente. A solução se encontra na figura 12.8, onde são utilizados relés de contato passageiro (B01 e B06) para que não ocorra a inversão instantânea do sentido de giro, evitando assim possíveis “trancos”.

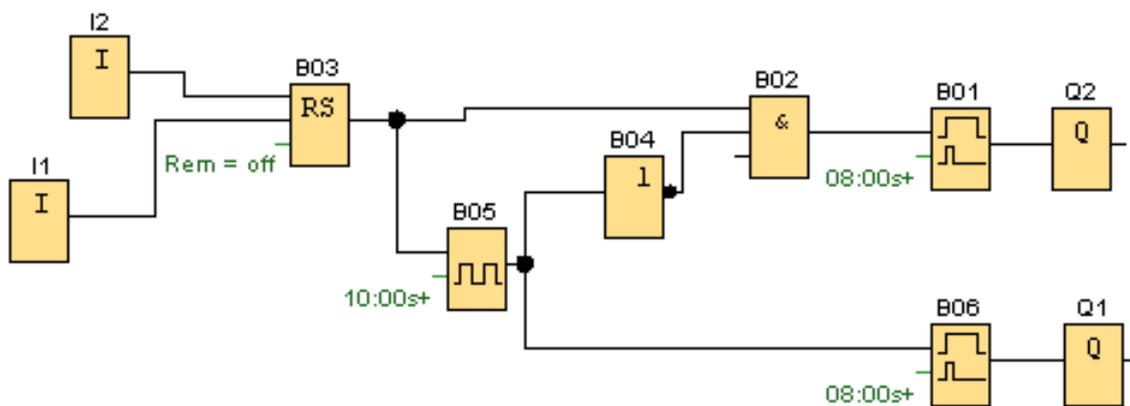


Figura 12.8 – Programa para partida com reversão automática

## 12.6- Segurança de prensa com contato passageiro

O comando bi-manual apresentado no capítulo 10 tem uma limitação muito séria, pois permite que o operador trave uma das botoeiras, passando a operar a prensa com apenas uma das mãos.

Uma solução o citado problema é mostrada na figura 12.9, onde o avanço da prensa é comandado por duas chaves. Estas devem ser pressionadas simultaneamente, de modo que acionada a primeira chave, não podem transcorrer mais do que 0,5s até que a segunda chave seja acionada. Após a contagem do tempo deve-se tirar a mão da botoeira previamente pressionada e começar o processo novamente. Se o operador retirar as mãos das chaves, a prensa deverá parar.

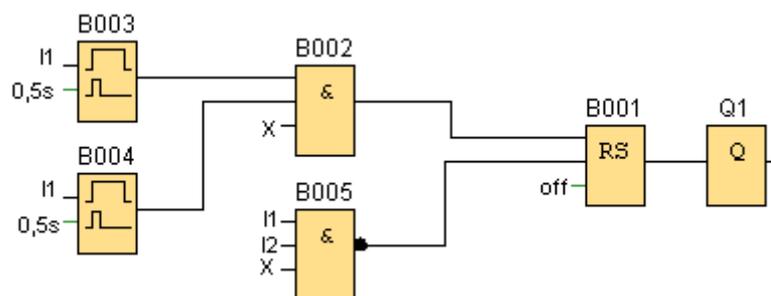


Figura 12.9 – Programa em Blocos Funcionais para comando da prensa

## **13 – Exercícios gerais em programação com Blocos Funcionais**

13.1 – Modifique o programa de captação de águas fluviais (item 12.1) de modo que a sirene também emita um toque intermitente, caso o volume de água atinja o sensor de nível alto.

13.2 – No programa da prensa apresentado na figura 10.4 ainda há uma falha, pois o intertravamento inserido para forçar o retorno da prensa cai quando ela deixa o campo do sensor de fim de curso. Utilizando os blocos de funções especiais modifique o programa, de modo a resolver este problema.

13.3 – Utilize o programa encontrado no exercício anterior e mais a rotina apresentada no item 12.6 para montar um programa completo de acionamento para prensas hidráulicas.

13.4 – Faça um programa diferente do apresentado no item 12.4 para comandar a partida estrela-triângulo.

13.5 - Faça um programa para acionar três motores em sequência, de modo que o segundo motor liga 8s após o primeiro, e o terceiro motor liga 5s após o segundo.

13.6 - Faça o comando de uma partida em reversão de modo que o operador possa ligar e desligar o motor no sentido horário com apenas uma botoeira. O mesmo é válido para o sentido anti-horário.

13.7 - No programa para partida com reversão, mostrado no item 12.2, adota-se a estratégia de “parada obrigatória” ou seja, necessariamente o operador tem que parar o motor para reverter o sentido de rotação. Em motores cuja carga é pequena ou inexistente, tais como ventiladores, pode-se adotar outra estratégia, ou seja, ao pressionar a botoeira para reverter a velocidade de rotação o motor já reverte o sentido sem precisar parar. Modifique o programa feito anteriormente para que isso aconteça.

13.8 - Dois motores em uma fábrica devem ser acionados alternadamente, de modo que o primeiro funciona por 8s e o segundo funciona por 2s. Como resolver este problema utilizando a programação em Blocos Lógicos?

13.9 - Fazer um programa de controle PLC para um sistema reservatório composto de uma válvula de entrada P, duas bombas (acionadas por M1 e M2), um alarme AL e quatro sensores de nível (a, b, c, d), conforme ilustrado abaixo. As condições de funcionamento são as seguintes: se o nível for “a”, então o fecha-se a válvula P. Se o nível for inferior a “b”, então abre-se a válvula P. Acima de “b”, M1 e M2 bombeiam. Abaixo de “b”, somente M1 bombeia. Abaixo de “c”, soa o alarme AL. Em “d”, nenhuma das bombas deverá funcionar. A figura 13.1 mostra um diagrama esquemático do problema.

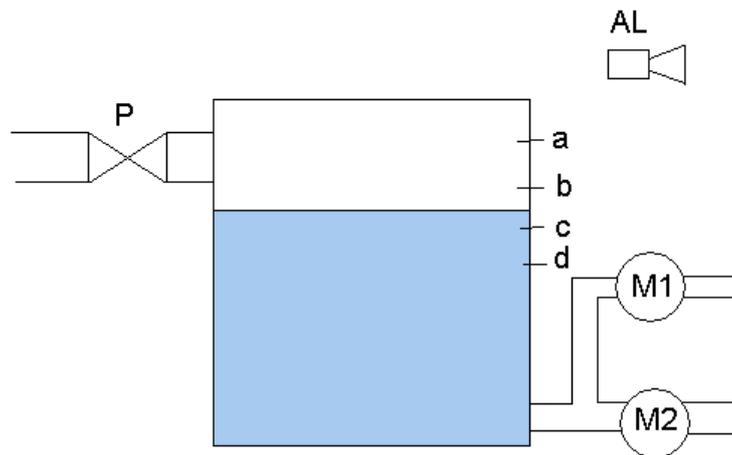


Figura 13.1 – Esquema do tanque onde deve ser controlado o nível

13.10 - Uma prensa deve ter um comando, de forma que o estampo baixe se forem satisfeitas as condições a seguir:

- A grade de proteção está fechada  $B6=B7=1$ ;
- Se estiver nas condições iniciais,  $B8=1$ ;
- Ambos os botões manuais acionados,  $B1=B2=1$ ;
- Se a grade de proteção for aberta ou um dos botões manuais soltos, o estampo deve parar;
- Se o estampo estiver sobre B3, posição de fim-de-curso inferior, deve-se iniciar o movimento para cima;
- No movimento para cima, a grade de proteção pode ser aberta.

O estampo na posição superior dá o ciclo por completo. A prensa é acionada por um motor de indução trifásico.

## 14 – Laboratório: Flexibilidade no uso do CLP

O presente capítulo pretende demonstrar através do uso do laboratório algumas das vantagens do uso dos CLPs, evidencia-se a sua flexibilidade, demonstrando que após a montagem das ligações elétricas do CLP consegue-se trabalhar com três sistemas de configurações diferentes, apenas mudando o programa no CLP. Para isso deve-se fazer o seguinte procedimento:

- i. Fazer a ligação elétrica do comando (ver figura 14.1).
- ii. Inserir o programa para uma partida simples com reversão no logo (figura 14.2) e testar.
- iii. Fazer a ligação elétrica da potência, testando-a separadamente. Se tudo estiver funcionando separadamente, testar o conjunto.
- iv. Inserir o programa para partida automática no Logo (figura 14.3) e testar.
- v. Inserir o programa para prensa com contato passageiro (figura 14.4) e testar.
- vi. Elaborar um relatório a ser entregue na próxima aula.

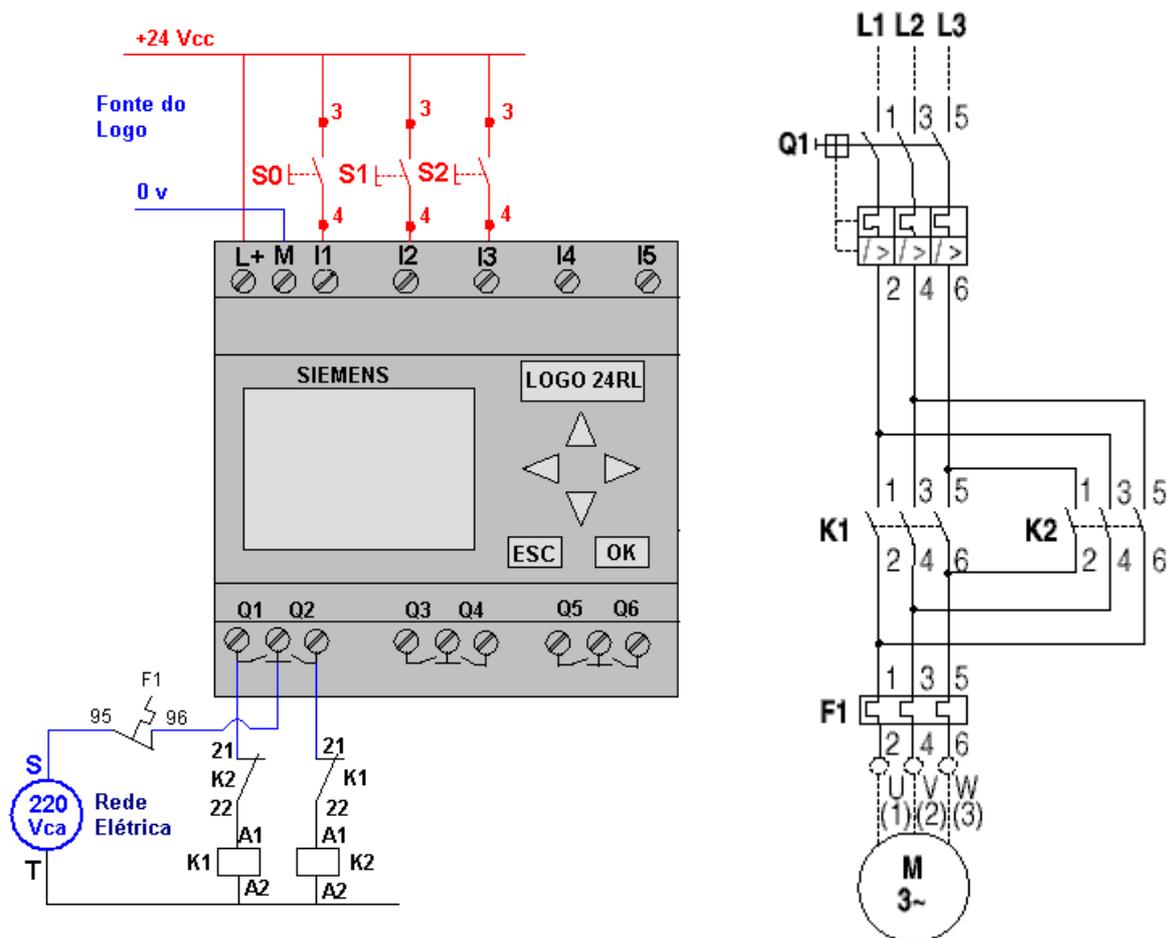


Figura 14.1 – Ligações elétricas de comando e potência com CLP Logo 24RL

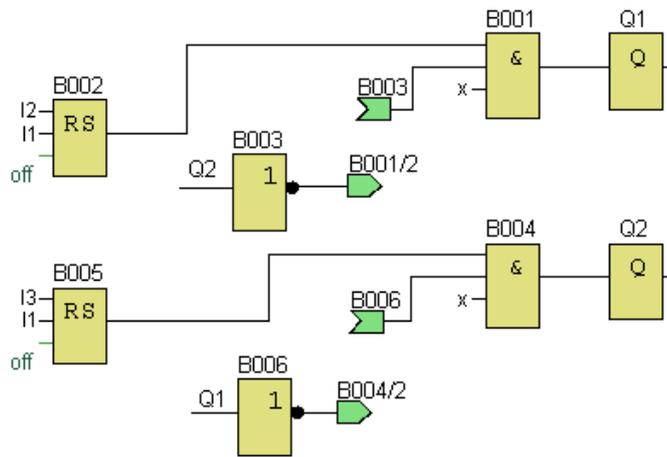


Figura 14.2 – Programa para partida com reversão simples

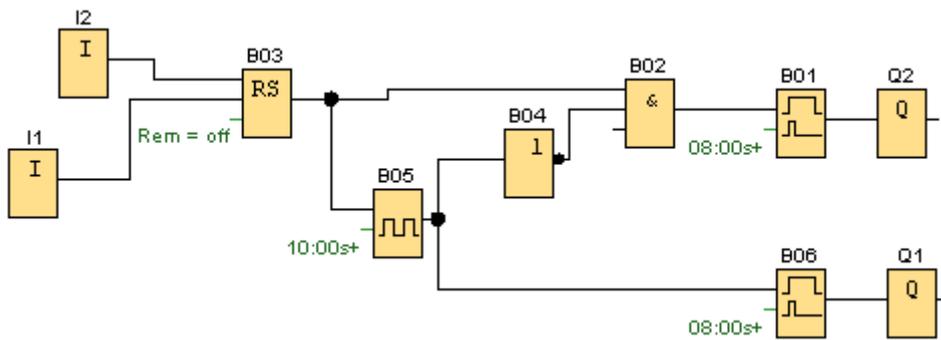


Figura 14.3 – Programa para partida com reversão automática

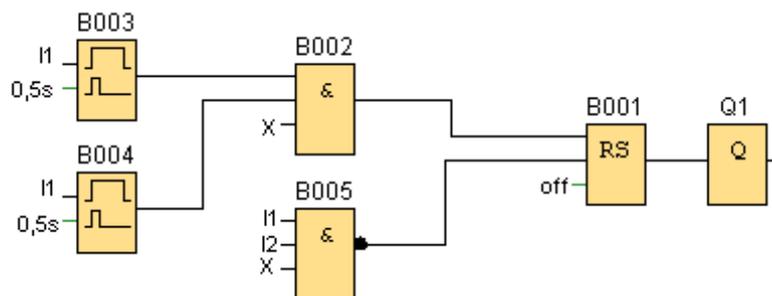


Figura 14.4 – Segurança de prensas com contato passageiro

## 15 - Noções de Projetos em Circuitos Lógicos Combinacionais

Até o presente momento os programas nos CLPs foram feitos com um raciocínio lógico intuitivo. Entretanto existem alguns métodos que podem atalhar o raciocínio, de forma a chegar no programa final sem utilizar do binômio programar-testar.

Sob o ponto de vista didático, deve-se separar os problemas de programação em dois tipos: os de lógica combinacional e os de lógica seqüencial.

Segundo Natale (1995) nos sistemas combinacionais as saídas só dependem das entradas no instante de tempo observado, já os sistemas seqüências se caracterizam também pela dependência dos instantes anteriores.

Para se trabalhar com circuitos seqüências deve-se estudar os princípios do Grafcet ou Sequential Flow Chart (SFC), cujos detalhes são detalhados por Silveira e Santos (1998).

Aborda-se neste capítulo a metodologia aplicada nos circuitos lógicos combinacionais, que compreendem os seguintes passos:

- i. Monte a Tabela verdade a partir do enunciado do problema
- ii. Escreva o produto das entradas (função “AND”) para cada caso onde a saída é 1 (um)
- iii. Escreva a expressão da soma de produtos para a saída
- iv. Simplifique a expressão de saída
- v. Implemente o circuito para a expressão final

A implementação deste procedimento será exemplificada através de um exemplo, dado a seguir.

**Exemplo:** Em uma máquina copiadora simples, um sinal de parada “S”, deve ser gerado para interromper a operação da máquina e energizar uma luz indicadora, sempre que uma das condições existir:

- a. A bandeja de alimentação de papel estiver vazia
- b. As duas chaves na trajetória do papel estiverem ativadas, indicando um congestionamento no caminho do papel

A presença de papel na bandeja de alimentação é indicada por um sinal “P” em alto. Cada chave produz um sinal “Q” e “R”, que vai para o alto sempre que o papel passa sobre a chave para ativá-la. O sistema é mostrado na figura 15.1. Faça um programa em ladder para resolver este problema.

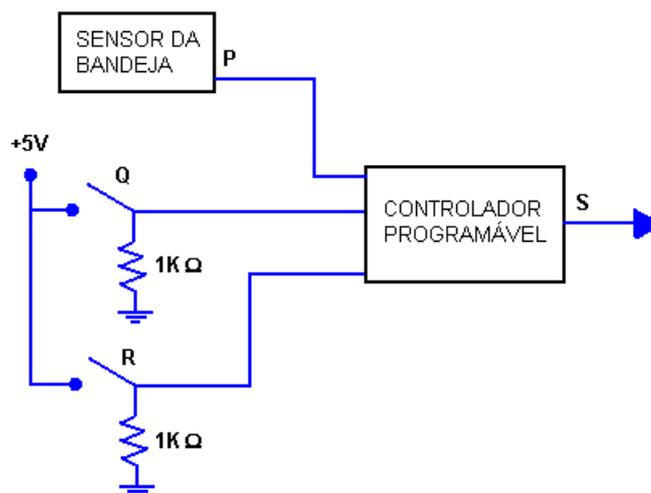


Figura 15.1 – Esquema elétrico da copiadora simples

*Resolução:* Para resolver este problema deve-se seguir os passos de projeto dos circuitos combinacionais:

i. Monte a tabela verdade a partir do enunciado do problema:

Para montar a tabela primeiramente faz-se: P=0 → Bandeja vazia; P=1 → Bandeja cheia; Q=0 → Chave desativada; Q=1 → Chave ativada; R=0 → Chave desativada; R=1 → Chave ativada

| P | Q | R | S |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

ii. Escreva o termo “AND” ou produto das entradas, para as linhas onde a saída é 1.

| P | Q | R | S | Termo AND                   |
|---|---|---|---|-----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | $\overline{PQR}$            |
| 0 | 0 | 1 | 1 | $\overline{P}\overline{Q}R$ |
| 0 | 1 | 0 | 1 | $\overline{P}QR$            |
| 0 | 1 | 1 | 1 | $\overline{P}QR$            |
| 1 | 0 | 0 | 0 |                             |
| 1 | 0 | 1 | 0 |                             |
| 1 | 1 | 0 | 0 |                             |
| 1 | 1 | 1 | 1 | $PQR$                       |

iii. Escreva a expressão da soma de produtos para a saída

$$S = \overline{PQR} + \overline{P}\overline{Q}R + \overline{P}QR + \overline{P}QR + PQR$$

iv. Simplifique a expressão de saída

Para simplificação um dos métodos é o Mapa de Karnaugh, mostrado abaixo:

|                            | $\overline{R}$ | $R$ |
|----------------------------|----------------|-----|
| $\overline{P}\overline{Q}$ | 1              | 1   |
| $\overline{P}Q$            | 1              | 1   |
| $PQ$                       | 0              | 1   |
| $P\overline{Q}$            | 0              | 0   |

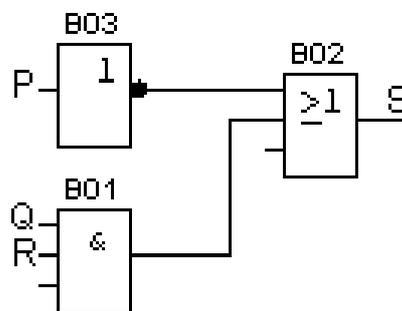
Com a expressão final:

$$S = \overline{P} + QR$$

Neste ponto é importante observar as seguintes regras de minimização, discutidas por Natale (1995):

- O número de células reunidas deve se o maior possível, mesmo que para isso, uma mesma célula deva pertencer a dois sub-conjuntos diferentes.
- O número de células reunidas em um sub-conjunto deve ser sempre potência de 2, ou seja, 1, 2, 4, 8, 16....
- Uma mesma célula pode pertencer a dois sub-conjuntos diferentes para satisfazer o primeiro item, mas não devem ser feitos agrupamentos desnecessários.
- Deve-se formar tantos agrupamentos até que não reste nenhuma saída com nível lógico 1 que não tenha sido agrupada.

v. Implemente o programa para a expressão final



## Exercícios

15.1 - Elaborar um diagrama de contatos (programa em Ladder) capaz de detectar números binários de 4 bits que sejam maiores que  $4_{10}$  e menores que  $14_{10}$ .

15.2 - Faça um programa para acionar um motor, através de 3 chaves de forma independente. As chaves estão localizadas em lugares diferentes.

## ANEXO 1 – Passos para programação na IHM do CLP Logo!

Como exemplo de primeiro programa, será inserido o diagrama mostrado na figura II.1 abaixo.

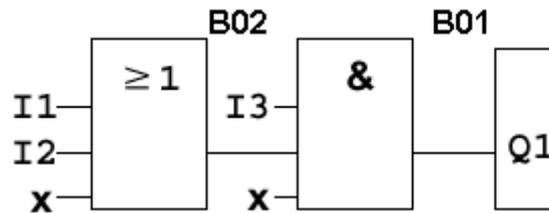
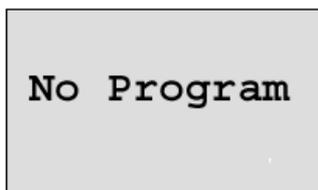


Figura II.1 – Primeiro programa a Inserir no LOGO!

Os passos serão listados a seguir. Posteriormente serão estudadas as ligações físicas externas ao CLP, que permitem a integração física deste com o meio externo.

Para inserir um program no LOGO deve se lembrar da principal regra: “**os programas sempre são inseridos das saídas para as entradas**”. Deve-se lembrar também que devido ao tamanho do Display da IHM, apenas um bloco de cada vez é mostrado na tela. Pode-se visualizar a interconexão dos mesmos através de sua numeração: B001, B002, B003 etc.

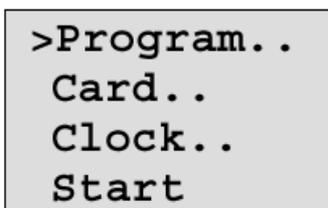
**Passo 1:** Ligue a alimentação do Logo, irá aparecer a seguinte tela:



**Passo 2:** Pressione simultaneamente as teclas:



Aparece a seguinte tela:



**Passo 3:** Posicione o cursor ">" onde se lê "Program" e tecle "OK". Utilize as teclas:

▼ Move o cursor para baixo

▲ Move o cursor para acima

Após teclar "OK" aparece a seguinte tela:

```
>Edit Prg
Clear Prg
Password
```

**Passo 4:** Posicione o cursor em "Edit Prg." E pressione "OK", logo aparece a tela com a primeira saída.

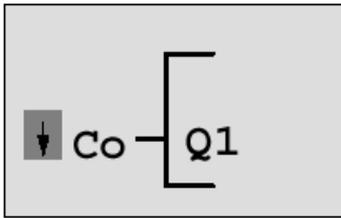
```
  ┌
  │ Q1
```

Você pode utilizar as teclas de movimentação do cursor ▲ ou ▼ para caminhar selecionar diferentes saídas. Faça isso, observando que as saídas mudam de número e logo após retorne na saída "Q1", para inserção do primeiro bloco de programa.

**Passo 5:** Posicione o cursor na posição esquerda da saída "Q1" conforme indicado na figura, utilize para isso a tecla ◀.

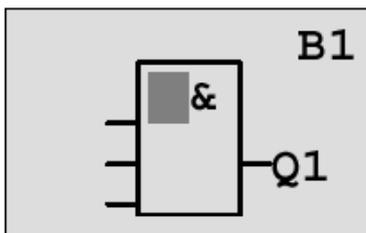
```
  ┌
  │ Q1
```

**Passo 6:** Com o cursor na posição indicada no passo 5, pressione a tecla “OK”, você irá entrar no modo de seleção de listas, como indicado na figura abaixo.



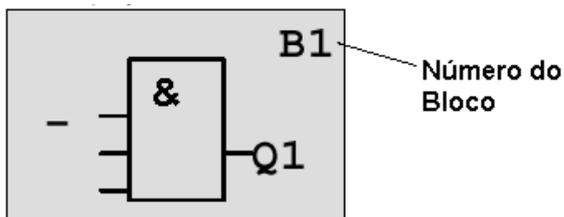
Note que a primeira lista que aparece é a “Co” de conectores

**Passo 7:** Utilize as teclas ▲ ou ▼ até encontrar “GF” escrito no lugar de “Co” e tecla “OK”, aparece a seguinte tela:

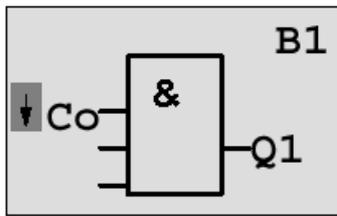


Note que no canto superior direito está escrito “B1”, indicando a numeração do Bloco.

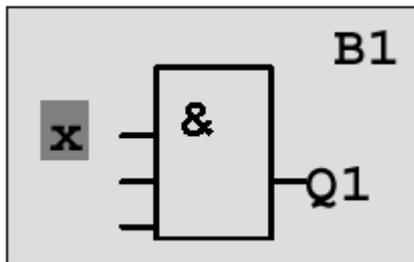
**Passo 8:** Pressione “OK” para confirmar o bloco, o cursor aparece agora do lado esquerdo do bloco B1, como mostrado na figura abaixo:



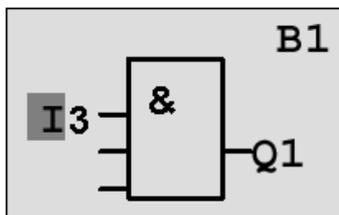
**Passo 9:** Pressione “OK”, escolha a lista “Co”, o display do CLP irá mostrar:



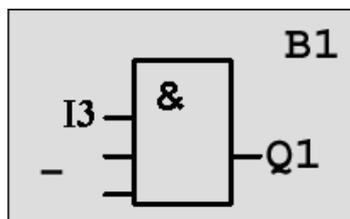
**Passo 10:** Pressione “OK” novamente, agora o display irá mostrar:



**Passo 11:** Selecione a entrada “I3” utilizando da tecla ▼

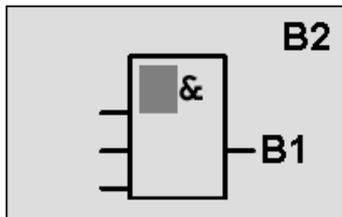


**Passo 12:** Pressione “OK”, agora I3 está conectada a primeira entrada do bloco, e o cursor salta para a próxima linha.



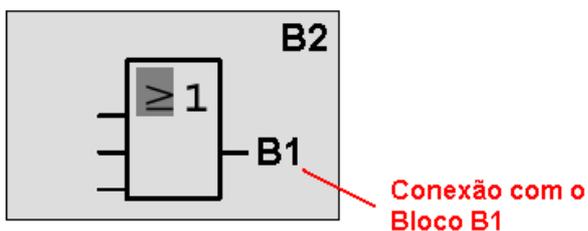
**Passo 13:** Deve-se agora inserir o bloco OR. Para isso siga as instruções:

- Pressione “OK”;
- Selecione a lista “GF”, utilizando as teclas ▲ ou ▼;
- Pressione “OK” novamente, irá aparecer a seguinte tela:

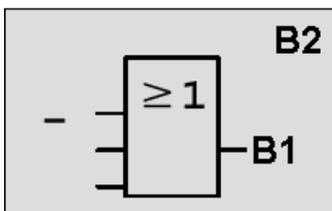


Observe no canto superior direito, que agora o número do bloco é B2, pois este é o segundo bloco que se entra no programa. No canto inferior é mostrado o número do bloco B1, indicando que este novo bloco está conectado a uma das entradas do bloco B1.

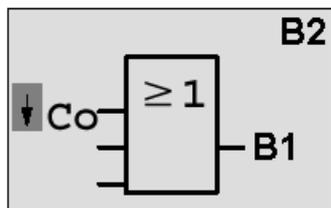
**Passo 14:** Utilize das teclas ▲ ou ▼ até que o display fique com a figura mostrada abaixo, correspondente ao bloco “OR”.



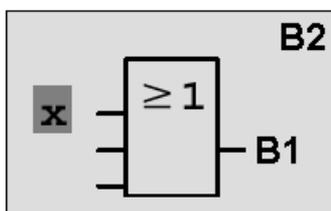
**Passo 15:** Pressione “OK” para confirmar o bloco. O cursor aparece agora do lado esquerdo do bloco B2, como mostra a figura abaixo:



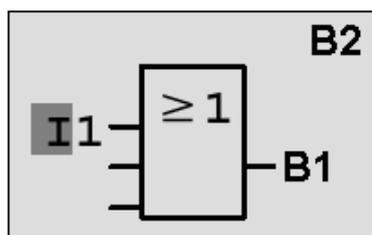
**Passo 16:** Pressione “OK”, o display mostra:



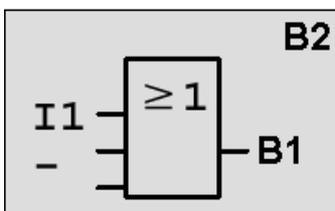
**Passo 17:** Selecione a lista “Co”, pressione “OK” novamente, o display irá mostrar:



**Passo 18:** Pressione ▲ ou ▼ até encontrar a entrada I1:



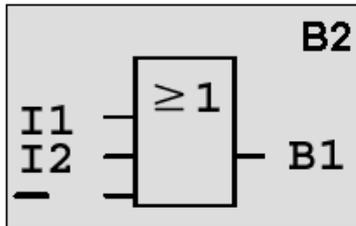
**Passo 19:** Pressione “OK”, a entrada I1 estará selecionada e o cursor salta para a próxima linha.



**Passo 20:** Selecione a entrada I2, seguindo o procedimento:

- Pressione “OK”;
- Selecione a lista “Co”, utilize as teclas ▲ ou ▼;
- Pressione “OK”, para confirmar a lista “Co”;
- Selecione I2, utilize as teclas ▲ ou ▼;
- Pressione “OK”, para confirmar a entrada I2.

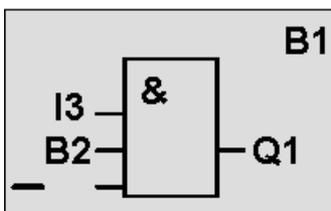
O display agora mostra:



**Passo 21:** Insira o símbolo de não conectado “X” na última entrada do bloco OR, seguindo o procedimento:

- Pressione “OK”;
- Selecione a lista “Co”, utilize as teclas ▲ ou ▼;
- Pressione “OK”, para confirmar a lista “Co”;
- Selecione X, utilize as teclas ▲ ou ▼;
- Pressione “OK”, para confirmar a entrada X.

**Passo 22:** Após pressionar “OK” no passo 21 o display volta a tela original, pois falta digitar a última entrada do bloco AND. Lembre-se que cada bloco tem 3 entradas.

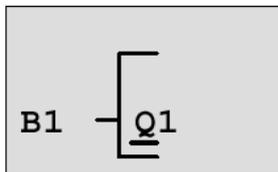


Note que a primeira entrada do bloco está conectada a I3, enquanto a segunda entrada está conectada ao bloco B2.

**Passo 23:** : Insira o símbolo de não conectado “X” na última entrada do bloco AND, seguindo o procedimento:

- Pressione “OK”;
- Selecione a lista “Co”, utilize as teclas ▲ ou ▼;
- Pressione “OK”, para confirmar a lista “Co”;
- Selecione X, utilize as teclas ▲ ou ▼;
- Pressione “OK”, para confirmar a entrada X.

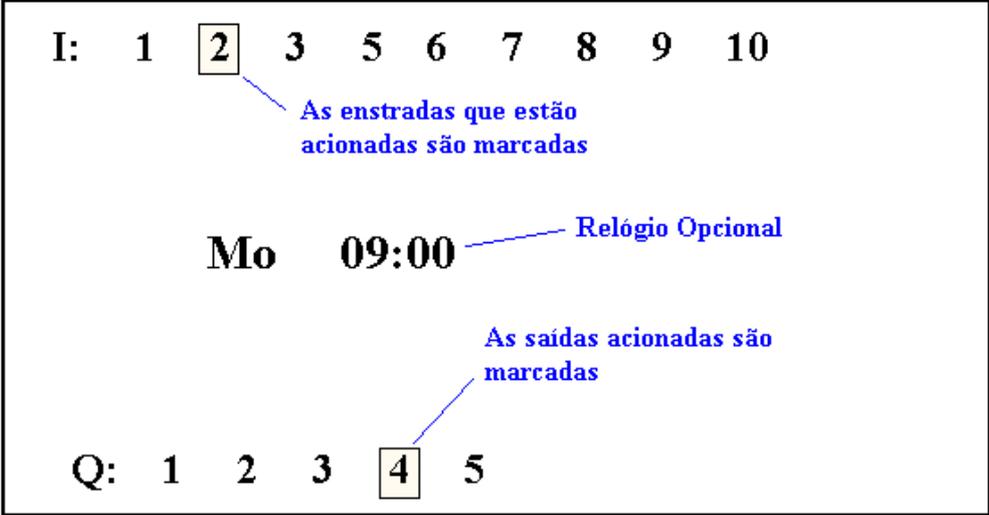
Após o passo 23, o programa volta para a tela original. Você pode visualizar todo o programa utilizando as teclas ► ou ◀.



Para testar o programa pressione ESC duas vezes, voltando ao menu de programação. Posicione o cursor em “Start” e pressione “OK”. Você irá entrar na tela de execução.

```
Program..
Card..
Clock..
>Start
```

A tela de execução tem o formato apresentado na figura abaixo. Note que as entradas e saídas ativadas são marcadas com um cursor.



## Referências Bibliográficas

Carvalho, Paulo César de – **Controlador Lógico Programável, 3ª parte** – Revista Mecatrônica Atual, nº 4, Junho de 2002, Editora Saber, páginas 36 a 43.

Filippo Filho, Guilherme - **Motor de Indução** - Editora Érica, São Paulo, 2000

Moraes, Cícero Couto de, Castrucci, Plínio de Lauro - **Engenharia de Automação Industrial** - Editora LTC, Rio de Janeiro, 2001

Natale, Ferdinando - **Automação Industrial** - Editora Érica, São Paulo, 1995

Rosário, João Maurício, - **Princípios de Mecatrônica** - Editora Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2005.

Silveira, Paulo R. da, Santos, Winderson E. - **Automação e Controle Discreto** - Editora Érica, São Paulo, 1998.