

Sumário

161 Capítulo 8

Comunicação em sistemas automatizados

- 8.1 Redes de comunicação 165
- 8.2 Protocolos de comunicação. 170
 - 8.2.1 Protocolo Modbus 171
 - 8.2.2 Protocolo Profibus. 174
 - 8.2.3 Protocolo CAN 176
 - 8.2.4 Protocolo Devicenet 178
 - 8.2.5 Protocolo Hart. 180
- 8.3 Wireless na automação 185
- 8.4 Sistemas multimestre 187
- 8.5 Topologias utilizadas na indústria. 190

195 Referências bibliográficas

Capítulo I

Introdução à automação industrial



A automação industrial é uma área de pesquisa que vem ampliando sua atuação gradativamente nos últimos anos. O uso de dispositivos e a aplicação de soluções desenvolvidos em automação industrial tem grande repercussão sobretudo no setor industrial. As aplicações não se resumem a substituir o trabalho humano em tarefas exaustivas, monótonas e perigosas; elas trazem melhoria na qualidade de processos, otimização dos espaços, redução no tempo de produção e custos.

Existem diversos equipamentos utilizados na automação industrial, porém, o controlador lógico programável (CLP) é um dos mais importantes. O CLP surgiu no final da década de 1960 e revolucionou os comandos e controles industriais. Nessa época, a automação era executada quase totalmente por relés com base em lógica fixa, ou lógica *hardwired*, o que resultava em enormes armários de relés eletromecânicos interligados por circuitos elétricos e extensas fiações.

O primeiro CLP foi criado em 1968 por Dick Morley, funcionário da empresa Bedford Associates. Ele foi desenvolvido com o objetivo de substituir os armários empregados para controlar operações sequenciais e repetitivas na linha de montagem da indústria automobilística General Motors.

Essa primeira geração de CLPs usava componentes discretos e tinha baixa escala de integração. Sua utilização só era viável quando substituía painéis que continham mais de 300 relés. Tal equipamento ficou conhecido pela sigla PLC (*programmable logic controller*) – em português, CLP (controlador lógico programável).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), CLP é um “equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais”. Já para a National Electrical Manufacturers Association (NEMA), trata-se de um “aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar através de módulos de entrada e saída vários tipos de máquinas e processos”.

Com o surgimento dos circuitos integrados, foi possível viabilizar e difundir a utilização do CLP em grande escala, melhorando o poder de processamento e diminuindo o tamanho dos equipamentos. Esse avanço está atrelado, em grande

parte, ao desenvolvimento tecnológico dos computadores, até mesmo em sua arquitetura de *hardware* e *software*. O uso de microprocessadores e microcontroladores de última geração e o de arquitetura híbrida, aliada às novas técnicas de processamento paralelo e às redes de comunicação, contribuíram para o sucesso desse equipamento industrial.

Há pouco tempo o CLP possuía arquitetura proprietária, na qual cada fabricante produzia o próprio modelo e desenvolvia os *softwares* de programação e simulação exclusivos para seus equipamentos, ou seja, não existia portabilidade. Com a adoção da norma IEC 61131-3, ocorreu a padronização da linguagem de programação e a solução para *softwares* e aplicativos foi alcançada.

Atualmente, os CLPs possuem funções específicas de controle e canais de comunicação que permitem interligá-los entre si e a computadores em rede, formando um sistema integrado. Enquanto se estudavam as propostas de padronização do *fieldbus* (barramento de campo), as redes *wireless* suplantaram essa tecnologia e se incorporaram aos CLPs como opção de coleta de sinais de chão de fábrica. Dessa maneira, eliminaram-se os condutores usados para interligá-los, propiciando troca de informações e distribuição de dados por todo o processo.

As vantagens da utilização do CLP em aplicações industriais são inúmeras e cada dia surgem novas, que resultam em maior economia, superando o custo do equipamento. Essa evolução oferece grande número de benefícios, por exemplo:

- Maior produtividade.
- Otimização de espaço nas fábricas.
- Melhoria na qualidade do produto final.
- Alto MTBF (tempo médio entre falhas).
- Baixo MTTR (tempo de máquina parada).
- Maior segurança para os operadores.
- Menor consumo de energia.
- Redução de refugos.
- Reutilização do cabeamento.
- Maior confiabilidade.
- Fácil manutenção.
- Projeto de sistema mais rápido.
- Maior flexibilidade, satisfazendo maior número de aplicações.
- Interface com outros CLPs através de rede de comunicação.

1.1 Evolução

No final da década de 1960 e início da de 1970, as fábricas automobilísticas não possuíam flexibilidade para mudanças constantes no processo de produção. Qualquer alteração no processo de fabricação dos automóveis, por menor que fosse, era trabalhosa e demorada. Portanto, para produzir um automóvel de cor ou modelo diferente, havia longa espera, uma vez que a produção era feita em grandes lotes. Nessa época, a tecnologia era a automação com lógica de contatos, utilizando painéis com relés eletromecânicos e muita fiação. Obviamente, essas fábricas não haviam sido projetadas para constantes modificações. Por



causa das limitações tecnológicas, qualquer alteração na configuração da linha de produção tinha custo elevado, pois todos os intertravamentos para controle e segurança eram feitos com painéis de relés e contadores (figura 1.1).

Figura 1.1
Típico painel de relés.



A utilização de lógica de contatos apresentava as seguintes desvantagens:

- **Inflexibilidade** – Efetuar mudanças no processo produtivo significava alterar toda a lógica de contatos e intertravamento. Frequentemente, isso se traduzia em sucatear enormes painéis e produzir um novo, o que demandava tempo, fator responsável por grandes interrupções e perda de produção.
- **Custo operacional elevado** – Os painéis utilizados na automação eram enormes e ocupavam grandes áreas do processo produtivo, com montagem lenta e componentes eletromecânicos suscetíveis a falhas.
- **Alto custo de desenvolvimento e manutenção** – As lógicas com relés tinham de ser minimizadas para reduzir o número de componentes e o custo envolvido na montagem. Esse fato aumentava a complexidade do projeto (implementação e documentação).

O CLP, quando foi desenvolvido, buscava substituir os enormes painéis controladores com relés eletromecânicos e quilômetros de fios que predominavam na indústria automobilística, pois esses painéis não possibilitavam flexibilidade em relação ao modelo de veículo produzido.

Com o objetivo de resolver esses problemas, a General Motors solicitou o desenvolvimento e a produção de um equipamento com as seguintes características:

- Ser facilmente programável e ter sua sequência de operação prontamente mudada, de preferência na própria planta.
- Possuir manutenção e reparo facilitados usando uma montagem de módulos encaixáveis (tipo *plug-in*).
- Funcionar em ambientes industriais com mais confiabilidade que um painel de relés.
- Ser fisicamente menor que um painel de relés para minimizar o custo de ocupação do chão de fábrica.
- Produzir dados para um sistema central de coleta de informações.
- Ser competitivo quanto ao custo em relação a painéis de relés em uso na época.

O primeiro CLP projetado previa duas placas: a placa fonte e a placa processadora controlada por *software*. Um protótipo construído com essa arquitetura mostrou-se muito lento, exigindo o acréscimo de mais uma placa, chamada Logic Solver, que tinha como finalidade implementar em *hardware* as funções mais usadas pelo *software*, acelerando, assim, o processamento.

Em 1969, a Bedford Associates apresentou para a General Motors um equipamento que atendia a suas necessidades, além de funcionar em operações distintas e ser de fácil programação. Esse equipamento era o MODICON (*modular digital controller*).

O MODICON 084 foi o primeiro CLP comercial com essas tecnologias. Tal modelo proporcionou diversos benefícios à indústria, entre eles:

- Grande economia nas mudanças de funções, por ser facilmente programável.
- Aumento na vida útil do controlador, por utilizar componentes eletrônicos.
- Menor custo de manutenção preventiva e corretiva, por ser intercambiável.
- Diminuição dos espaços físicos ocupados nas áreas produtivas, pois suas dimensões eram reduzidas.

Os CLPs foram introduzidos na indústria brasileira na década de 1980, inicialmente nas filiais de empresas multinacionais, que implantavam a tecnologia utilizada na matriz. Em pouco tempo, essa tecnologia proliferou e o CLP adquiriu grande aceitação no mercado. Em 1994, havia mais de 50 fabricantes de CLP, o que demonstrava seu sucesso e aceitação. A tabela 1.1 mostra os principais eventos na evolução tecnológica do CLP.

Década	Evento
1960	Surgimento do CLP em substituição aos painéis de controle com relés eletromecânicos – economia de energia, facilidade de manutenção, redução de espaço e diminuição de custos.

Tabela 1.1
A evolução do CLP.



Década	Evento
1970	O CLP adquiriu instruções de temporização, operações aritméticas, movimentação de dados, operações matriciais, terminais de programação, controle analógico PID. No final da década, foram incorporados recursos de comunicação, propiciando a integração entre controladores distantes e a criação de vários protocolos de comunicação proprietários (incompatíveis entre si).
1980	Redução do tamanho físico em virtude da evolução da eletrônica e adoção de módulos inteligentes de E/S, proporcionando alta velocidade e controle preciso em aplicações de posicionamento. Introdução da programação por <i>software</i> em microcomputadores e primeira tentativa de padronização do protocolo de comunicação.
1990	Padronização das linguagens de programação sob o padrão IEC 61131-3, introdução interface homem-máquina (IHM), <i>softwares</i> supervisores e de gerenciamento, interfaces para barramento de campo e blocos de funções.
Hoje	Preocupação em padronizar os protocolos de comunicação para os CLPs de modo que haja interoperabilidade, possibilitando que o equipamento de um fabricante se comunique com o de outro, o que facilita a automação, o gerenciamento e o desenvolvimento de plantas industriais mais flexíveis e normalizadas.

1.2 Controlador lógico programável

A estrutura física do CLP é um conjunto de circuitos eletrônicos interligados formados por processadores, memórias, barramentos, dispositivos de entrada e saída, fonte de alimentação e terminal de programação.

Ao analisarmos o CLP quanto a sua arquitetura e forma construtiva, podemos compará-lo com um computador especialmente adaptado para aplicações industriais. Em razão de suas características físicas, ele pode funcionar em ambientes industriais agressivos, pois suporta variações de temperatura, vibrações, ruídos elétricos, pequenas variações na tensão etc. Por tudo isso, é considerado um equipamento robusto.

Na maioria das vezes, os CLPs são disponibilizados em módulos, ou seja, cada configuração pode ser montada pelo usuário de acordo com sua necessidade. Existem também modelos na forma compacta, cuja configuração o usuário não consegue alterar. Independentemente de serem compactos ou modulares, todos os CLPs têm a mesma arquitetura e seus blocos principais são (figura 1.2):

- Unidade central de processamento (UCP).
- Memórias.
- Módulos de entrada e saída.

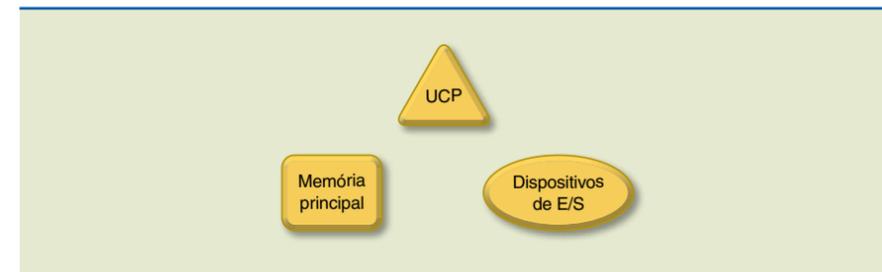


Figura 1.2
Blocos principais do CLP.

Outros componentes secundários de *hardware* podem ser adicionados à arquitetura do CLP:

- Periféricos de interface com o usuário.
- Terminal de programação.

Nas próximas seções, será feita uma breve introdução ao funcionamento desses componentes e, no capítulo 3, serão apresentados mais detalhes.

1.2.1 Unidade central de processamento (UCP)

A unidade central de processamento (UCP) gerencia todo o sistema, controlando as operações realizadas pelas diferentes unidades funcionais.

A principal função da UCP é controlar e executar instruções presentes na memória. Ela é responsável pelo gerenciamento total do sistema, controlando os barramentos de endereços, de dados e de controle.

O microprocessador é um dos componentes vitais da UCP. O primeiro microprocessador fabricado foi o Intel 4004, lançado em 1971. Somente depois de esses dispositivos adquirirem confiabilidade é que passaram a ser utilizados na fabricação dos controladores lógicos programáveis.

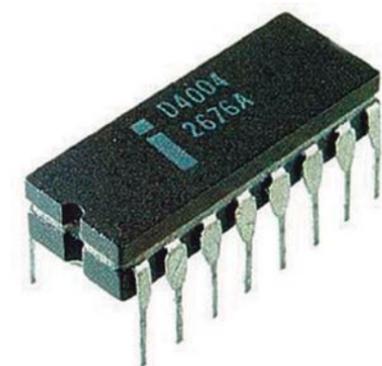


Figura 1.3
Processador Intel 4004.

Os primeiros CLPs usavam microprocessadores com lógica discreta. Alguns microprocessadores possuíam uma característica conhecida como *microcoded*, que foi muito importante para o desenvolvimento dos CLPs. Esses microprocessadores



tinham seu conjunto de instruções formado pela combinação de um conjunto de operações básicas.

O preço dos microprocessadores no final dos anos 1970 e início dos 1980 caiu muito e eles se tornaram componentes permanentes do CLP.

Na década de 1980, os CLPs já eram utilizados normalmente em sistemas de automação que envolviam lógica e sequenciamento. Surgia, então, a necessidade de desenvolver novas aplicações para esses equipamentos. O crescimento do mercado fez com que eles começassem a migrar para aplicações como:

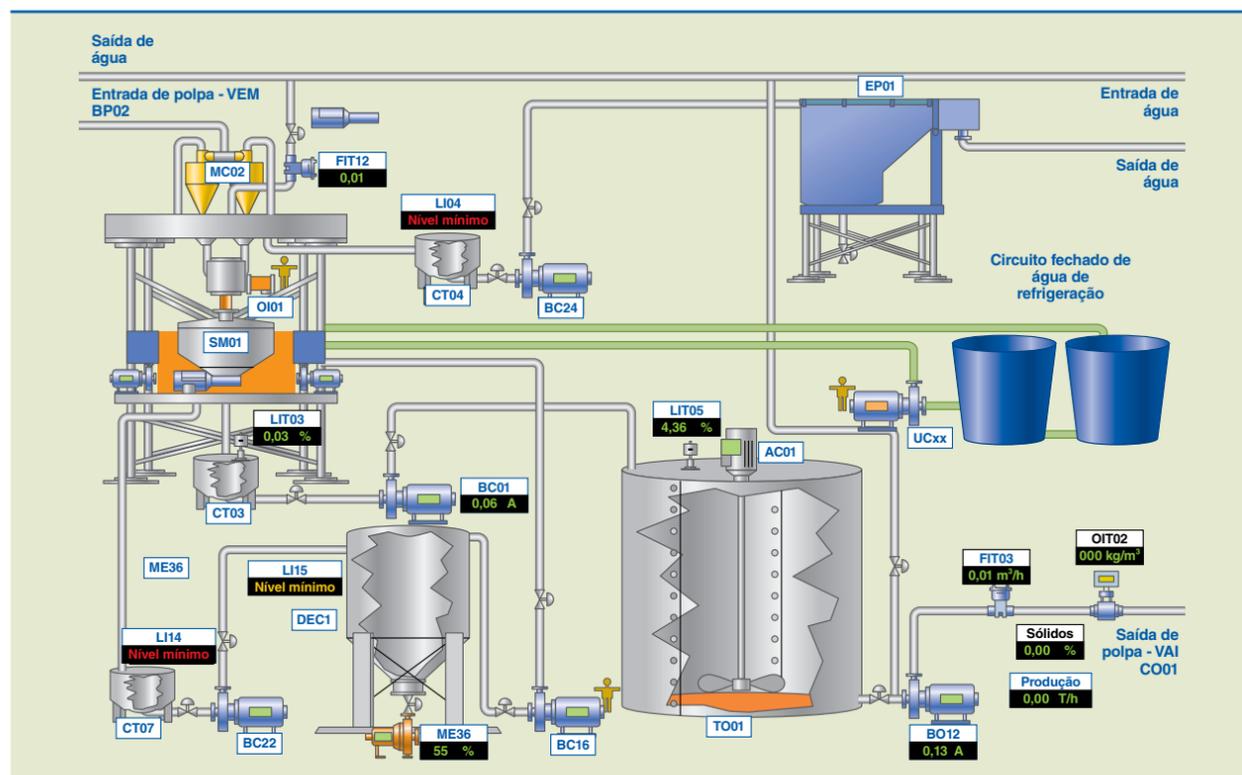
- controle de processo;
- comunicações entre homens e máquinas;
- processamento numérico.

O surgimento de novas aplicações fez com que os CLPs sofressem evoluções, de início em razão da insuficiência de memória, das limitações do barramento e do aumento da complexidade do sistema. Para melhorar seu desempenho, associado à necessidade de maior processamento, os CLPs passaram a realizar multiprocessamento.

A introdução significativa de novos produtos e das redes de comunicação de CLPs e a disponibilidade de processadores cada vez mais poderosos fizeram com que muitas das tarefas executadas por processadores, antes localizados em módulos de entrada e saída inteligentes, fossem executadas em *software* pela unidade central de processamento.

Figura 1.4

Esquema de controle de processo em indústria.



1.2.2 Memória

Memória é o local em que são armazenados instruções e dados, ou seja, as informações necessárias para o funcionamento do CLP. As memórias podem ser classificadas em:

- Memória executiva ou do programa monitor.
- Memória do sistema.
- Memória imagem das entradas e saídas (E/S).
- Memória de dados.
- Memória do usuário ou de aplicação.

As primeiras memórias foram desenvolvidas usando pequenos anéis de ferro magnético, cada um com 1,5 mm de diâmetro. Quando o anel era magnetizado em certo sentido, a direção de magnetização indicava o estado “0” ou “1” do bit associado a esse núcleo. Os núcleos de ferrite eram bem maiores que os *chips* hoje utilizados para armazenar dados. A memória com esse tipo de núcleo era bastante rápida: um bit nela armazenado era lido em um milionésimo de segundo. No entanto, essa memória era cara, volumosa e de leitura destrutiva, pois apagava os dados armazenados no núcleo, tornando necessário armazená-los novamente cada vez que fossem lidos.

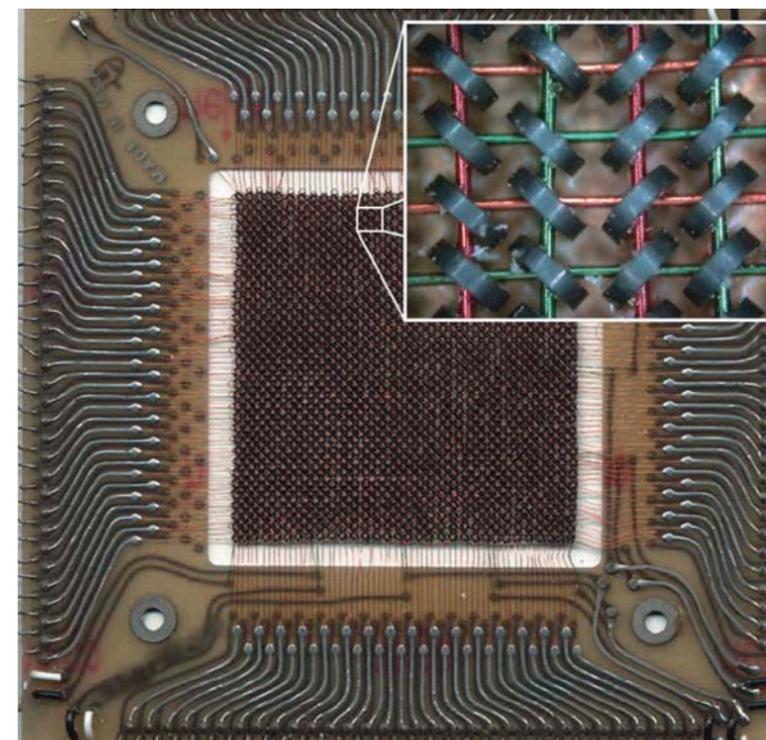


Figura 1.5

Memória de núcleo de ferrite.

A primeira memória de semicondutores foi produzida em 1970 pela Fairchild. Tratava-se de uma pastilha que tinha quase o tamanho de um núcleo de ferrite, podia conter até 256 bits de memória, era de leitura não destrutiva e muito mais

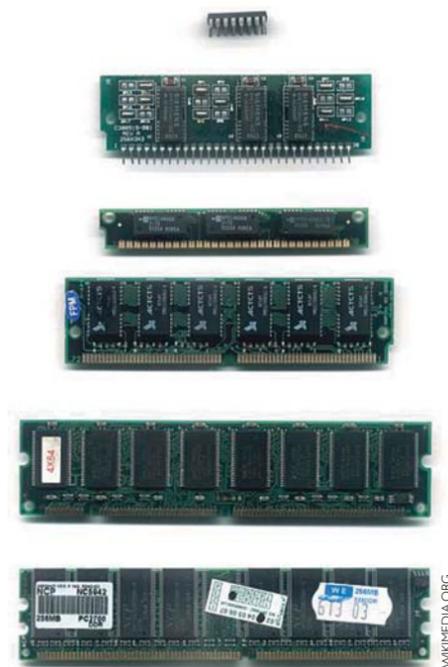


rápida do que o núcleo de ferrite, mas volumosa quando comparada com as memórias existentes hoje em dia. Apenas 70 bilionésimos de segundo eram necessários para ler um bit. O custo do bit da memória de semicondutor, entretanto, era mais alto do que o do núcleo de ferrite.

Já em 1974, o preço por bit da memória de semicondutores tornou-se menor do que o da memória de núcleo de ferrite. Em seguida, houve rápido declínio do custo de memória e aumento da densidade da memória física.

A evolução da microeletrônica viabilizou o uso de memórias semicondutoras. No início, foram utilizadas as memórias RAM (*random access memory*), que, por serem intrinsecamente voláteis, eram acompanhadas de baterias que as mantinham permanentemente alimentadas. Depois, as memórias PROM (*programmable read only memory*) passaram a ser empregadas, porém, não eram reprogramáveis. O próximo passo foi adotar as memórias não voláteis EPROM (*erasable programmable read only memory*), que eram apagadas pela exposição à luz ultravioleta. Surgiram, então, as memórias EEPROM (*electrically erasable read only memory*), que podiam ser apagadas eletricamente.

Figura 1.6
Evolução das memórias RAM.



O desenvolvimento tecnológico da memória e do microprocessador melhorou significativamente o desempenho dos CLPs.

1.2.3 Dispositivos de entrada e saída (E/S)

Os dispositivos de entrada e saída (E/S) são utilizados para permitir a comunicação entre o CLP e os dispositivos externos. Por ser destinado ao controle de

processos, esse equipamento é obrigado a adquirir dados relativos ao ambiente no qual está inserido e àquele que deve controlar fornecendo sinais de comando. No capítulo 3, veremos detalhes dos diversos dispositivos de entrada e saída apresentados nesta seção.

Esses dispositivos podem ser divididos em dois grandes grupos:

- **Dispositivos de entrada** — classificados como entradas digitais e entradas analógicas.
- **Dispositivos de saída** — classificados como saídas digitais e saídas analógicas.

1.2.4 Terminal de programação

A forma mais comum de interação entre o CLP e o usuário ocorre pela combinação teclado/monitor. Antes da popularização dos computadores pessoais (PCs, *personal computers*), a programação dos CLPs era feita usando terminais de programação dedicados, com os dados fornecidos ao CLP por meio de programação via teclado. Esses terminais eram equipamentos robustos que dispunham de teclado e monitor.

Há informações indicando que os terminais de programação mais primitivos e antigos compartilhavam a memória e o processador do próprio CLP a ser programado. Eles estavam muito próximos dos terminais “burros” usados para acesso aos computadores *mainframes*. A adoção desse método deve-se ao fato de que processadores e memórias eram muito caros na fase inicial da história do CLP.

Figura 1.7
Terminal de programação antigo.



Ficava economicamente inviável inserir mais componentes (memória e microprocessador) ao terminal, pois ele era utilizado apenas durante o desenvolvimento do programa do usuário e em eventuais manutenções. Depois, foram criados terminais inteligentes, dotados de memória e processador próprios. Esses terminais introduziram a chamada programação *off-line*, que tinha a vantagem de escrever o programa do usuário sem conexão com o CLP. Isso permitia o desenvolvimento do programa em local distante do CLP e, depois de pronto, era necessário testá-lo no chão de fábrica e, se necessário, retornar ao local em que havia sido desenvolvido para efetuar as mudanças necessárias.

Os protocolos usados na comunicação entre os terminais de programação e os CLPs eram proprietários, ou seja, desenvolvidos pelos fabricantes de CLP, o que impossibilitava a utilização de terminais de programação em CLPs de fabricantes diferentes. Portanto, se em uma indústria existissem quatro CLPs, um de cada fabricante, ela era obrigada a ter quatro terminais de programação. Esses terminais possuíam terminologias diferenciadas de fabricante para fabricante:

- Os da Allen-Bradley chamavam-se “terminal industrial” (*industrial terminal*).
- Os da General Electric, “terminal de desenvolvimento de programa” (PDT, *program development terminal*).
- Os da Texas Instruments, “unidade de programação em vídeo” (VPU, *video programming unit*).
- Os da Square D, “programador com tubo de raios catódicos” (CRT *programmer* ou *catode ray tube programmer*).

As linguagens de programação também eram proprietárias e não havia padronização. As teclas de atalhos desses terminais, para acelerar as chamadas de funções usadas nas linguagens que cada fabricante havia definido, estavam em posições diferentes. Dessa maneira, nem mesmo o formato e as funções dos teclados eram padronizados.

Os terminais de programação portáteis possuíam poucas teclas e *display* de LED ou cristal líquido. Eles tinham funcionalidade reduzida, sendo utilizados apenas para alterar dados ou pequenos trechos de código do programa do usuário.

Com esses terminais de programação havia outros dispositivos com funções específicas:

- Unidades de fita perfurada e fita magnética, para armazenar os programas desenvolvidos. As fitas perfuradas eram mais baratas e resistentes às agressões do ambiente industrial do que as fitas magnéticas.
- Impressora, que, na época dos terminais “burros”, era diretamente conectada ao CLP, imprimindo os programas desenvolvidos pelo usuário sem muitos refinamentos. A razão do estilo lacônico das impressões era a economia de memória.

Os computadores pessoais começaram a se popularizar em meados dos anos 1980. Nesse período, foram desenvolvidos programas para que esses computadores substituíssem os terminais de programação e desempenhassem suas funções. Tal processo não foi aceito de imediato, pois os PCs foram recebidos com certo ceticismo, devido aos altos custos e à fragilidade em ambientes industriais. O disco rígido, frágil diante de agentes agressivos, como temperatura, poeira e umidade, era o principal foco de preocupação, porque uma falha desse componente envolveria diversas horas de trabalho de programação de um sistema complexo. Para contornar o problema, os fabricantes de CLP passaram a produzir computadores pessoais mais resistentes.

1.2.5 Periféricos de interface com o usuário

A maioria das aplicações com controladores lógicos programáveis necessita de uma interface homem-máquina (IHM). Em um processo produtivo, o operador precisa interagir com o processo ou a máquina, comandando operações, alterando parâmetros, visualizando situações e recebendo diagnósticos.

Quando se iniciou o desenvolvimento dos CLPs, a interface com o usuário era praticamente igual à existente nos painéis de relés. Funções booleanas podiam ser introduzidas por meio de botoeiras e visualizadas com o uso de lâmpadas de sinalização. Os CLPs com grande número de bits de entrada e capacidade de processamento aritmético permitiam a leitura de dados numéricos utilizando chaves *thumbwheel*. Tratava-se de chaves com dez posições, cada uma delas representando um número. Quando conectada às entradas digitais do CLP, a *thumbwheel* indicava qual número o usuário escolheu. A indicação podia ser em código hexadecimal ou BCD. Várias chaves podiam ser combinadas para a entrada de números com vários dígitos.

Com a redução do custo dos *displays* de cristal líquido, surgiram as interfaces homem-máquina (IHMs) conforme mostra a figura 1.8. Esses dispositivos eram constituídos de teclado, *display* e processador, conectados por meio de uma rede de comunicação de dados a um ou mais CLPs.



Figura 1.8
Interface homem-máquina (IHM).

