

CAPÍTULO

4

Introdução à automação

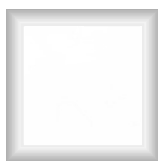
CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- 4.1 Elementos básicos de um sistema automatizado
 - 4.1.1 Energia para realização do processo automatizado
 - 4.1.2 Programa de instruções
 - 4.1.3 Sistema de controle
- 4.2 Funções avançadas de automação
 - 4.2.1 Monitoramento da segurança
 - 4.2.2 Manutenção e diagnósticos de reparação
 - 4.2.3 Detecção e recuperação de erros
- 4.3 Níveis de automação

A *automação* pode ser definida como a tecnologia por meio da qual um processo ou procedimento é alcançado sem assistência humana. É realizada utilizando-se um *programa de instruções* combinado a um *sistema de controle* que executa as instruções. Para automatizar um processo, é preciso *energia* não só para conduzir o processo como para operar o programa e o sistema de controle. Embora possa ser aplicada em diversas áreas, a automação está diretamente associada às indústrias de produção. Nesse contexto, o termo foi originalmente criado, em 1946, por um engenheiro da Ford Motor Company, para descrever a variedade de dispositivos automáticos de transferência e os mecanismos de alimentação que haviam sido instalados nas plantas de produção da empresa (Nota histórica 4.1). É irônico que quase todas as aplicações modernas da automação sejam contro-

ladas por tecnologias computadorizadas que não estavam disponíveis em 1946.

Nesta parte do livro, examinamos tecnologias desenvolvidas para a automatização das operações de produção. A posição das tecnologias de automação e controle nos sistemas de produção maiores é mostrada na Figura 4.1. Neste capítulo, oferecemos uma visão geral da automação: quais são os elementos de um sistema automatizado? Quais são algumas das características avançadas, além dos elementos básicos? Quais são os níveis da empresa nos quais a automação pode ser implementada? Nos próximos dois capítulos, discutiremos os sistemas de controle industrial e seus componentes de hardware. Esses capítulos servem de base para os seguintes, que abordam as tecnologias de automação e controle, que são: (1) controle numérico (Capítulo 7); (2) robótica industrial (Capítulo 8); e (3) controladores lógicos programáveis (Capítulo 9).



Nota histórica 4.1

História da automação

A história da automação está relacionada ao desenvolvimento de dispositivos mecânicos, tais como: roda (por volta de 3200 a.C.), alavanca, guincho (por volta de 600 a.C.), came (por volta do ano 1000), parafuso (1405) e engrenagem nos tempos antigos e medievais. Esses dispositivos básicos foram refinados e utilizados na construção dos mecanismos presentes em rodas hidráulicas, moinhos de vento (por volta de 650) e máquinas a vapor (1765). Essas máquinas geravam a energia necessária na operação de maquinário de diferentes tipos, tais como moinhos de farinha (por volta de 85 a.C.), teares (lançadeira volante, 1733), máquinas-ferramenta (mandriladora, 1775), barco a vapor (1787) e locomotivas (1803). A energia, e a capacidade de gerá-la e transmiti-la para a operação de um processo, é um dos três elementos básicos de um sistema automatizado.

Depois de sua primeira máquina a vapor, em 1765, James Watt e seu parceiro, Matthew Boulton, fizeram muitas melhorias no projeto. Uma delas foi o controlador centrífugo (por volta de 1785), que fornecia retroalimentação para o controle da válvula da máquina. O controlador era formado por uma esfera na extremidade de uma alavanca articulada conectada a um eixo rotativo, que por sua vez estava conectado à válvula de borboleta. À medida que a velocidade do eixo rotativo aumentava, a força centrífuga forçava a esfera a mover-se para fora; em contrapartida, fazia com que a alavanca diminuísse a abertura da válvula e reduzisse a velocidade do motor. Com a diminuição da velocidade rotacional, a esfera e o eixo repousavam, permitindo que a válvula se abrisse. O controlador centrífugo foi um dos primeiros exemplos na engenharia de controle de realimentação (*feedback*), um tipo importante de sistema de controle — o segundo elemento básico de um sistema automatizado.

O terceiro elemento de um sistema automatizado é o programa de instruções que direciona as ações do sistema ou da máquina. Um dos primeiros exemplos de programação de máquinas foi o tear de Jacquard, inventado por volta de 1800 com o objetivo de produzir tecidos a partir de fios. O programa de instruções que determinava o padrão de tecelagem do tecido era formado por placas de metal perfuradas. O padrão dos orifícios nas placas direcionava os movimentos da lançadeira do tear, que, em contrapartida, determinava o padrão de tecelagem. Disposições diferentes dos orifícios produziam padrões distintos de tecelagem. Assim, o tear de Jacquard era uma máquina programável — uma das primeiras.

No início da década de 1800, os três elementos básicos de um sistema automatizado — fonte de energia, controles e máquinas programáveis — já haviam sido desenvolvidos, embora ainda fossem primitivos se comparados aos padrões atuais. Foram necessários muitos anos de aprimoramento e de novas invenções e desenvolvimentos, tanto nos elementos básicos como na infraestrutura das indústrias de produção, para que os sistemas de produção totalmente automatizados se tornassem realidade comum. Exemplos importantes dessas invenções e desenvolvimentos incluem *peças intercambiáveis* (por volta de 1800, Nota histórica 1.1); *eletrificação* (iniciada em 1881); *linha de montagem* (1913, Nota histórica 15.1); *linhas de transferência* mecanizadas para a produção em massa, cujos programas eram definidos pela configuração do equipamento (1924, Nota histórica 16.1); teoria matemática de *sistemas de controle* (décadas de 1930 e 1940); *computador* eletromecânico MARK I, da Universidade de Harvard (1944). Todas essas invenções e avanços aconteceram depois da Segunda Guerra Mundial.

Desde 1945, muitas invenções e muitos desenvolvimentos vêm contribuindo de forma significativa para a tecnologia de automação. Del Harder cunhou o termo *automação* por volta de 1946 para fazer referência aos muitos dispositivos automáticos que a Ford Motor Company havia desenvolvido para suas linhas de produção. O primeiro computador eletrônico digital foi desenvolvido em 1946, na Universidade da Pensilvânia. A primeira máquina-ferramenta de *controle numérico* foi criada e demonstrada em 1952, no Massachusetts Institute of Technology — MIT, com base em um conceito proposto por John Parsons e Frank Stulen (Nota histórica 7.1). No fim da década de 1960 e no início da de 1970, os computadores digitais começaram a ser conectados às máquinas-ferramenta. Em 1954, o primeiro *robô industrial* foi projetado e, em 1961, foi patenteado por George Devol (Nota histórica 8.1). O primeiro robô comercial foi instalado em 1961, para descarregar as peças em uma operação de fundição. No fim da década de 1960, o primeiro *sistema de manufatura flexível* dos Estados Unidos foi instalado na Ingersoll Rand Company para executar operações de máquina em

uma variedade de peças (Nota histórica 19.1). Por volta de 1969, o primeiro *controlador lógico programável* foi introduzido (Nota histórica 9.1). Em 1978, o primeiro *computador pessoal* (PC) comercial foi apresentado pela Apple Computer, embora antes de 1975 um produto semelhante já tivesse sido lançado em forma de *kit*.

Desenvolvimentos na tecnologia dos computadores tornaram-se possíveis por conta dos avanços na eletrônica, incluindo o surgimento de *transistores* (1948), *disco rígido* para computador (1956), pastilhas de *circuitos integrados* (1960), *microprocessador* (1971), *memória de acesso aleatório* (*random access memory* – RAM, 1984), *chips* de memória com capacidade para milhões de *bytes* (por volta de 1990) e processadores *Pentium* (1993). Os avanços no desenvolvimento de programas relacionados à automação foram igualmente importantes, incluindo a linguagem de programação *FORTRAN* (1955), a linguagem de programação *APT* para controle numérico (CN) de máquinas-ferramenta (1961), o sistema operacional *UNIX* (1969), a linguagem *VAL* para programação de robôs (1979), o *Microsoft Windows* (1985) e a linguagem de programação *JAVA* (1995). Os avanços e melhorias dessas tecnologias continuam.

4.1 ELEMENTOS BÁSICOS DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO

Um sistema automatizado é composto por três elementos: (1) energia para concluir os processos e operar o sistema, (2) um programa de instruções que direcione os

processos e (3) um sistema de controle que execute as instruções. A relação entre esses elementos é ilustrada na Figura 4.2. Todos os sistemas que se intitulam automatizados incluem esses três elementos básicos em uma ou outra forma.

Figura 4.1 Tecnologias de automação e controle no sistema de produção

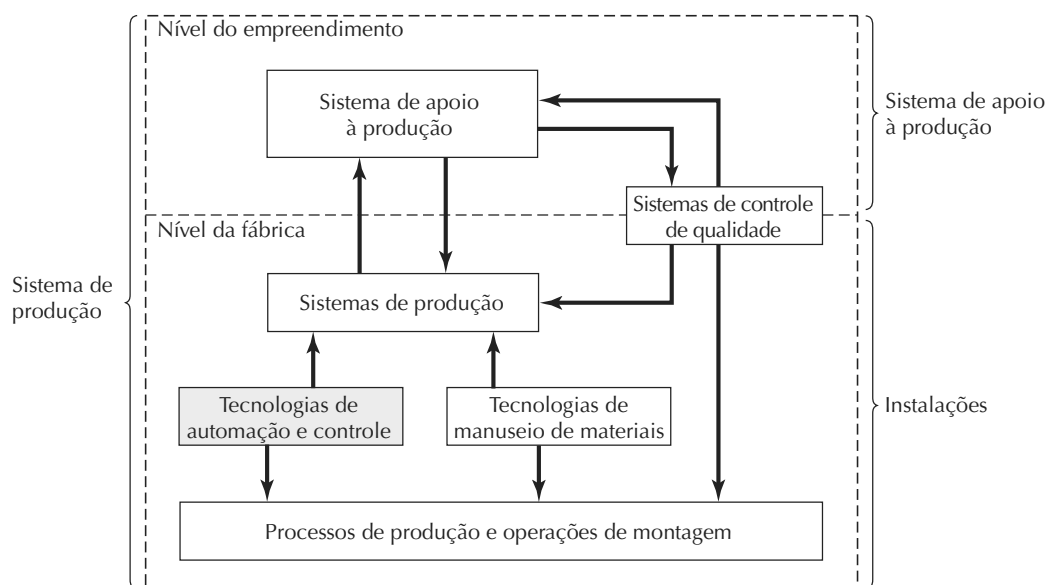
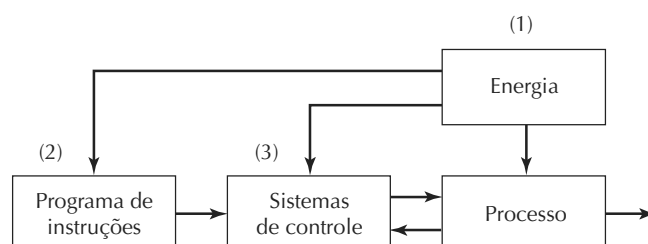


Figura 4.2 Elementos de um sistema automatizado: (1) energia, (2) programa de instruções e (3) sistemas de controle



4.1.1 Energia para realização do processo automatizado

Um sistema automatizado é utilizado para operar alguns processos e é necessária energia para conduzir esses processos e controles. Nos sistemas automatizados, a principal fonte de energia é a eletricidade. A energia elétrica apresenta muitas vantagens tanto nos processos automatizados como naqueles não automatizados:

- A energia elétrica está amplamente disponível a um custo moderado. Ela é parte importante de nossa infraestrutura industrial.
- A energia elétrica pode ser prontamente convertida em formas alternativas de energia: mecânica, térmica, luminosa, acústica, hidráulica e pneumática.
- Em níveis baixos, a energia elétrica pode ser utilizada na realização de tarefas como transmissão de sinal, processamento de informações e comunicação e armazenamento de dados.
- A energia elétrica pode ser armazenada em baterias de longa duração para utilização em locais nos quais não estão disponíveis fontes externas de energia.

Fontes alternativas de energia incluem combustíveis fossilizados, energia solar, água e vento. Entretanto, seu uso exclusivo é raro em sistemas automatizados. Em muitos casos, quando fontes alternativas de energia são utilizadas na condução do processo em si, a energia elétrica é empregada nos controles que automatizam a operação. Por exemplo, na moldagem ou no tratamento térmico, o forno pode ser aquecido por combustíveis fossilizados, mas o sistema de controle para regular a temperatura e o tempo de ciclo é elétrico. Em outros casos, a energia dessas fontes alternativas é convertida em energia elétrica para operar tanto o processo como sua automação. Quando a energia solar é utilizada como fonte de energia em um sistema automatizado, ela normalmente é convertida dessa maneira.

Energia para o processo. Na produção, o termo *processo* se refere à operação de produção executada sobre uma unidade de trabalho. A Tabela 4.1 apresenta uma lista de processos de produção comuns, da forma de energia necessária para realizar cada um deles e da ação resultante sobre a unidade de trabalho. Nas plantas de produção, a maior parte da energia é consumida por esses tipos de operações. A ‘forma de energia’ na coluna do meio da tabela refere-se à energia aplicada diretamente

Tabela 4.1 Processos de produção comuns e seus requisitos de energia

Processo	Forma de energia	Ação alcançada
Corte (feixe de laser)	Luminosa e térmica	Um feixe de luz altamente coerente é utilizado no corte de material através da vaporização e do derretimento.
Forjamento	Mecânica	A unidade de trabalho de metal é deformada por moldes opostos. As peças costumam ser aquecidas antes da deformação, o que demanda energia térmica.
Moldagem	Térmica	Derretimento do metal antes de seu despejo no molde em que ocorre a solidificação.
Moldagem por injeção	Térmica e mecânica	O calor é usado para elevar a temperatura do polímero a uma consistência altamente plástica, e a força mecânica é utilizada na injeção do polímero fundido em um molde.
Perfuração e estampagem de folhas de metal	Mecânica	A força mecânica é utilizada para cisalhar folhas e chapas de metal.
Soldagem	Térmica (pode ser mecânica)	A maior parte dos processos de soldagem utiliza o calor para causar a fusão e a união de duas (ou mais) peças de metal em suas superfícies de contato. Alguns processos de soldagem também aplicam pressão mecânica às superfícies.
Tratamento térmico	Térmica	A peça de trabalho metálica é aquecida a uma temperatura abaixo do ponto de derretimento para causar alterações microestruturais.
Usinagem	Mecânica	O corte do metal é alcançado por meio da movimentação entre a ferramenta e a peça de trabalho.
Usinagem por eletroerosão (<i>electric discharge machining</i> — EDM)	Elétrica	A remoção do metal é realizada por meio de uma série de descargas elétricas discretas entre o eletrodo (ferramenta) e a unidade de trabalho. As descargas elétricas causam elevações localizadas de temperatura que derretem o metal.

ao processo. Conforme indicado anteriormente, a fonte de energia para cada operação costuma ser convertida da eletricidade.

Além de conduzir os processos de produção, a energia também é necessária nas seguintes operações de manuseio de materiais:

- *Carga e descarga da unidade de trabalho.* Todos os processos listados na Tabela 4.1 são realizados sobre peças discretas. Essas peças devem ser colocadas na posição e orientação adequadas para que o processo seja executado, e a energia é necessária nessa função de transporte e posicionamento. Após a conclusão do processo, a peça de trabalho deve ser removida. Se o processo for completamente automatizado, então algum tipo de energia mecanizada é utilizada. Se o processo for operado manualmente ou de forma semiautomatizada, a energia humana pode ser empregada no posicionamento e na localização da peça de trabalho.
- *Transporte de material entre as operações.* Além de ser carregadas e descarregadas em uma operação, as peças de trabalho devem ser movidas entre as operações. Avaliamos as tecnologias de manuseio de materiais associadas a essa função de transporte no Capítulo 10.

Energia para automação. Além dos requisitos básicos de energia para as operações de produção, energia adicional é necessária na automação. Essa energia é utilizada nas seguintes funções:

- *Unidade controladora.* As controladoras industriais modernas baseiam-se em computadores digitais, que demandam energia elétrica para ler o programa de instruções, realizar os cálculos de controle e executar as instruções por meio da transmissão dos comandos adequados aos dispositivos em funcionamento.
- *Energia para enviar sinais de controle.* Os comandos enviados pela unidade controladora são executados por meio de dispositivos eletromecânicos, tais como comutadores e motores, denominados *atuadores* (Seção 6.2). Os comandos normalmente são transmitidos por meio de sinais de controle de baixa tensão elétrica. Para executar os comandos, os atuadores precisam de mais energia e, portanto, os sinais de controle devem ser amplificados de modo a oferecer o nível adequado de energia para o dispositivo atuante.
- *Coleta de dados e processamento de informações.* Na maioria dos sistemas de controle, os dados devem ser coletados do processo e utilizados como en-

tradas nos algoritmos de controle. Além disso, pode ser que o processo demande a manutenção de registros de desempenho do processo ou da qualidade do produto. Essas funções de coleta de dados e manutenção de registros demandam energia, ainda que em montantes modestos.

4.1.2 Programa de instruções

As ações realizadas por um processo automatizado são definidas por um programa de instruções. Independentemente de a operação envolver uma produção baixa, média ou alta, cada peça ou cada produto feito por essa operação envolve uma ou mais etapas de processamento que são únicas da peça ou do produto manipulado. Essas etapas de processamento são executadas durante um ciclo de trabalho. Uma nova peça é concluída a cada ciclo (em algumas operações de produção, mais de uma peça é produzida durante um ciclo; por exemplo, uma operação de moldagem por injeção plástica pode produzir múltiplas peças a cada ciclo utilizando diversos moldes). As etapas de processamento particulares a um ciclo de trabalho são definidas em um *programa de ciclo de trabalho*. No controle numérico (Capítulo 7), esses programas são chamados de *programas de peças*. Outras aplicações de controle de processos utilizam nomes diferentes para esse tipo de programa.

Programa de ciclo de trabalho. Nos processos de automação mais simples, o ciclo de trabalho é formado essencialmente por uma etapa, que envolve manter um único parâmetro de processo em um nível definido, como, por exemplo, manter a temperatura de um forno em determinado valor durante a duração do ciclo de tratamento térmico. (Assumimos que a carga e a descarga das peças de trabalho no forno são realizadas manualmente e, portanto, não fazem parte do ciclo automático.) Nesse caso, a programação envolve simplesmente a configuração da temperatura no forno. Para alterar o programa, o operador simplesmente altera a configuração da temperatura. Em uma extensão desse caso simples, o processo de etapa única é definido por mais de um parâmetro de processo, como, por exemplo, um forno no qual tanto a atmosfera como a temperatura sejam controladas.

Em sistemas mais complicados, o processo envolve um ciclo de trabalho composto por múltiplas etapas que são repetidas, sem desvios, de um ciclo para o seguinte. A maior parte das operações de produção de peças discretas está nessa categoria. Uma sequência típica de etapas (simplificadas) é a seguinte: (1) carregamento da peça na máquina de produção, (2) execução do processo e (3) descarregamento da peça. Durante cada etapa, existem

uma ou mais atividades que envolvem a alteração de um ou mais parâmetros. Os *parâmetros do processo* são entradas do processo, tais como a configuração da temperatura de um forno, o valor do eixo coordenado em um sistema de posicionamento, a válvula aberta ou fechada em um sistema de fluxo de fluidos e o motor ligado ou desligado. Os parâmetros do processo são identificados por *variáveis de processo*, que são saídas do processo; por exemplo, a temperatura atual de um forno, a posição atual do eixo, a taxa atual de fluxo de fluido em uma tubulação e a velocidade rotacional do motor. Conforme sugere nossa lista de exemplos, as alterações nos valores dos parâmetros do processo podem ser contínuas (alterações graduais durante uma etapa do processo; por exemplo, o aumento gradual da temperatura durante um ciclo de tratamento térmico) ou discretas (mudanças de estado; por exemplo, ligado/desligado). Diferentes parâmetros de processo podem estar envolvidos em cada etapa.

EXEMPLO 4.1

Uma operação automatizada de torneamento

Considere uma operação automatizada de torneamento que gera um produto em forma de cone. Considere que o sistema é automatizado e que um robô é utilizado na carga e descarga da peça de trabalho. O ciclo de trabalho é composto pelas seguintes etapas: (1) carregamento da peça de trabalho inicial; (2) posicionamento da ferramenta de corte que antecede o torneamento; (3) torneamento; (4) reposicionamento da ferramenta em um local seguro após o torneamento; (5) descarregamento da peça de trabalho concluídas. Identifique as atividades e os parâmetros do processo para cada etapa da operação.

Solução: Na etapa (1), as atividades incluem a ida até a peça de trabalho em estado inicial, sua elevação e seu posicionamento no mandril do torno pelo robô manipulador e o retorno do robô a uma posição segura até que precise realizar o descarregamento. Para essa atividade, os parâmetros do processo são os valores do eixo do robô manipulador (que se alteram constantemente), o valor da pinça (aberta ou fechada), e o valor do mandril (aberto ou fechado).

Na etapa (2), a atividade é a movimentação da ferramenta de corte para a posição de 'pronta'. Os parâmetros do processo associados a essa atividade são os eixos x e z da posição da ferramenta.

A etapa (3) é responsável pelo torneamento. Ela requer o controle simultâneo de três parâmetros do processo: velocidade rotacional da peça de trabalho (rotações/minuto), velocidade de avanço (milímetros/rotação) e distância radial da ferramenta de corte do eixo de rotação. Para cortar a forma cônica, a distância radial deve ser frequentemente alterada a uma taxa constante para cada rotação da peça. Para um acabamento superficial adequado, a velocidade rotacional deve ser constantemente

ajustada para manter uma velocidade de corte constante na superfície (metros/minuto); e para marcações idênticas na superfície, o avanço deve ser configurado com um valor constante. Dependendo do ângulo do cone, podem ser necessárias múltiplas passadas de torneamento para que, gradualmente, se gere o contorno desejado. Cada passada representa uma etapa adicional na sequência.

As etapas (4) e (5) são os opostos das etapas (1) e (2), respectivamente, e os parâmetros do processo são os mesmos.

Muitas operações de produção são formadas por múltiplas etapas, algumas vezes mais complicadas do que o exemplo de torneamento. Exemplos dessas operações incluem ciclos automáticos de máquinas de parafuso, operações de estampagem em folhas de metal, moldagem por injeção plástica e fundição. Cada um desses processos de produção foi usado por muitas décadas. Em versões anteriores dessas operações, os ciclos de trabalho eram controlados por componentes de hardware, tais como comutadores, temporizadores, cames e relés eletromecânicos. Na verdade, os componentes de hardware e seus arranjos serviam como o programa de instruções que direcionava a sequência no ciclo de processamento. Embora esses dispositivos fossem bastante adequados na execução da função de sequenciamento, eles apresentavam as seguintes desvantagens: (1) costumavam demandar tempo considerável no projeto e fabricação, forçando o equipamento a atuar somente na produção em lote; (2) demandavam tempo e tornavam difícil a realização mesmo de alterações pequenas; (3) continham um programa em forma física que não era prontamente compatível com a comunicação e o processamento de dados.

Os controladores modernos utilizados nos sistemas automatizados baseiam-se em computadores digitais. No lugar de cames, temporizadores, relés e outros dispositivos de hardware, os programas para equipamentos controlados por computador são armazenados em fitas magnéticas, disquetes, CD-ROMs, na memória do computador ou em outras tecnologias modernas de armazenamento. Quase todos os novos equipamentos que executam as operações de produção em massa citadas anteriormente são projetados com algum tipo de controlador de computador para executar seus respectivos ciclos de processamento. O uso de computadores digitais como controlador do processo permite que sejam feitas melhorias e atualizações nos programas de controle, tais como a inclusão de funções de controle não previstas durante o projeto inicial do equipamento. Esses tipos de mudanças de controle costumam ser difíceis de ser realizadas nos dispositivos de hardware antigos.

Um ciclo de trabalho pode incluir etapas manuais, nas quais o operador é responsável por certas atividades no

ciclo e o sistema automatizado realiza o restante. Um exemplo comum é o carregamento de peças pelo operador em uma máquina de controle numérico e o descarregamento das mesmas entre os ciclos, enquanto a máquina executa a operação de corte sob o controle do programa. Após o carregamento da peça, o início da operação de corte de cada ciclo é ativado pelo operador por meio de um botão 'iniciar'.

Tomada de decisões no ciclo de trabalho programado. Na discussão anterior sobre ciclo de trabalho automatizado, as únicas duas características do ciclo de trabalho são (1) o número de etapas e a sequência de processamento das mesmas e (2) o parâmetro do processo que muda a cada etapa. Cada ciclo de trabalho é composto pelas mesmas etapas e os parâmetros de processo associados permanecem inalterados de um fluxo para outro. O programa de instruções é repetido sem desvios a cada ciclo de trabalho. Na verdade, muitas operações automatizadas de produção demandam a tomada de decisões durante o ciclo de trabalho programado, de forma a lidar com as variações. Em muitos casos, as variações são elementos de rotina do ciclo e as instruções correspondentes para o tratamento das mesmas são incorporadas no programa regular. Esses casos incluem:

- *Interação com o operador.* Embora o programa de instruções tenha sido criado para funcionar sem a interação humana, a unidade controladora pode precisar de dados de entrada de um operador para funcionar. Por exemplo, em uma operação automatizada de gravação, pode ser que o operador precise informar os caracteres alfanuméricos a ser gravados na peça de trabalho (ou seja, na placa, no troféu ou na fivela do cinto). Uma vez informados os caracteres, o sistema realiza a gravação automaticamente. (Um exemplo cotidiano de interação com operador com sistema automatizado é um cliente bancário utilizando um caixa eletrônico. O cliente deve informar os códigos indicando a transação a ser realizada pelo caixa eletrônico.)
- *Diferentes modelos de produto ou peças processadas pelo sistema.* Nesse exemplo, o sistema automatizado é programado de forma a executar diferentes ciclos de trabalho em diferentes modelos de peças ou produtos. Um exemplo é um robô industrial que executa uma série de operações de solda de ponto em carrocerias de carros realizada em uma planta de montagem final. Essas plantas costumam ser projetadas para produzir modelos diferentes de carroceria na mesma linha de montagem semiautomatizada, tais como *sedãs* de duas ou quatro portas. Conforme a carroceria entra em uma estação de soldagem na li-

nha de montagem, sensores identificam seu modelo, e o robô executa a sequência correta de soldagens para aquele modelo.

- *Variações na unidade de trabalho inicial.* Em algumas operações de produção, as unidades de trabalho iniciais não são consistentes. Um bom exemplo é o da areia de fundição como material inicial em uma operação de usinagem. As variações de dimensão nas peças iniciais algumas vezes demandam uma passada extra da usinagem para que a dimensão do usinado chegue ao valor especificado. O programa da peça deve ser codificado de forma a permitir a passada adicional quando necessária.

Em todos esses exemplos, as variações rotineiras podem ser acomodadas no programa regular do ciclo de trabalho, que pode ser projetado para responder a entradas vindas de um sensor ou de um operador por meio da execução da sub-rotina apropriada correspondente à entrada. Em outros casos, as variações no ciclo de trabalho não são nem um pouco rotineiras. Elas são infrequentes e inesperadas, tal como uma falha em um componente do equipamento. Nesses casos, o programa deve incluir procedimentos de contingência ou modificações na sequência capazes de lidar com as condições que fogem à rotina normal. Discutimos essas medidas mais adiante, no contexto das funções avançadas de automação (Seção 4.2).

Diversas situações de produção e programas de ciclo de trabalho foram discutidos aqui. Vamos tentar resumir as características dos programas de ciclo de trabalho (programas de peças) utilizados para direcionar as operações de um sistema automatizado:

- *Número de etapas no ciclo de trabalho.* Quantas etapas ou elementos de trabalho distintos estão incluídos no ciclo de trabalho? Uma sequência típica nas operações de produção discretas inclui (1) carregamento, (2) processo e (3) descarregamento.
- *Participação manual no ciclo de trabalho.* Existe a necessidade de um trabalhador executar determinadas etapas no ciclo de trabalho, tais como carregamento na máquina de produção e descarregamento da mesma, ou o ciclo de trabalho é totalmente automatizado?
- *Parâmetros do processo.* Quantos parâmetros de processo devem ser controlados durante cada etapa? São contínuos ou discretos? Como são acionados? Os parâmetros precisam ser modificados durante a etapa, tal como, por exemplo, um sistema de posicionamento cujos valores dos eixos se alteram durante a etapa de processamento?

- *Interação com o operador.* É necessário, por exemplo, que o operador informe dados de processamento para cada ciclo de trabalho?
- *Variações nos modelos de peças ou produtos.* As unidades de trabalho são idênticas em cada ciclo, como na produção em massa (automação rígida) ou na produção em lote (automação programável), ou cada ciclo pode processar modelos diferentes de peças ou produtos (automação flexível)?
- *Variações na unidade de trabalho inicial.* As variações podem ocorrer nas dimensões ou materiais iniciais. Se forem significativas, alguns ajustes podem ser necessários no ciclo de trabalho.

4.1.3 Sistemas de controle

O elemento de controle em um sistema automatizado executa o programa de instruções, faz com que o processo execute sua função de forma a realizar alguma operação de produção. Aqui, vamos fazer uma breve introdução aos sistemas de controle. O próximo capítulo descreve detalhadamente essa importante tecnologia industrial.

Os controles de um sistema automatizado podem ser tanto de malha fechada como de malha aberta. Um *sistema de controle de malha fechada*, também conhecido como *sistema de controle por realimentação*, é aquele no qual a variável de saída se compara a um parâmetro de entrada e qualquer diferença entre eles é utilizada para fazer com que a saída esteja em conformidade com a entrada. Conforme mostra a Figura 4.3, um sistema de controle de malha fechada é formada por seis elementos básicos: (1) parâmetro de entrada, (2) processo, (3) variável de saída, (4) sensor por realimentação, (5) controlador e (6) atuador.

O *parâmetro de entrada*, normalmente chamado de *valor desejado*, representa o valor de saída desejado. Em um sistema doméstico de controle de temperatura, o valor-alvo é o valor de configuração do termostato. O *processo* é a operação ou função sendo controlada. Em particular, é a *variável de saída* que está sendo controlada na malha. Na discussão atual, o processo de interesse normalmente é uma operação de produção e a variável de saída é alguma variável do processo, talvez uma medida crítica de desempenho no processo tal como temperatura, força ou vazão. Um *sensor* é utilizado para medir a variável de saída e fechar a malha entre a entrada e a saída. Os sensores são responsáveis pela função por realimentação em um sistema de controle de malha fechada. O *controlador* compara a saída com a entrada e faz os ajustes necessários no processo para reduzir as diferenças entre elas. O ajuste é alcançado utilizando-se um ou mais *atuadores*, que são os dispositivos de hardware que fisicamente executam as ações de controle, tais como motores elétricos ou válvulas de controle de vazão. Vale ressaltar que o modelo na Figura 4.3 apresenta somente uma malha. A maioria dos processos industriais demanda múltiplas malhas — um para cada variável de processo a ser controlada.

Em contraste com o sistema de controle de malha fechada, temos o *sistema de controle de malha aberta*, que opera sem uma malha por realimentação, conforme mostra a Figura 4.4. Nesse caso, os controles operam sem medir a variável de saída e, portanto, não há comparação entre o valor de saída e o parâmetro de entrada desejado. O controlador confia em um preciso modelo do efeito de seu atuador sobre a variável do processo. Com um sistema de malha aberta, existe sempre o risco de o atuador não causar o efeito esperado no processo e essa é a desvantagem desse tipo de sistema de controle. Sua vantagem é que

Figura 4.3 Sistema de controle por realimentação

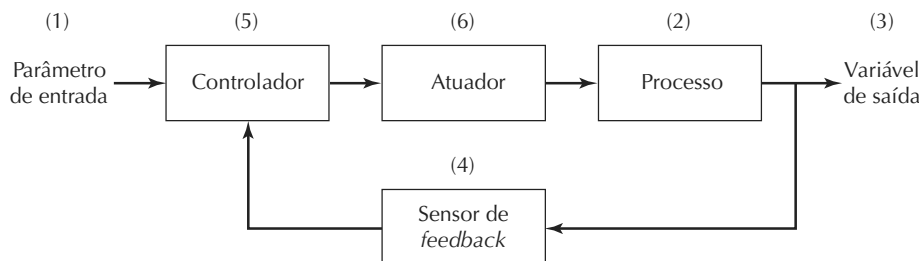


Figura 4.4 Sistema de controle de malha aberta



ele costuma ser mais simples e mais barato do que o sistema de malha fechada. Os sistemas de malha aberta geralmente são apropriados nas seguintes condições: (1) as ações executadas pelo sistema de controle são simples, (2) a função do atuador é bastante confiável e (3) quaisquer forças de reação opostas às do atuador são pequenas demais para causar algum efeito sobre a atuação. Se essas características não se aplicam, então pode ser que um sistema de controle de malha fechada seja mais apropriado.

Considere a diferença entre um controle de malha fechada e um controle de malha aberta para o caso de um sistema de posicionamento. Os sistemas de posicionamento são comuns na produção para a localização da peça de trabalho em relação a uma ferramenta ou cabeçote porta-ferramenta. A Figura 4.5 ilustra o caso de um sistema de controle de malha fechada.

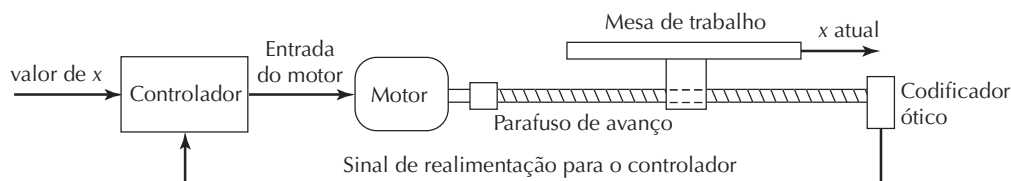
Em operação, o sistema é levado a mover a mesa de trabalho para uma posição específica, conforme definido pelo valor da coordenada em um sistema cartesiano (ou outro qualquer). A maioria dos sistemas de posicionamento possuem ao menos dois eixos (por exemplo, uma mesa de posicionamento x - y) com um sistema de controle para cada eixo, mas nosso diagrama ilustra somente um desses eixos. Um servomotor DC conectado a um fuso de avanço é um atuador comum para cada eixo. Um sinal indicando o valor da coordenada (por exemplo, o valor de x) é enviado do controlador para o motor que direciona o fuso de

avanço, cuja rotação é convertida no movimento linear da mesa de trabalho. Conforme a mesa se aproxima do valor da coordenada x desejado, diminui a diferença entre a posição x atual e o valor de entrada para x . A posição x atual é medida por um sensor por realimentação (como um codificador ótico). O controlador continua a direcionar o motor até que a posição atual da mesa corresponda ao valor de entrada para a posição.

No caso dos sistemas de malha aberta, o diagrama para o sistema de posicionamento seria semelhante ao anterior, mas sem a presença de um sensor por realimentação e com um motor de passo no lugar do servomotor DC. Um motor de passo é projetado para rotacionar uma fração precisa de um giro para cada pulso recebido do controlador. Como o eixo do motor está conectado ao fuso de avanço, e o fuso de avanço direciona a mesa de trabalho, cada pulso é convertido em um pequeno movimento linear constante da mesa. Para mover a mesa a uma distância desejada, é enviado ao motor o número de pulsos correspondente a essa distância. Dada a aplicação adequada, cujas características correspondem à lista anterior de condições para operação, um sistema de posicionamento de malha aberta funciona com alta confiabilidade.

Consideramos a análise de engenharia de sistemas de posicionamento de malha aberta e de malha fechada no contexto do controle numérico em um capítulo mais à frente (Seção 7.5).

Figura 4.5 Um sistema de posicionamento (monoeixo) formado por um parafuso de avanço (fuso) direcionado por um servomotor DC



4.2 FUNÇÕES AVANÇADAS DE AUTOMAÇÃO

Além de executar os programas dos ciclos de trabalho, um sistema automatizado pode ser capaz de executar funções avançadas não específicas de uma unidade de trabalho em particular. Em geral, as funções preocupam-se com a melhoria da segurança e do desempenho do equipamento. Funções avançadas de automação incluem: (1) monitoramento da segurança, (2) manutenção e diagnósticos de reparação e (3) detecção de erros e recuperação.

As funções avançadas de automação são viabilizadas por sub-rotinas especiais incluídas no programa de instruções. Em alguns casos, as funções somente oferecem infor-

mações e não envolvem quaisquer ações físicas por parte do sistema de controle, como no caso, por exemplo, de relatar uma lista de tarefas de manutenção preventiva a ser realizadas. Quaisquer atitudes tomadas com base nesse relatório são decididas por operadores humanos e gerentes do sistema, não pelo sistema em si. Em outros casos, o programa de instruções deve ser fisicamente executado pelo sistema de controle que toca o alarme quando o trabalhador humano se aproxima demais de um equipamento automatizado.

4.2.1 Monitoramento da segurança

Uma das principais razões para a automatização de uma operação de produção é a remoção de trabalhadores

de ambientes de trabalho perigosos. Um sistema automatizado costuma ser instalado para executar uma operação potencialmente perigosa que acabaria sendo executada por um humano. Entretanto, mesmo nos sistemas automatizados, os trabalhadores ainda são necessários no serviço ao sistema em intervalos periódicos ou mesmo em tempo integral. Portanto, é importante que o sistema automatizado seja projetado para operar com segurança quando os trabalhadores estão em atendimento. Além disso, é essencial que o sistema automatizado execute seus processos sem ser autodestrutivo. Assim, existem duas razões para que o sistema automatizado conte com um monitoramento da segurança: (1) proteger os trabalhadores que estejam próximos do sistema e (2) proteger o equipamento associado ao sistema.

O monitoramento da segurança significa mais do que medidas convencionais de segurança, tais como escudos protetores ao redor da operação ou dos tipos de dispositivos manuais que podem ser utilizados por trabalhadores humanos, tais como botões de parada de emergência. Em um sistema automatizado, o *monitoramento da segurança* envolve o uso de sensores para rastrear a operação do sistema e identificar condições e eventos arriscados ou potencialmente arriscados. O sistema de monitoramento de segurança é programado para responder a condições de risco da forma apropriada. Respostas possíveis a diferentes situações de perigo podem incluir:

- Parada total do sistema automatizado.
- Toque de alarme.
- Redução da velocidade de operação do processo.
- Tomada de medidas corretivas que recuperem a violação de segurança.

A última resposta é a mais sofisticada e sugere a existência de uma máquina inteligente executando antecipadamente alguma estratégia. Esse tipo de resposta se aplica a diferentes tipos de acidentes, não é necessariamente limitado às questões de segurança e é chamado de detecção e recuperação de erros (Seção 4.2.3).

No monitoramento da segurança, os sensores variam de dispositivos muito simples a sistemas altamente sofisticados. O tema da tecnologia de sensores é discutido no Capítulo 6 (Seção 6.1). A lista a seguir sugere alguns sensores possíveis e suas aplicações no monitoramento da segurança:

- Comutadores de limite para detectar o posicionamento adequado de uma peça em um dispositivo para que o ciclo do processo possa começar.
- Sensores fotoelétricos ativados pela interrupção de um feixe de luz; isso pode ser utilizado para indicar

que uma peça está na posição adequada ou para detectar a presença de um intruso humano em uma célula de trabalho.

- Sensores de temperatura para indicar que uma peça de metal está suficientemente aquecida para seguir para uma operação de forjamento a quente. Se não estiver, então a maleabilidade do metal pode ser muito baixa e os moldes podem ser danificados durante a operação.
- Detectores de calor ou fumaça para prever risco de incêndio.
- Tapetes sensíveis à pressão para detectar presença de intrusos nas células de trabalho.
- Sistemas de visão de máquina que façam vigilância do sistema automatizado e seus arredores.

Vale ressaltar que um determinado sistema de segurança está limitado a responder às condições de risco segundo possíveis irregularidades previstas pelo projetista do sistema. Se determinado risco não foi antecipado pelo projetista e, conseqüentemente, o sistema não foi programado com a capacidade para detecção de tal risco, então o sistema de monitoramento da segurança não conseguirá reconhecer o evento caso venha a ocorrer.

4.2.2 Manutenção e diagnósticos de reparação

Os sistemas de produção automatizados modernos estão-se tornando cada vez mais complexos e sofisticados, complicando ainda mais sua manutenção e seu reparo. Manutenção e diagnósticos de reparação referem-se às capacidades de um sistema automatizado auxiliar na identificação da fonte de mau funcionamento potenciais ou reais do sistema. Três modos de operação são comuns nos subsistemas modernos de manutenção e diagnósticos de reparação:

1. *Monitoramento da condição* (status). Nesse modo, o sistema de diagnóstico monitora e registra a condição dos sensores e parâmetros do sistema durante a operação normal. Quando solicitado, o subsistema de diagnóstico pode listar qualquer um desses valores e oferecer uma interpretação sobre o *status* atual, talvez alertando sobre uma falha iminente.
2. *Diagnóstico de falhas*. Esse modo é empregado quando se tem um mau funcionamento ou uma falha. Seu propósito é interpretar os valores atuais das variáveis monitoradas e analisar os valores registrados antes da falha, de modo que sua causa possa ser identificada.
3. *Recomendação de procedimento de reparo*. No terceiro modo de operação, o subsistema recomenda à equipe de reparo as etapas que devem ser tomadas na

realização de reparos. Algumas vezes, os métodos para o desenvolvimento das recomendações baseiam-se no uso de sistemas especialistas nos quais os julgamentos coletivos de muitos especialistas em reparos são agrupados e incorporados a um programa de computador que usa técnicas de inteligência artificial.

O monitoramento do *status* serve a duas funções importantes no diagnóstico das máquinas: (1) oferecer informação para o diagnóstico de uma falha corrente e (2) oferecer dados para que seja possível prever um futuro mau funcionamento ou uma futura falha. Primeiro, quando ocorre uma falha do equipamento, a equipe de reparo costuma ter dificuldades para determinar a razão da falha e quais atitudes tomar para proceder o reparo. É sempre útil reconstruir os eventos que levaram à falha. O computador está programado para monitorar e registrar os componentes adequados. Essa medida é especialmente útil nos reparos eletrônicos, em que é sempre difícil determinar o componente defeituoso com base na inspeção visual.

A segunda função do monitoramento da condição (*status*) é identificar sinais de falha iminente, de forma que os componentes afetados possam ser substituídos antes que a falha faça com que o sistema caia. A substituição dessas partes pode acontecer no turno da noite ou em outro horário qualquer, durante o qual o processo não esteja em operação, para que não haja perda de operações regulares no sistema.

4.2.3 Detecção e recuperação de erros

Na operação de qualquer sistema automatizado, podem ocorrer situações de mau funcionamento de equipamentos e eventos inesperados durante a operação. Esses eventos podem resultar em atrasos dispendiosos e perda de produção até que o problema seja acorrigido e a operação regular seja restaurada. Tradicionalmente, o mau funcionamento do equipamento é corrigido por trabalhadores humanos, talvez com a ajuda de uma rotina de manutenção e de diagnósticos de reparação. Com o uso crescente do controle computadorizado dos processos de produção, existe uma tendência ao uso do controle computadorizado não somente no diagnóstico do mau funcionamento, mas também na tomada automática de medidas corretivas que restaurem o sistema à operação normal. O termo *detecção e recuperação de erros* é utilizado quando o computador executa essas funções.

Detecção de erros. Essa etapa usa os sensores disponíveis do sistema automatizado para identificar quando ocorre desvio ou mau funcionamento, interpretar o sinal (ou sinais) do sensor e classificar o erro. O projeto do subsistema de detecção de erros deve começar com uma enu-

meração sistemática dos possíveis erros que possam ocorrer durante a operação do sistema. Em um processo de produção, os erros tendem a ser muito particulares para cada aplicação. Eles devem ser antecipados para que sejam selecionados sensores que permitam sua identificação.

Na análise de determinada operação de produção, os possíveis erros podem ser classificados em três categorias: (1) aleatórios, (2) sistemáticos e (3) aberrações. Os *erros aleatórios* ocorrem como resultado da natureza estocástica normal do processo. Podem acontecer quando o processo está em controle estatístico (Seção 20.3). Grandes variações na dimensão das peças, mesmo quando o processo de produção está em controle estatístico, podem causar problemas nas operações seguintes. Detectando esses desvios peça a peça, é possível tomar medidas corretivas nas operações subsequentes. Os *erros sistemáticos* são aqueles que resultam de alguma causa identificável, tais como uma mudança nas propriedades de uma matéria-prima ou no curso de uma configuração de equipamento. Esses erros costumam fazer com que o produto se desvie das especificações, de modo a ser rejeitados em termos de qualidade. Por fim, o terceiro tipo de erro, as *aberrações*, resulta ou de uma falha no equipamento ou de um erro humano. Exemplos de falhas nos equipamentos incluem fratura de um pino por cisalhamento mecânico, explosões em uma linha hidráulica, ruptura de válvula de pressão e falha inesperada de uma ferramenta de corte. Exemplos de erros humanos incluem erros no programa de controle, configurações inadequadas de fixação e substituição das matérias-primas erradas.

Os dois problemas de projeto mais comuns na detecção de erros são (1) a antecipação de todos os erros possíveis em determinado processo e (2) a especificação dos sistemas de sensores adequados e associados ao software interpretador para que o sistema seja capaz de reconhecer cada erro. A solução do primeiro problema requer uma avaliação sistemática das possibilidades dentro de cada uma das categorias de erros. Se o erro não foi antecipado, então o subsistema de detecção de erros não poderá detectá-lo e identificá-lo corretamente.

EXEMPLO 4.2

Detecção de erros em uma célula de usinagem automatizada

Considere uma célula automatizada composta por uma máquina-ferramenta CNC, uma unidade de armazenamento de peças e um robô que movimenta as peças entre a máquina e a unidade de armazenamento. Os possíveis erros que podem afetar o sistema são divididos nas seguintes categorias: (1) máquina e processo, (2) ferramentas de corte, (3) posicionamento das peças para fixação, (4) unidade de armazenamento das

peças e (5) carga/descarga do robô. Desenvolva uma lista dos possíveis erros (desvios e mau funcionamento) de cada uma dessas cinco categorias.

Solução: A seguir está uma lista dos possíveis erros na célula de máquina para cada uma das cinco categorias:

- *Máquina e processo.* Erros possíveis incluem queda de energia, sobrecarga na rede de energia, deformação térmica, temperatura de corte muito elevada, vibração, ausência de refrigeração, falhas na rebarbação, programa errado para peça e peça defeituosa.
- *Ferramentas de corte.* Erros possíveis incluem quebra da ferramenta, desgaste da ferramenta, vibração, ausência da ferramenta e ferramenta errada.
- *Posicionamento das peças para fixação.* Erros possíveis incluem presença de uma peça que não pertence à montagem, queda ou deslocamento da peça durante a usinagem, quebra da peça e *chips* causando problemas localizados.
- *Unidade de armazenamento das peças.* Erros possíveis incluem ausência da peça de trabalho, peça de trabalho errada e problemas na dimensão da peça de trabalho.
- *Carga/descarga do robô.* Erros possíveis incluem seleção da parte de trabalho errada, queda da parte de trabalho e ausência da parte no momento de sua seleção.

Recuperação de erros. Preocupa-se com a aplicação da medida corretiva necessária para tratar o erro e restaurar o sistema à operação normal. O problema de projetar um sistema de recuperação de erros está na definição de estratégias e procedimentos apropriados que corrigirão ou compensarão a variedade de erros que podem ocorrer no processo. Geralmente, uma estratégia de recuperação ou um procedimento específico devem ser desenvolvidos para cada erro distinto. Os tipos de estratégias podem ser classificados como:

1. *Realizar ajustes no fim do ciclo de trabalho atual.* Quando o ciclo de trabalho atual estiver concluído, o programa da peça se volta para uma sub-rotina de ação corretiva projetada especificamente para o erro selecionado, executa a sub-rotina e, então, retorna para o programa do ciclo de trabalho. Essa ação reflete um baixo nível de urgência e é mais comumente associada a erros aleatórios no processo.
2. *Realizar ajuste durante o ciclo atual.* Se comparado ao anterior, esse reparo geralmente indica alto nível de urgência. Nesse caso, a ação para corrigir ou compensar o erro detectado é iniciada tão logo o erro for identificado. Entretanto, deve ser possível concluir a ação corretiva selecionada enquanto o ciclo de trabalho ainda está em execução.

3. *Parar o processo para evocar a ação corretiva.* Nesse caso, o desvio ou mau funcionamento requer a suspensão do ciclo de trabalho durante a ação corretiva. Assume-se que o sistema é capaz de automaticamente se recuperar do erro sem a assistência humana. No fim da ação corretiva, o ciclo de trabalho regular é retomado.
4. *Parar o processo e solicitar auxílio.* Nesse caso, o erro não pode ser resolvido por meio de procedimentos automatizados. Essa situação surge quando (1) a célula da máquina não está apta a resolver o problema ou (2) o erro não pode ser classificado na lista de erros predefinida. Em qualquer um dos casos, a assistência humana é necessária na correção do problema e na restauração do sistema ao modo de operação totalmente automatizado.

A detecção e a recuperação de erros requerem um sistema de interrupção (Seção 5.3.2). Quando um erro no processo é percebido e identificado, é evocada uma interrupção na execução do programa atual para que o processamento seja direcionado à sub-rotina de recuperação apropriada. Isso é feito tanto no fim do ciclo atual (tipo 1) como imediatamente (tipos 2, 3 e 4). No fim do procedimento de recuperação, a execução do programa volta ao normal.

EXEMPLO 4.3

Recuperação de erros em uma célula de usinagem automatizada

Para a célula automatizada do Exemplo 4.2, desenvolva uma lista das possíveis ações corretivas de ser tomadas pelo sistema no tratamento de alguns erros.

Tabela 4.2 Recuperação de erros em uma célula de usinagem automatizada: ações corretivas possíveis de ser tomadas em resposta aos erros detectados durante a operação

Erro detectado	Ação corretiva possível para recuperação
Desvio de dimensões da peça devido à deformação térmica da máquina-ferramenta	Ajuste as coordenadas no programa da peça para compensar (Categoria 1 de ação corretiva)
Peça derrubada pelo robô durante sua tomada	Selecione outra peça (Categoria 2 de ação corretiva)
Peça de trabalho inicial ultrapassa os limites de tamanho	Ajuste o programa da peça para uma passada preliminar de usinagem sobre a superfície de trabalho (Categoria 2 de ação corretiva)
Barulho (vibração da ferramenta)	Aumente ou diminua a velocidade de corte para alterar a frequência harmônica (Categoria 2 de ação corretiva)
Temperatura de corte está muito alta	Reduza a velocidade de corte (Categoria 2 de ação corretiva)

Ferramenta de corte falha	Substitua a ferramenta de corte por outra ferramenta afiada. (Categoria 3 de ação corretiva)
As peças na unidade de armazenamento de peças acabaram	Ligue para o operador para o reabastecimento das peças de trabalho iniciais (Categoria 4 de ação corretiva)
Cavacos sujando a operação de máquina	Ligue para o operador para que os cavacos sejam limpos da área de trabalho (Categoria 4 de ação corretiva)

Solução: Uma lista das possíveis ações corretivas é apresentada na Tabela 4.2

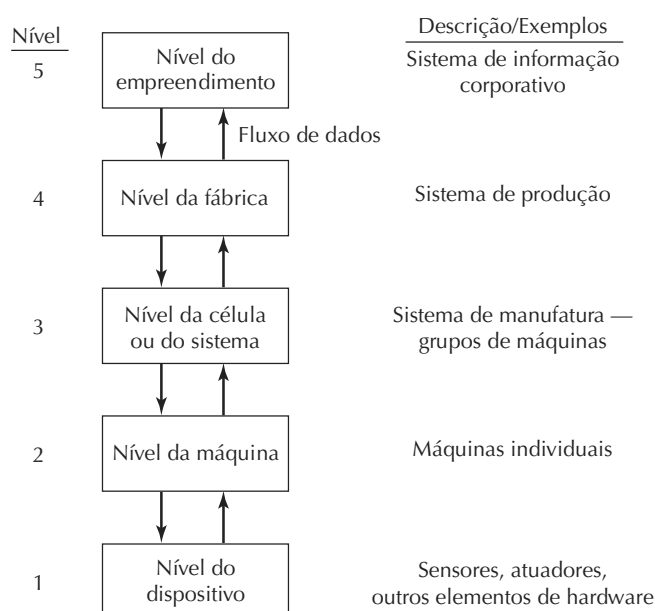
4.3 NÍVEIS DE AUTOMAÇÃO

O conceito de sistemas automatizados pode ser aplicado a diferentes níveis de operações de fábrica. É comum que se associe a automação às máquinas de produção individuais. Entretanto, a máquina de produção em si é composta por subsistemas que podem, também, ser automatizados. Por exemplo, uma das tecnologias de automação importantes discutidas nesta parte do livro é o controle numérico (Capítulo 7). Uma máquina-ferramenta de controle numérico moderna é um sistema automatizado. Entretanto, a própria máquina de CN é composta por múltiplos sistemas de controle. Qualquer máquina de CN possui ao menos dois eixos de movimentação, e algumas têm até cinco eixos. Cada um desses eixos opera um sistema de posicionamento, conforme descrito na Seção 4.1.3,

e é, na verdade, um sistema automatizado. Analogamente, uma máquina de CN costuma fazer parte de um sistema maior de produção que pode ser automatizado. Por exemplo, duas ou três máquinas-ferramenta podem estar conectadas por meio de um sistema automatizado de manuseio de peças operando sob controle computadorizado. As máquinas-ferramenta também recebem instruções (ou seja, programas de peças) do computador. Assim, temos três níveis de automação e controle incluídos aqui (o nível do sistema de posicionamento, o nível da máquina-ferramenta e o nível do sistema de produção). Para atender aos propósitos deste texto, podemos identificar cinco níveis possíveis de automação em uma planta de produção. Esses níveis são definidos a seguir, e sua hierarquia é apresentada na Figura 4.6.

1. *Nível do dispositivo.* Esse é o nível mais baixo em nossa hierarquia de automação. Ele inclui atuadores, sensores e outros componentes de hardware incluídos no nível da máquina. Os dispositivos são combinados em *loops* individuais de controle, por exemplo, na malha de controle por realimentação para um eixo de uma máquina CNC ou uma articulação de um robô industrial.
2. *Nível da máquina.* No nível do dispositivo, o hardware é montado em máquinas individuais. Exemplos incluem máquinas-ferramenta CNC e equipamentos de produção semelhantes, robôs industriais, transportadores elétricos e veículos guiados automatizados. Nesse nível, as funções de controle incluem a execução da seqüências de etapas no programa de instruções na or-

Figura 4.6 Cinco níveis de automação e controle na produção



dem correta e a certificação de que cada etapa foi adequadamente executada.

3. *Nível da célula ou da máquina.* Esse nível opera sob as instruções do nível da fábrica. Uma célula ou um sistema de produção é um grupo de máquinas ou estações de trabalho conectadas e apoiadas por um sistema de manuseio de materiais, um computador ou outro equipamento apropriado ao processo de produção. As linhas de produção estão incluídas nesse nível. As funções incluem a expedição da peça e o carregamento da máquina, a coordenação das máquinas com os sistemas de manuseio de materiais e a coleta e avaliação dos dados de inspeção.
4. *Nível da fábrica.* Esse é o nível da fábrica ou da produção. Ele recebe instruções do sistema de informações corporativas e as traduz em planos operacionais para a produção. Funções semelhantes incluem processamento de pedidos, planejamento de processos, controle de estoque, aquisição, planejamento de requisitos de materiais, controle do chão de fábrica e controle de qualidade.
5. *Nível do empreendimento.* Esse é o nível mais alto, formado pelo sistema de informações corporativas. Ele se preocupa com todas as funções necessárias ao gerenciamento da empresa: marketing e vendas, contabilidade, projeto, pesquisa, planejamento agregado e o plano mestre de produção.

A maioria das tecnologias discutidas nesta parte do livro estão no nível 2 (nível da máquina), mas discutiremos também as tecnologias de automação de nível 1 (dos dispositivos que formam um sistema de controle) no Capítulo 6. As tecnologias de nível 2 incluem os controladores individuais (por exemplo, controladores lógicos programáveis e controles por computador digital), máquinas de controle numérico e robôs industriais. O equipamento de manuseio de materiais discutido na Parte III também representa tecnologias no nível 2, embora alguns desses equipamentos sejam sofisticados sistemas automatizados. As questões de automação e controle no nível 2 preocu-

pam-se com a operação básica do equipamento e com os processos físicos que eles executam.

Controladores, máquinas e equipamentos de manuseio de material são combinados em células de produção, linhas de produção ou sistemas semelhantes, que formam o nível 3, analisados na Parte IV (disponível no Companion Website). Um *sistema de produção* é definido neste livro como uma coleção de equipamentos integrados projetados para alguma missão especial, tal como usinar uma família definida de peças ou montar um determinado produto. Os sistemas de produção também incluem pessoas. Alguns sistemas de produção altamente automatizados podem operar por longos períodos sem que humanos estejam presentes para atender a suas demandas. Mas a maioria dos sistemas de produção inclui trabalhadores como parte importante do sistema, por exemplo, os trabalhadores de montagem em uma linha de produção equipada com transportadores ou carregadores/descarregadores de peças em uma célula de máquina. Assim, os sistemas de manufatura são projetados com níveis variados de automação; alguns são altamente automatizados, outros são completamente manuais, e existe uma enorme variedade entre os dois tipos.

Em uma fábrica, os sistemas de manufatura são componentes de um sistema maior, um sistema de produção. Definimos *sistema de produção* como as pessoas, os equipamentos e os procedimentos que estão organizados para a combinação de materiais e processos que compreendem as operações de produção de uma empresa. Os sistemas de produção estão no nível 4, no nível da fábrica, enquanto os sistemas de manufatura estão no nível 3 de nossa hierarquia de automação. Os sistemas de produção incluem não só os grupos de máquinas e estações de trabalho na fábrica, mas também os procedimentos de apoio que os fazem funcionar. Esses procedimentos incluem controle de produção, controle de estoque, planejamento das necessidades de material, controle do chão de fábrica e controle de qualidade. Esses sistemas, discutidos nas partes IV e V, costumam ser implementados não somente no nível da fábrica como também no nível do empreendimento (nível 5).

Referências

- [1] BOUCHER, T. O. *Computer automation in manufacturing*. Londres: Chapman & Hall, 1996.
- [2] GROOVER, M. P. "Automation". *Encyclopaedia Britannica, Macropaedia*. 15. ed. Chicago, IL: Encyclopaedia Britannica, v. 14, p. 548-557, 1992.
- [3] _____. "Automation". In: DORF, R. C.; KUSIAK, A. (eds.) *Handbook of design, manufacturing, and automation*. Nova York, NY: John Wiley & Sons, p. 3-21, 1994.
- [4] _____. "Industrial control systems". In: ZANDIN, K. (ed.) *Maynard's industrial engineering handbook*. 5. ed. Nova York, NY: McGraw-Hill Book Company, 2001.
- [5] PLATT, R. *Smithsonian visual timeline of inventions*. Londres: Dorling Kindersley, 1994.
- [6] "The power of invention". *Newsweek Special Issue*, Nova York, NY, p. 6-79, 1997-98.

Perguntas de revisão

- 4.1 O que é automação?
- 4.2 Quais são os três elementos básicos que compõem um sistema automatizado?
- 4.3 Qual a diferença entre um parâmetro de processo e uma variável de processo?
- 4.4 Quais são as duas razões para a existência de um plano de tomada de decisões em um ciclo de trabalho programado?
- 4.5 Qual a diferença entre um sistema de controle de malha fechada e uma de malha aberta?
- 4.6 O que é o monitoramento da segurança em um sistema automatizado?
- 4.7 O que é detecção e recuperação de erros em um sistema automatizado?
- 4.8 Cite três das quatro estratégias possíveis na recuperação de erros.
- 4.9 Identifique os cinco níveis de automação em uma fábrica.