

# Células de manufatura com uma estação

## CONTEÚDO DO CAPÍTULO

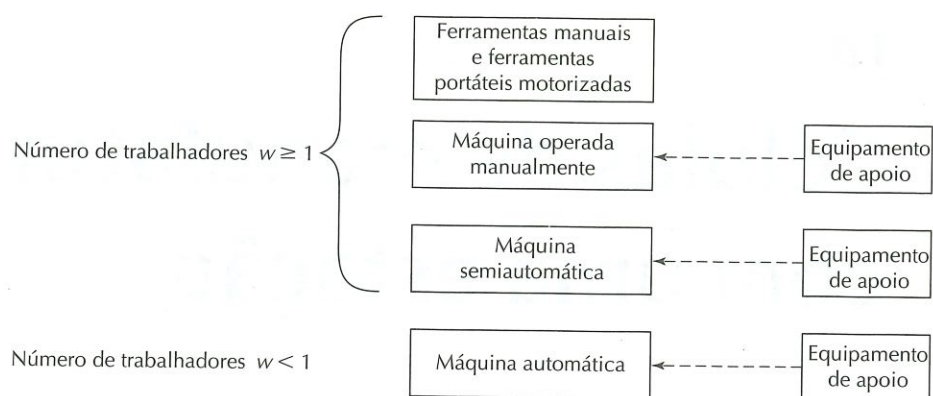
- 14.1 Células operadas com uma estação
- 14.2 Células automatizadas com uma estação
  - 14.2.1 Elementos que habilitam células para operação sem assistência
  - 14.2.2 Subsistema de armazenamento de peças e transferência automática de peças
- 14.3 Aplicações de células com uma estação
  - 14.3.1 Aplicações de células operadas com uma estação
  - 14.3.2 Aplicações de células automatizadas com uma estação
  - 14.3.3 Centros de usinagem CNC e máquinas-ferramenta relacionadas
- 14.4 Análise de sistemas com uma estação
  - 14.4.1 Número de estações de trabalho necessárias
  - 14.4.2 Agrupamentos de máquinas

Estações únicas constituem o sistema de manufatura mais comum na indústria. Elas operam independentemente de outras estações de trabalho na fábrica, apesar de a coordenação de suas atividades estar dentro de um sistema de produção maior. **Células de manufatura com uma estação podem ser manualmente operadas ou automatizadas.** São utilizadas para operações de processamento ou montagem e podem ser projetadas para produção de modelos únicos (em que todas as peças ou produtos feitos pelo sistema são idênticos), para produção em lotes (em que diferentes tipos de peças são feitos em lotes) ou para produção de modelos mis-

tos (em que diferentes peças são feitas sequencialmente, não em lotes).

Este capítulo descreve **características e operações de células de manufatura com uma estação.** A Figura 14.1 fornece um guia da discussão. Também examinamos duas questões de análise que devem ser consideradas no planejamento de sistemas com uma estação: (1) quantas estações de trabalho são necessárias para satisfazer os requisitos de produção e (2) quantas máquinas podem ser designadas para um trabalhador em um **agrupamento de máquinas**, conjunto de duas ou mais máquinas idênticas ou similares atendidas por um trabalhador.

Figura 14.1 Classificação de células de manufatura com uma estação



## 14.1 CÉLULAS OPERADAS COM UMA ESTAÇÃO

A célula operada com uma estação, modelo-padrão que consiste de um trabalhador atendendo a uma máquina, é provavelmente o método de produção mais utilizado hoje em dia. Ela domina a produção de peças individuais e em lotes e não é incomum em alta produção. Há muitas razões para sua ampla adoção:

- Exige um tempo mais curto para ser implementada. A empresa usuária pode lançar rapidamente a produção de uma peça nova ou um produto novo utilizando uma ou mais estações de trabalho manuais enquanto planeja e projeta um método de produção mais automatizado.
- Exige menor investimento de capital comparado a outros sistemas de manufatura.
- Tecnicamente, é o sistema mais fácil de se instalar e operar. Seus requisitos de manutenção são em geral mínimos.
- Para muitas situações, particularmente para baixas quantidades de produção, resulta no mais baixo custo por unidade produzida.
- Em geral, é o sistema de manufatura mais flexível em relação a mudanças de tipo de peça ou produto.

Em uma estação com uma máquina/um trabalhador ( $n = 1, w = 1$ ), a máquina é manualmente operada ou semiautomatizada. Em uma estação operada manualmente, o operador controla a máquina e carrega e descarrega as peças. Um exemplo de processamento típico é um trabalhador operando uma máquina-ferramenta padronizada como um torno mecânico, uma furadeira de coluna ou um martelo de forja. O ciclo de trabalho exige a atenção do trabalhador continuamente ou pela

maior parte do ciclo (por exemplo, o operador pode relaxar temporariamente durante o ciclo quando o avanço automático da máquina está acionado no torno ou na furadeira).

A estação de trabalho operada manualmente também inclui o caso de um trabalhador utilizando ferramentas manuais (por exemplo, chave de fenda e chave de boca na montagem mecânica) ou ferramentas portáteis motorizadas (por exemplo, furadeira elétrica manual, ferro de soldar ou pistola de soldagem a arco). O fator-chave é que o trabalhador realiza a tarefa em um único local (uma estação de trabalho) na fábrica.

Em uma estação semiautomatizada, a máquina é controlada por algum programa, como um programa de peça que controla uma máquina-ferramenta CNC (do inglês, *computer numerical control*) durante uma porção do ciclo de trabalho. A função do trabalhador é carregar e descarregar a máquina a cada ciclo e, periodicamente, mudar as ferramentas de corte. Nesse caso, o comparecimento do trabalhador na estação é exigido a cada ciclo de trabalho, apesar de a atenção do trabalhador não precisar ser contínua durante todo o ciclo.

Há diversas variações do modelo-padrão de uma estação uma máquina/um trabalhador. Primeiro, a classificação da célula operada com uma estação inclui o caso em que dois ou mais trabalhadores são necessários em turno integral para operar a máquina ou realizar a tarefa no local de trabalho ( $n = 1, w > 1$ ). Exemplos incluem:

- Dois trabalhadores necessários para manipular forjas pesadas em uma prensa.
- Um soldador e um ajustador trabalhando em um local para soldagem a arco.
- Múltiplos trabalhadores combinando esforços para montar uma grande peça de máquina em uma única estação de montagem.



Outra variação do caso-padrão ocorre quando há uma máquina de produção principal mais outro equipamento na estação que a apoia, sendo claramente subordinado a ela. Exemplos desse tipo de equipamentos incluem:

- Equipamento utilizado para secar o pó para moldagem plástica antes de colocá-lo em uma máquina de injeção operada manualmente.
- Rebarbadeira utilizada em máquina de moldagem a injeção para remover as rebarbas e os restos de plástico para reciclagem.
- Cinzéis utilizados em conjunção com martelo de forja para raspar as rebarbas de peças fundidas.

## 14.2 CÉLULAS AUTOMATIZADAS COM UMA ESTAÇÃO

A célula automatizada com uma estação consiste de uma máquina totalmente automatizada capaz de operar sem ser atendida por um período de tempo maior do que um ciclo. Não é exigido que um trabalhador esteja na máquina, exceto periodicamente para carregar e descarregar peças ou atendê-la de outra maneira. As vantagens desse sistema incluem:

- O custo de mão de obra é reduzido em comparação a uma célula operada com uma estação.
- Entre os sistemas de manufatura automatizados, a célula automatizada com uma estação é o mais fácil e menos caro de se implementar.
- As taxas de produção são geralmente mais altas em relação a uma máquina operada comparável a ela.
- Normalmente representa o primeiro passo em direção da implementação de um sistema automatizado de múltiplas estações integradas. A companhia usuária pode implantar e depurar as máquinas automatizadas individualmente e depois integrá-las (1) eletronicamente por meio de um sistema de computadores supervisor e/ou (2) fisicamente por meio de um sistema automatizado de manuseio de materiais. (Lembre-se da estratégia de migração de automação apresentada na Seção 1.4.3.)

A questão do equipamento de apoio surge em células automatizadas com uma estação, assim como em células operadas com uma estação. No caso de uma máquina de moldagem a injeção totalmente automatizada que utiliza equipamento de secagem para o composto de moldagem plástico chegando, o equipamento de secagem claramente tem papel de apoio para a máquina de moldagem. Outros exemplos de equipamentos de apoio em células automatizadas incluem:

- Um robô carregando e descarregando uma máquina de produção automatizada, em que ela é a principal máquina na célula e o robô executa papel de apoio.
- Dispositivos de alimentação de peças utilizados para entregar componentes em uma célula de montagem com um robô. Nesse caso, o robô de montagem é a principal máquina de produção na célula e os alimentadores são subordinados.

Vamos considerar as características tecnológicas desse tipo de sistema de manufatura, começando com os elementos que o tornam possível.

### 14.2.1 Elementos que habilitam células para operação sem assistência

Uma característica-chave de células automatizadas com uma estação é a capacidade de operar sem assistência por longos períodos de tempo. Os elementos exigidos para a operação sem assistência na produção de modelos únicos ou em lote têm de ser distinguidos daqueles exigidos para a produção de modelos mistos.

**Elementos que habilitam a produção sem assistência de modelos únicos e modelos em lote.** Os atributos técnicos exigidos para a operação sem assistência de uma célula de modelo único ou modelo em lote são os seguintes:

- **Ciclo programado**, que permite que a máquina desempenhe automaticamente todos os passos do ciclo de processamento ou montagem.
- **Subsistema de armazenamento e fornecimento de peças**, que permite uma operação contínua além de um ciclo de máquina. O sistema de armazenamento tem de ser capaz de conter tanto peças em estado bruto como unidades de trabalho finalizadas. Isso às vezes significa que duas unidades de armazenamento são necessárias, uma para peças brutas e outra para peças acabadas.
- **Transferência automática de peças** entre o sistema de armazenamento e a máquina (descarga automática de peças terminadas da máquina e carga de peças brutas para a máquina). Essa transferência é um passo no ciclo de trabalho regular. O subsistema de armazenamento e a transferência automática de peças são discutidos com mais detalhes na Seção 14.2.2.
- **Atenção periódica de um trabalhador**, que recarrega as peças brutas, tira as terminadas, troca ferramentas à medida que se desgastam (dependendo do processo) e desempenha outras funções de cuidado com a máquina



necessárias para o processamento ou a operação de montagem em particular.

- **Dispositivos de segurança integrados**, que protegem o sistema evitando operar sob condições que possam ser (1) inseguras para os trabalhadores, (2) autodestrutivas ou (3) destrutivas para as peças processadas e montadas. Alguns desses dispositivos de segurança podem estar, simplesmente, na forma de uma confiabilidade muito alta de processos e equipamentos. Em outros casos, a célula tem de ser suprida com a **capacidade para detecção de erros e recuperação** (Seção 4.2.3).

**Elementos que habilitam a produção de modelos mistos.** A lista anterior de elementos aplica-se à produção de modelos únicos e de lote. Em casos em que o sistema é projetado para processar ou montar uma variedade de tipos de peças e produtos em sequência (isto é, **uma estação de trabalho de manufatura flexível**), os elementos adicionais a seguir têm de ser fornecidos:

- **Subsistema de identificação de trabalho**, que pode distinguir as diferentes peças de partida entrando na estação, de maneira que a sequência de processamento correta possa ser utilizada para aquele tipo de produto ou peça. Há possibilidade de isso tomar a forma de **sensores** que reconhecem características da peça ou de o subsistema de identificação consistir de métodos de **identificação automática, como códigos de barras** (Capítulo 12). Em alguns casos, peças de partida idênticas são submetidas a diferentes operações de processamento de acordo com o cronograma de produção especificado. Se as peças de partida são idênticas, um subsistema de identificação da peça é desnecessário.
- **Capacidade de baixar um programa para transferir o ciclo de programa da máquina, correspondente à peça identificada ou ao tipo de produto.** Isso presume que programas foram preparados de antemão para todos os tipos de peças e que estão armazenados na unidade de controle da máquina ou que a unidade de controle tem acesso a eles.
- **Capacidade de mudança de configuração rápida (Quick setup)** de maneira que os dispositivos de trabalho e outras ferramentas para cada peça estejam disponíveis conforme a demanda.

Os mesmos elementos que descrevemos aqui são necessários para a operação sem assistência de estações de trabalho em sistemas de manufatura flexíveis de múltiplas estações discutidos nos capítulos seguintes.

## 14.2.2 Subsistema de armazenamento de peças e transferência automática de peças

O subsistema de armazenamento de peças e transferência automática de peças entre o subsistema de armazenamento e a estação de processamento são condições necessárias para uma célula automatizada que opera sem assistência por longos períodos de tempo. O subsistema de armazenamento tem capacidade projetada de armazenamento de peças  $n_p$ . Desse modo, teoricamente, a célula pode operar sem assistência por um período de tempo dado por:

$$UT = \sum_{j=1}^{n_p} T_{cj} \quad (14.1)$$

em que  $UT$  é o tempo de operação da célula de manufatura sem assistência (min);  $T_{cj}$  é o tempo do ciclo para peça  $j$ , mantida no subsistema de armazenamento de peças, para  $j = 1, 2, \dots, n_p$ , em que  $n_p$  é a capacidade de armazenamento de peças do subsistema de armazenamento  $pc$  (do inglês, *parts storage capacity*). Essa equação presume que uma peça é processada a cada ciclo. Se todas as peças são idênticas e exigem o mesmo ciclo de máquina, a equação se simplifica:

$$UT = n_p T_c \quad (14.2)$$

Na realidade, o tempo de operação sem assistência será, de certa maneira, menor do que esse montante (por um ou mais tempos de ciclo) porque o trabalhador precisa de tempo para descarregar todas as peças terminadas e carregar as peças de partida no subsistema de armazenamento.

As capacidades de subsistemas de armazenamento de peças variam de uma peça a centenas. Como indica a Equação (14.2), o tempo de operação sem assistência aumenta proporcionalmente à capacidade de armazenamento, de maneira que há vantagem em se projetar o subsistema de armazenamento com capacidade suficiente para satisfazer os objetivos operacionais da planta. Os objetivos típicos para a capacidade de armazenamento, expressos de acordo com os períodos de tempo de operação sem assistência, incluem:

- Intervalo de tempo fixo que permite que um trabalhador atenda a várias máquinas.
- Tempo entre as mudanças programadas de ferramentas, de maneira que ferramentas e peças possam ser substituídas exatamente durante o tempo ocioso da máquina.
- Turno completo.
- Operação noturna, às vezes referida como *operação com luzes apagadas* (do inglês, *lights out operation*),



cujo objetivo é manter as máquinas funcionando sem trabalhadores na planta durante os turnos intermediário e/ou noturno.

#### Capacidade de armazenamento de uma peça.

A capacidade de armazenamento mínima de um subsistema de armazenamento de peças é de uma peça. Esse caso é representado por um mecanismo de transferência de peças automático operando com carga/descarga manual em vez de um subsistema de armazenamento de peças. Um exemplo desse arranjo em usinagem é um *trocador automático de paletes* (do inglês, *automatic pallet changer — APC*) de duas posições, utilizado como interface de entrada/saída de peças para um centro de usinagem CNC. O APC é utilizado para trocar paletes com peças fixadas entre a mesa de trabalho da máquina-ferramenta e a posição de carga/descarga. As peças são colocadas no sistema de fixação que está preso ao pallet, de maneira que, quando o pallet é posicionado precisamente na frente do eixo-árvore, a própria peça está localizada lá. A Figura 14.2 mostra a organização de um APC para carga e descarga de peças.

Quando a capacidade de armazenamento é de apenas uma peça, significa que o trabalhador tem de atender à máquina em turno integral. Enquanto a máquina processa uma peça, o trabalhador descarrega a peça recém-terminada e carrega a próxima peça, que será processada. É uma melhoria quando não há capacidade de armazena-

mento, pois, nesse caso, a máquina não será utilizada durante a carga e descarga. Se  $T_m$  é o tempo de processamento da máquina e  $T_s$  é o tempo de serviço do trabalhador (para realizar a carga e descarga ou outras tarefas de cuidado com a máquina), então o tempo de ciclo total da estação única sem armazenamento é:

$$T_c = T_m + T_s \quad (14.3)$$

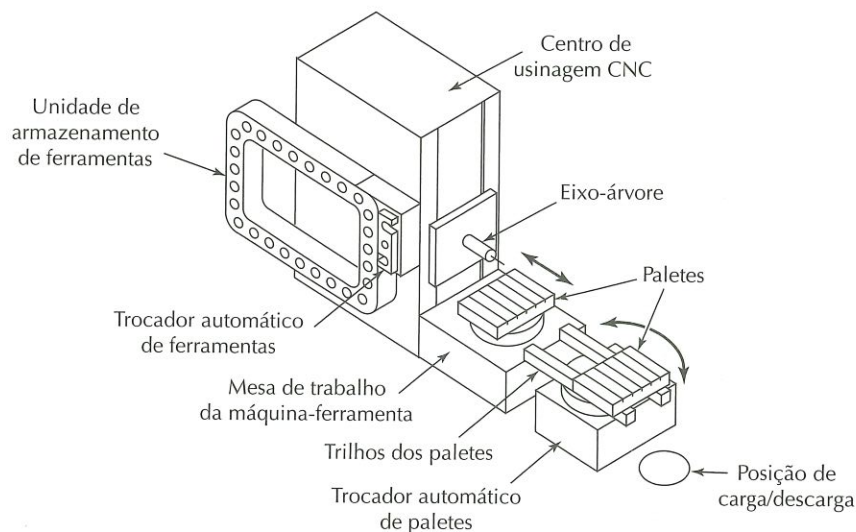
Em comparação, o tempo de ciclo total para uma única estação com capacidade de armazenamento de uma peça, como na Figura 14.2, é:

$$T_c = \text{Máx}\{T_m, T_s\} + T_r \quad (14.4)$$

em que  $T_r$  é o tempo de reposicionamento para mover a peça acabada para fora do cabeçote de processamento e mover a peça bruta em posição na frente do cabeçote de trabalho. Na maioria dos casos, o tempo de serviço do trabalhador é menor em relação ao tempo de processamento da máquina — e a utilização da máquina é alta. Se  $T_s > T_m$ , a máquina experimenta um tempo ocioso forçado durante cada ciclo de trabalho, o que não é desejável. A análise de métodos deve ser aplicada para reduzir  $T_s$  de maneira que  $T_s < T_m$ .

**Capacidade de armazenamento maior do que um.** Maiores capacidades de armazenamento permitem uma operação sem assistência, de maneira que a carga e descarga de todas as peças podem ser realizadas em menos

Figura 14.2 Trocador automático de paletes integrado a um centro de usinagem CNC, organizado para carga e descarga manual de peças. No término do ciclo de usinagem, o pallet atualmente na área de trabalho é movido para o trocador automático de paletes (APC) e a mesa do APC é girada 180 graus para mover o outro pallet da posição de transferência para a mesa de trabalho da máquina-ferramenta



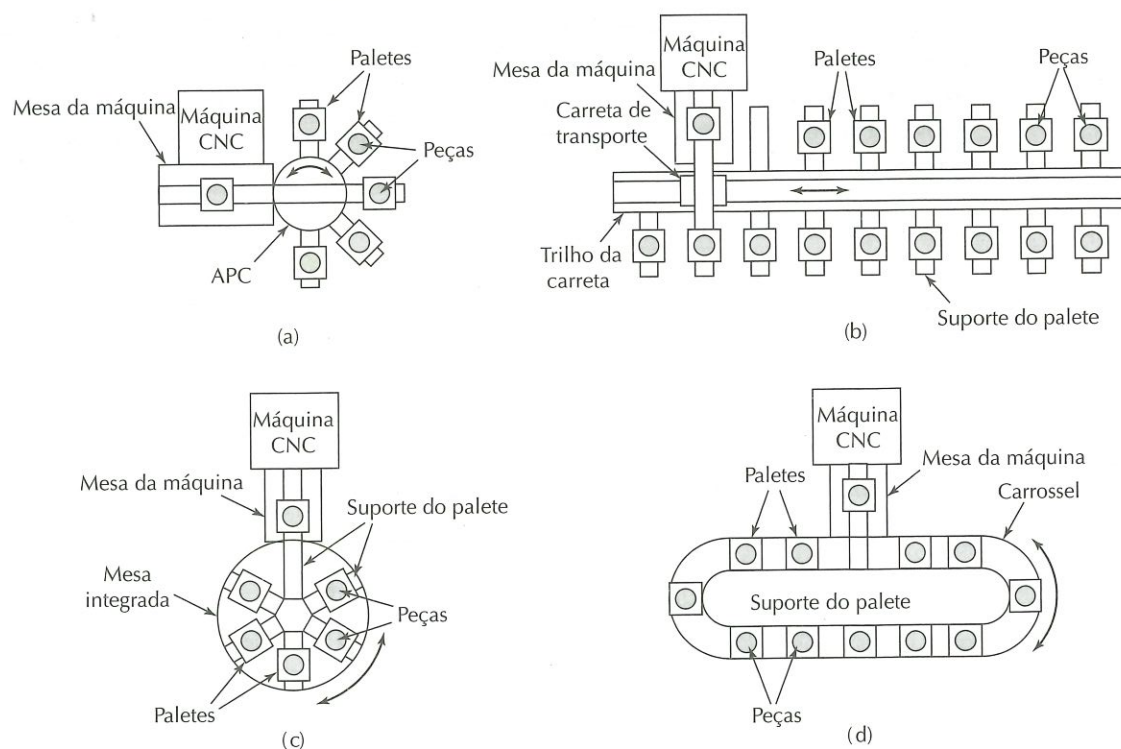


tempo do que o de processamento da máquina. A Figura 14.3 mostra vários possíveis projetos de subsistemas de armazenamento de peças para centros da usinagem CNC. A unidade de armazenamento das peças é conectada por meio de uma interface com um trocador automático de paletes, uma carreta de transporte ou outro mecanismo que seja conectado diretamente à máquina-ferramenta. Arranjos comparáveis são disponíveis para centros de torneamento, nos quais um robô industrial é comumente utilizado para realizar a carga e a descarga entre a máquina-ferramenta e o subsistema de armazenamento de peças. Paletes de fixação não são empregados; em vez disso, o robô utiliza uma garra dupla especialmente projetada (Seção 7.3.1) para manusear peças brutas e peças terminadas durante a porção de carga/descarga do ciclo de trabalho.

Em processos diferentes da usinagem, uma variedade de técnicas pode realizar o armazenamento de peças. Em muitos casos, o material de partida não é uma peça discreta. Os exemplos a seguir ilustram alguns dos métodos:

- **Estampagem em chapas de metal.** Na impressão de folhas de metal, a operação automatizada da prensa é alcançada com a utilização de um rolo de folhas de metal de partida, cujo comprimento é suficiente para centenas ou mesmo milhares de impressões. As impressões permanecem fixadas ao restante do rolo ou são coletadas em um contêiner. É exigida a atenção periódica por parte de um trabalhador para mudar o rolo de partida e remover as estampagens terminadas.
- **Moldagem plástica por injeção.** O composto de partida da moldagem é em forma de pequenos grãos, carregados em um alimentador acima do tambor de aquecimento da máquina de moldagem. O alimentador contém material suficiente para dúzias ou centenas de peças moldadas. Normalmente, antes de ser carregado no alimentador, o composto de moldagem é submetido a um processo de secagem para remover a umidade, o que representa outra unidade de armazenamento de materiais. As peças moldadas caem por gravidade após cada ciclo e são temporariamente ar-

**Figura 14.3** Projetos alternativos de subsistemas de armazenamento de peças que podem ser utilizados com centros de usinagem CNC: (a) trocador automático de paletes com suportes de paletes arranjados radialmente, capacidade de armazenamento de peças igual a 5; (b) sistema de carretas de transporte em linha com suportes de paletes ao longo do comprimento, capacidade de armazenamento de peças igual a 16; (c) paletes contidos na mesa integrada, capacidade de armazenamento de peças igual a 6; e (d) carrossel de armazenamento de peças, capacidade de armazenamento de peças igual a 12





mazenadas em um contêiner debaixo do molde. Um trabalhador tem de, periodicamente, atender à máquina para carregar o composto de moldagem no secador ou alimentador e para coletar as peças moldadas.

- **Extrusão plástica.** Operações de extrusão são similares à moldagem por injeção, exceto pelo fato de o produto ser contínuo em vez de discreto. O material de partida e os métodos para carregamento na máquina de extrusão são basicamente os mesmos da moldagem por injeção. Um produto maleável pode ser coletado em um rolo, enquanto um produto rígido é normalmente cortado em comprimentos padronizados. **Qualquer um dos métodos pode ser automatizado para permitir uma operação da máquina de extrusão sem assistência.**

Nos sistemas de montagem automatizados com uma estação, o armazenamento de peças tem de ser proporcionado para cada componente, assim como para a unidade de trabalho como um todo. Vários sistemas de entrega e armazenamento de peças são utilizados na prática. Discutimos esses sistemas no Capítulo 17 sobre montagem automatizada.

### 14.3 APLICAÇÕES DE CÉLULAS COM UMA ESTAÇÃO

Células com uma estação são abundantes, e a maioria das operações de produção industrial é baseada no uso de células automatizadas e operada com uma estação. A seguir, distingue-se as aplicações entre estações únicas automatizadas e operadas.

#### 14.3.1 Aplicações de células operadas com uma estação

Nossos exemplos na Seção 14.1 ilustram a variedade de possíveis células de trabalho semiautomáticas e manualmente operadas. Algumas aplicações adicionais incluem:

- **Centro de usinagem CNC produzindo peças idênticas.** A máquina executa um programa para cada peça. É exigido que um trabalhador fique na máquina no fim de cada execução para descarregar a peça recém-completada e carregar a peça bruta na mesa da máquina.
- **Centro de usinagem CNC que produz peças não idênticas.** Nesse caso, o operador da máquina tem de encontrar o programa de peça apropriado e carregá-lo na unidade de controle CNC para cada peça consecutiva.
- **Agrupamento de dois centros de usinagem CNC, cada um produzindo a mesma peça, mas operando indepen-**

dentemente a partir da própria unidade de controle. **Um único trabalhador atende ao carregamento e ao descarregamento de ambas as máquinas.** Os programas são longos o suficiente em relação à porção de carga/descarga do ciclo de trabalho, de maneira que o trabalhador pode servir a ambas as máquinas sem forçar um tempo ocioso.

- **Máquina de moldagem de injeção plástica em ciclo semiautomático, com um trabalhador presente para remover o moldado, as rebarbas e o sistema de rodízio quando o molde abre cada ciclo de moldagem e para colocar as peças em uma caixa.** Outro trabalhador tem de periodicamente trocar a caixa de peças e reabastecer o composto de moldagem para a máquina.
- Estação de trabalho de montagem de produtos eletrônicos na qual um trabalhador coloca componentes em placas de circuito impresso em uma operação de lote. O trabalhador tem de periodicamente atrasar a produção e substituir o fornecimento de componentes armazenados em caixas de peças na estação. Placas de entrada e terminadas são armazenadas em depósitos que têm de ser periodicamente substituídas por outro trabalhador.
- Estação de trabalho de montagem na qual um trabalhador realiza a montagem mecânica de um produto simples (ou submontagem de um produto) com os componentes localizados em caixas de peças na estação.
- Prensa de estampagem que conforma e gera peças a partir de chapas de metal em uma pilha próxima da prensa. Um trabalhador é exigido para carregar a chapa para a prensa, acioná-la e então remover a estampagem a cada ciclo. Estampagens terminadas são armazenadas em carros de quatro rodas especialmente projetados para a peça.

#### 14.3.2 Aplicações de células automatizadas com uma estação

A seguir, apresentam-se exemplos de células automatizadas com uma estação. Tomamos cada um dos exemplos anteriores de células operadas e os convertimos em uma célula automatizada.

- **Centro de usinagem de controle numérico computadorizado (CNC) com carrossel de peças e trocador automático de paletes, como no layout da Figura 14.3(d).** As peças são idênticas e o ciclo de usinagem é controlado por um programa. Cada peça é fixada em um gabarito no paleta. A máquina usina as peças uma a uma. **Quando todas as peças no carrossel foram usinadas, um trabalhador as remove do carrossel e carrega novas**

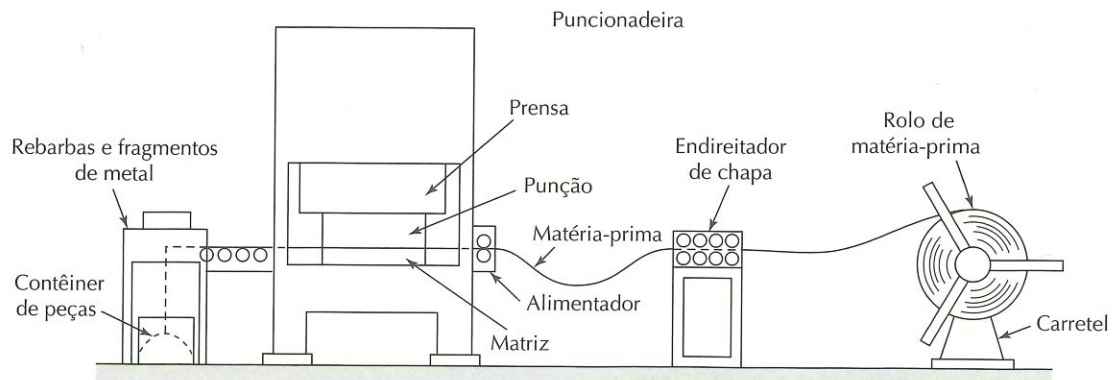


- peças de partida. A carga e descarga do carrossel pode ser realizada enquanto a máquina opera.
- Centro de usinagem CNC que produz peças não idênticas. Nesse caso, o programa de peças apropriado é automaticamente baixado para a unidade de controle CNC para cada peça consecutiva, baseado em determinado cronograma de produção ou em um sistema de reconhecimento de peças que identifica a peça bruta.
- Agrupamento de dez centros de usinagem CNC, cada um com a produção de uma peça diferente. Cada estação de trabalho tem seu próprio carrossel de peças e braço robótico para carga e descarga entre a máquina e o carrossel. Um único trabalhador tem de atender às dez máquinas ao carregar e descarregar periodicamente os carrosséis de armazenamento. O tempo exigido para servir um carrossel é curto em relação ao tempo que cada máquina pode funcionar sem assistência, de maneira que as dez máquinas podem ser atendidas pelo trabalhador sem tempo ocioso.
- Máquina de moldagem por injeção de plástico em ciclo automático, com um braço mecânico para assegurar a remoção da moldagem, do jito e do sistema de rodízio a cada ciclo de moldagem. Peças são coletadas

em uma caixa debaixo do molde. Um trabalhador tem de periodicamente trocar a caixa de peças e reabastecer o composto de moldagem da máquina.

- Máquina de inserção automatizada montando componentes eletrônicos em placas de circuito impresso em uma operação de lote. Placas de entrada e terminadas são armazenadas em depósitos para substituição periódica por um trabalhador. O trabalhador também tem de periodicamente substituir o abastecimento de componentes armazenados em grandes depósitos.
- Célula robótica de montagem constituída de um robô que monta um produto simples (ou submontagem de um produto) com componentes apresentados por vários sistemas de fornecimento de peças (por exemplo, alimentadores).
- Prensa de estampagem que conforma e gera pequenas peças de metal a partir de um longo rolo, como descrito na Figura 14.4. A prensa opera a uma taxa de 180 ciclos por minuto, e nove mil peças podem ser feitas a partir de cada rolo. As peças são coletadas em uma caixa no lado de saída da prensa. Quando termina o rolo, ele tem de ser substituído por um novo, e a caixa de peças é substituída ao mesmo tempo.

Figura 14.4 Prensa de estampagem em ciclo automático produzindo peças a partir de um rolo de metal laminado



### 14.3.3 Centros de usinagem CNC e máquinas-ferramenta relacionadas

Vários dos nossos exemplos de aplicação de células de manufatura com uma estação consistiram de centros de usinagem CNC. Vamos discutir essa importante classe de máquinas-ferramenta, identificada na Seção 7.4.1. O *centro de usinagem*, desenvolvido no fim dos anos de 1950, antes do advento do CNC, é uma máquina-ferramenta capaz de desempenhar múltiplas operações de usinagem em

uma peça, com apenas uma preparação, sob controle de programa NC (do inglês, *numerical control*). Os centros de usinagem atuais são CNC. Operações de usinagem típicas realizadas em um centro de usinagem utilizam ferramenta de corte rotativa, como fresamento, furação, alargamento e rosqueamento.

Centros de usinagem são classificados como verticais, horizontais ou universais. A designação refere-se à orientação do eixo-árvore da máquina. Um centro de usinagem vertical tem seu eixo-árvore em um eixo vertical em relação



à mesa de trabalho; por sua vez, um centro de usinagem horizontal tem seu eixo-árvore em um eixo horizontal. Essa distinção geralmente resulta em uma diferença no tipo de trabalho que é realizado na máquina. Um centro de usinagem vertical (do inglês, *vertical machining center* — VMC) é geralmente utilizado para trabalhos planos, que exigem acesso da ferramenta por cima. Exemplos incluem cavidades de moldes e estampas e grandes componentes de aeronaves. Um centro de usinagem horizontal (do inglês, *horizontal machining center* — HMC) é utilizado para peças prismáticas nas quais o acesso às ferramentas pode ser mais bem alcançado pelos lados da peça. Um centro de usinagem universal (do inglês, *universal machining center* — UMC) tem um cabeçote de trabalho que articula seu eixo-árvore para qualquer ângulo entre a horizontal e a vertical, tornando a máquina-ferramenta bastante flexível. Formatos de aerofólios e outras geometrias curvilíneas normalmente exigem capacidades de um UMC.

Centros de usinagem de controle numérico são normalmente projetados com características que visam à redução do tempo não produtivo, o que inclui:

- **Trocador automático de ferramentas.** Uma variedade de operações de usinagem significa que diversas ferramentas de corte são necessárias. As ferramentas são contidas em uma unidade de armazenamento integrada à máquina-ferramenta. Quando uma precisa ser trocada, o tambor de ferramentas gira para a posição apropriada e um trocador automático de ferramentas (do inglês, *automatic tool changer* — ATC), operando sob controle do programa de peças, troca a ferramenta do eixo-árvore pela ferramenta na unidade de armazena-

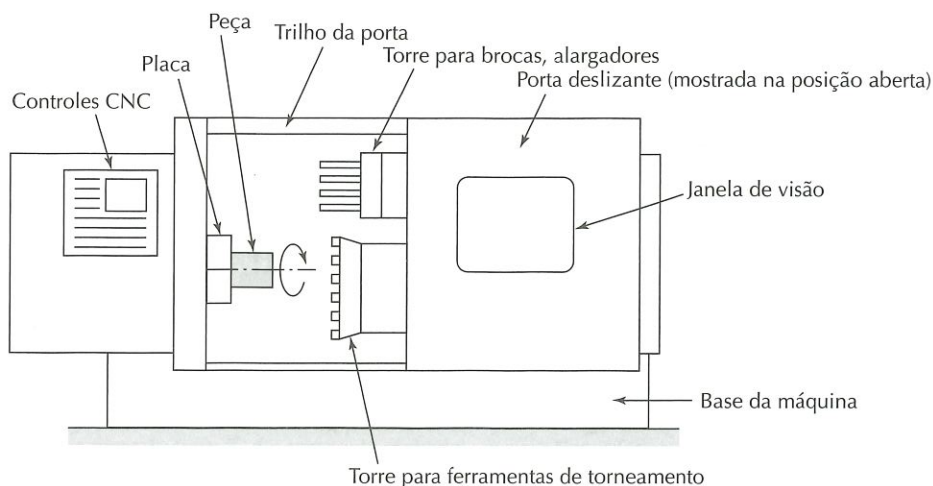
mento de ferramentas. As capacidades da unidade de armazenamento são comumente de 16 a 80 ferramentas de corte.

- **Posicionador automático de peças.** Muitos centros de usinagem horizontais e universais têm capacidade de orientar a peça em relação ao eixo-árvore, o que é alcançado por meio de uma mesa rotativa na qual a peça é fixada. A mesa pode ser orientada em qualquer ângulo em torno de um eixo vertical para permitir que a ferramenta de corte acesse quase toda a superfície da peça em uma única fixação.
- **Trocador automático de paletes.** Normalmente os centros de usinagem são equipados com dois (ou mais) paletes separados que podem ser apresentados à ferramenta de corte utilizando um trocador automático de paletes (Seção 14.2.2). Enquanto a usinagem está sendo realizada com um palet na posição de usinagem, o outro está em uma localização segura, longe do eixo-árvore. Nessa posição, o operador pode descarregar a peça terminada do ciclo anterior e então fixar a peça bruta para o próximo ciclo.

Um centro de usinagem horizontal numericamente controlado, com muitas das características descritas acima, é apresentado na Figura 14.2. Centros de usinagem estão sendo cada vez mais usados pela indústria automotiva para produção de alto volume de componentes de transmissão, blocos e cabeçotes de motores [7].

O sucesso dos centros de usinagem NC motivaram o desenvolvimento de centros de torneamento NC. Um centro de torneamento NC moderno (Figura 14.5) é capaz de desempenhar várias operações de torneamento e similares, tor-

Figura 14.5 Visão frontal do centro de usinagem e torneamento CNC, mostrando duas torres de ferramentas, uma para ferramentas de torneamento e outra para brocas e ferramentas similares. As torres podem ser posicionadas sob o controle NC para usinar a peça





neamento de contornos e seleção automática de ferramentas, todas sob controle do computador. Além disso, os centros de torneamento mais sofisticados podem realizar (1) **calibração de peças** (aferimento de dimensões-chave após usinagem), (2) **monitoramento de ferramentas** (perceber quando as ferramentas estão gastas), (3) **mudança automática de ferramentas quando estão desgastadas** e (4) **mudança automática de peças no término do ciclo de trabalho**.

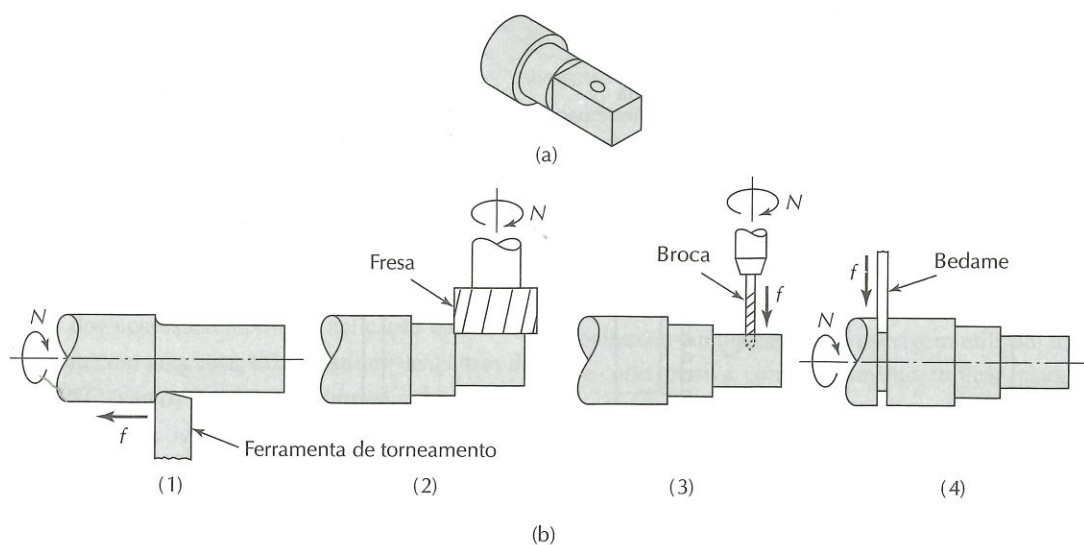
Outro desenvolvimento na tecnologia de máquinas-ferramenta NC é o *centro de usinagem e torneamento*, que tem a configuração geral de um centro de torneamento e também possui a capacidade de posicionar uma peça cilíndrica em um ângulo específico, de maneira que uma ferramenta rotativa possa usinar detalhes na superfície exterior da peça, como ilustrado na Figura 14.6. O centro de usinagem e torneamento tem os eixos  $x$  e  $z$  tradicionais de um torno NC. Além disso, a orientação da peça fornece um terceiro eixo, enquanto a manipulação da ferramenta rotativa em relação à peça proporciona mais dois eixos. Um centro de torneamento NC convencional não tem capacidade de parar a rotação da peça em uma posição angular definida e não possui eixo-árvore para ferramentas rotacionais.

A tendência na indústria de máquinas-ferramenta é projetar máquinas que desempenhem múltiplas operações em uma instalação, continuando os avanços em centros de usinagem, centros de torneamento e de usinagem e torneamento. O termo *máquina multitarefa* é utilizado para incluir todas as máquinas-ferramentas que realizam operações múltiplas e, normalmente, bem diferentes [4], [6]. Os pro-

cessos que podem estar disponíveis em uma máquina multitarefa única incluem fresamento, furação, rosqueamento, torneamento, retífica e soldagem. Normalmente, para automatizar completamente o ciclo de trabalho, robôs industriais são utilizados para realizar a carga e descarga de peças. As vantagens dessa nova classe altamente versátil de máquinas, comparada a máquinas-ferramenta CNC convencionais, incluem (1) menos preparações, (2) manuseio reduzido de peças, (3) maior precisão e repetibilidade, porque as peças utilizam o mesmo dispositivo de fixação durante o processamento, e (4) entrega mais rápida de peças em tamanhos de lotes pequenos. A disponibilidade de softwares de manufatura auxiliados por computadores para programação de peças, simulação e seleção de condições de corte tornou-se pré-requisito para a implementação bem-sucedida dessas máquinas tecnologicamente avançadas [1].

Centros de usinagem, de torneamento e de usinagem e torneamento CNC e outras máquinas multitarefa podem ser operados como sistemas de manufatura tripulados ou automatizados. Se operam com um trabalhador em atenção contínua ou como uma estação única automatizada, depende da existência de um subsistema de armazenamento de peças integrado com transferência automática de peças entre a máquina-ferramenta e a unidade de armazenamento. Essas máquinas-ferramenta também podem ser utilizadas em células de máquinas flexíveis (capítulos 18 e 19).

**Figura 14.6** Operação de um centro de usinagem e torneamento: (a) peça de exemplo com superfícies torneadas, fresadas e furadas e (b) sequência de operações de corte: (1) torner diâmetro menor; (2) entalhar plano com peça em posição angular programada, quatro posições para seção transversal quadrada; (3) usinar furo com peça em posição angular programada e (4) cortar a peça usinada





## 14.4 ANÁLISE DE SISTEMAS COM UMA ESTAÇÃO

Duas questões de análise relacionadas a sistemas de manufatura com uma estação são a determinação (1) do número de estações únicas necessárias para satisfazer os requisitos especificados de produção e (2) do número de máquinas para designar a um trabalhador em um agrupamento de máquinas.

### 14.4.1 Número de estações de trabalho necessárias

Qualquer sistema de manufatura tem de ser projetado para produzir uma quantidade específica de peças ou produtos a uma taxa de produção determinada. No caso de sistemas de manufatura com uma estação, isso pode significar que mais de uma célula com uma estação é necessária para alcançar determinada taxa de produção ou para produzir certa quantidade de unidades de trabalho. A abordagem básica é a seguinte: (1) determinar a carga de trabalho total que tem de ser realizada em um determinado período (hora, semana, mês, ano), sendo *carga de trabalho* o total de horas necessárias para se completar um determinado montante de trabalho ou para produzir um determinado número de peças programadas durante o período e, então, (2) dividir a carga de trabalho pelas horas disponíveis em uma estação de trabalho no mesmo período.

A carga de trabalho é calculada como a quantidade de peças que serão produzidas durante o período de interesse multiplicada pelo tempo (horas) necessário para cada peça. O tempo necessário para cada peça é, em sua maioria, o tempo de ciclo na máquina, de maneira que a carga de trabalho é dada pela equação a seguir:

$$WL = QT_c$$

em que  $WL$  é a carga de trabalho programada para um determinado período (hora de trabalho/hora ou hora de trabalho/semana);  $Q$  é a quantidade a ser produzida durante o período (peça/hora ou peça/semana) e  $T_c$  é o tempo de ciclo exigido por peça (hora/peça). Se a carga de trabalho inclui tipos de peças ou produtos múltiplos que podem ser produzidos no mesmo tipo de estação de trabalho, então podemos utilizar:

$$WL = \sum_j Q_j T_{c_j} \quad (14.6)$$

em que  $Q_j$  é a quantidade de tipos de peças ou produtos produzidos durante o período (pc);  $T_{c_j}$  é o tempo de ciclo do tipo de peça ou produto  $j$  (hora/peça); e a soma inclui todas as peças ou todos os produtos feitos durante o período. No

passo (2), a carga de trabalho é dividida pelas horas disponíveis em uma estação; isso é,

$$n = \frac{WL}{AT} \quad (14.7)$$

em que  $n$  é o número de estações de trabalho e  $AT$  é o tempo em uma estação no período (hora/período). Vamos ilustrar o uso dessas equações com um exemplo simples e então considerar algumas das complicações.

#### EXEMPLO 14.1

##### Determinando o número de estações de trabalho

Um total de 800 eixos tem de ser produzido na seção de torno mecânico de uma fábrica durante determinada semana. Os eixos são idênticos e exigem um tempo de ciclo de máquina  $T_c$  de 11,5 minutos. Todos os tornos no departamento são equivalentes em termos de capacidade de produção do eixo no tempo de ciclo especificado. Quantos tornos têm de ser designados à produção dos eixos durante essa determinada semana, se existem 40 horas de tempo disponível em cada torno?

**Solução:** a carga de trabalho consiste de 800 eixos a 11,5 minutos por eixo.

$$WL = 800(11,5 \text{ min}) = 9.200 \text{ min} = 153,33 \text{ h}$$

Tempo disponível por torno durante a semana  $AT = 40 \text{ h}$

$$n = 153,33/40 = 3,83 \text{ tornos}$$

Esse valor calculado seria arredondado para quatro tornos, designados para a produção dos eixos durante a semana determinada.

Vários fatores presentes na maioria dos sistemas de manufatura da vida real complicam o cálculo do número de estações de trabalho. Esses fatores incluem:

- *Tempo de configuração na produção em lote.* Durante a preparação, a estação de trabalho não está produzindo, mas o tempo está passando.
- *Disponibilidade.* Fator de confiabilidade que reduz o tempo de produção disponível.
- *Utilização.* Estações de trabalho podem não ser completamente utilizadas devido a problemas de cronograma, falta de peça para determinado tipo de máquina, desequilíbrio de carga de trabalho entre estações de trabalho etc.
- *Taxa de defeito.* A produção do sistema de manufatura pode não ser cem por cento de boa qualidade. Unidades com defeito são produzidas a uma determinada frequência. Para compensar isso, o sistema tem de aumentar o número total de unidades processadas.

Esses fatores afetam a quantidade de estações de trabalho e/ou trabalhadores exigidos para que uma determinada carga de trabalho seja alcançada e influenciam a



carga de trabalho ou o montante de tempo disponível na estação de trabalho durante o período de interesse.

O tempo de configuração na produção ocorre entre lotes porque as ferramentas e os dispositivos de fixação devem ser trocados do tipo de peça atual para o próximo tipo de peça, e o controlador de equipamento tem de ser reprogramado. É tempo perdido quando nenhuma peça é produzida (exceto, talvez, em casos de peças-piloto feitas para conferir a nova configuração e programação). No entanto, isso consome tempo disponível em uma estação de trabalho. Os exemplos a seguir ilustram duas maneiras possíveis de se lidar com a questão, dependendo da informação dada.

#### EXEMPLO 14.2

##### Número de preparações é conhecido

Um total de 800 eixos tem de ser produzido na seção de torno mecânico da fábrica durante determinada semana. Os eixos são de 20 tipos diferentes, e cada tipo é produzido em seu próprio lote. O tamanho médio dos lotes é de 40 peças. Cada lote exige uma configuração e o tempo de preparação médio é 3,5 horas. O tempo de ciclo médio por máquina para produzir um eixo  $T_c$  é de 11,5 minutos. Quantos tornos são necessários durante a semana?

**Solução:** Nesse caso, sabemos quantas preparações são necessárias durante a semana porque temos quantos lotes serão produzidos: 20. Podemos determinar a carga de trabalho para as 20 preparações e a carga de trabalho para os 20 lotes de produção:

$$WL = 20(3,5) + 20(40)(11,5/60) = 70 + 153,3 = 223,33 \text{ h}$$

Levando-se em consideração que cada torno está disponível 40 horas/semana (já que a preparação é incluída no cálculo de carga de trabalho),

$$n = \frac{223,33}{40} = 5,58 \text{ tornos}$$

Mais uma vez, arredondando, a fábrica teria de dedicar seis tornos para a manufatura de eixos.

#### EXEMPLO 14.3

##### Número de preparações não conhecido

Este exemplo é similar ao Exemplo 14.2, mas o número de preparações é igual ao número de máquinas necessárias,  $n$ , e não sabemos ainda qual é esse número. A configuração leva 3,5 horas. Quantos tornos serão necessários durante a semana?

**Solução:** Nessa formulação do problema, o número de horas disponíveis em qualquer torno utilizado para o pedido é reduzido pelo tempo de configuração. A carga de trabalho para realmente produzir as peças permanece a mesma, 153,33 horas. Acrescentando a carga de trabalho de preparação,

$$WL = 153,33 + 3,5n$$

Dividindo pelo tempo disponível de 40 horas por torno, temos:

$$n = \frac{153,33 + 3,5n}{40} = 3,83325 + 0,0875n$$

Calculando  $n$ ,

$$n - 0,0875n = 0,9125n = 3,83325$$

$$n = 4,2$$

Arredondando, cinco tornos têm de ser designados à manufatura dos eixos. Infelizmente não serão completamente utilizados. Com cinco tornos, a utilização será:

$$U = \frac{4,20}{5} = 0,840 \text{ (84\%)}$$

Levando-se em consideração esse resultado insatisfatório, pode ser preferível oferecer horas extras para os trabalhadores em quatro dos tornos. Quantas horas extras além das 40 horas regulares serão necessárias?

$$OT = \left[ 3,5 + \frac{153,33}{4} \right] - 40 = (3,5 + 38,33) - 40 = 1,83 \text{ hr}$$

Seria necessário um total de  $4(1,83 \text{ h}) = 7,33 \text{ h}$  para os quatro operadores de máquinas.

Disponibilidade e utilização (Seção 3.1.3) tendem a reduzir o tempo disponível na estação de trabalho. O tempo disponível torna-se o tempo de turno no período multiplicado pela disponibilidade e a utilização. Em forma de equação,

$$AT = H_{sh} AU \quad (14.8)$$

em que  $AT$  é o tempo disponível (h);  $H_{sh}$  são as horas de turno durante o período (h);  $A$  é a disponibilidade e  $U$  é a utilização.

A taxa de defeitos é a fração de peças defeituosas produzidas. Discutimos a questão da taxa de defeitos com mais detalhes posteriormente (Seção 21.5). Uma taxa de defeitos maior do que zero aumenta a quantidade de peças que tem de ser processada a fim de produzir a quantidade desejada. Se um processo é conhecido por produzir peças a determinada taxa média de refugo, então o tamanho de lote de partida é aumentado por essa margem de refugo para compensar as peças defeituosas que serão feitas. A relação entre a quantidade de partida e a quantidade produzida é:

$$Q = Q_o(1 - q) \quad (14.9)$$

em que  $Q$  é a quantidade de boas unidades feitas no processo;  $Q_o$  é a quantidade original ou de partida; e  $q$  é a taxa de defeito. Assim, se quisermos produzir  $Q$  boas unidades, teremos de processar um total de  $Q_o$  unidades de partida, o que é:

$$Q_o = \frac{Q}{(1 - q)} \quad (14.10)$$



O efeito combinado da eficiência do trabalhador e da taxa de defeito é dado pela equação a seguir, que retifica a fórmula de carga de trabalho, Equação (14.5):

$$WL = \frac{QT_c}{(1 - q)} \quad (14.11)$$

#### EXEMPLO 14.4

##### Incluindo disponibilidade, utilização e taxa de defeitos

Suponha que no Exemplo 14.2 a disponibilidade antecipada dos tornos seja de cem por cento durante a preparação e de 92 por cento durante a operação de produção, e a utilização esperada para fins de cálculo seja de cem por cento. A taxa de defeito para um trabalho de torno desse tipo é de cinco por cento. Outros dados do Exemplo 14.1 são aplicáveis. Quantos tornos são necessários durante a semana, levando-se em consideração essas informações adicionais?

**Solução:** Quando há separação de tarefas entre dois ou mais tipos de trabalhos (nesse caso, preparação e operação são dois tipos separados de trabalhos), temos de tomar o cuidado de utilizar os vários fatores somente onde são aplicáveis. Por exemplo, a taxa de defeito não se aplica ao tempo de preparação. Presume-se também que a disponibilidade não se aplica à preparação (como a máquina pode quebrar, se ela não está operando?). Normalmente é apropriado calcular o número de estações de trabalho equivalentes para preparação separadamente do número para a operação de produção. Para a preparação, a carga de trabalho é simplesmente o tempo gasto na realização de 20 configurações:

$$WL = 20(3,5) = 70 \text{ h}$$

As horas disponíveis durante a semana são:

$$AT = 40(1)(1) = 40$$

Desse modo, o número de tornos necessários somente para a preparação é determinado a seguir:

$$n_{su} = \frac{70}{40} = 1,75 \text{ tomos}$$

A carga de trabalho total para as 20 operações de produção é calculada a seguir:

$$WL = \frac{20(40)(11,5/60)}{(1 - 0,05)} = 161,4 \text{ h}$$

O tempo disponível é afetado pela disponibilidade de 92 por cento:

$$AT = 40(0,92) = 36,8 \text{ h/máquina}$$

$$n_{pr} = \frac{161,4}{36,8} = 4,39$$

Total de máquinas necessárias = 1,75 + 4,39 = 6,14 tornos

O resultado deveria ser arredondado para sete tornos, a não ser que o tempo restante no sétimo torno possa ser utilizado para outra produção.

Observe que o arredondamento deve ocorrer após o acréscimo das frações de máquina; de outra maneira, arriscamos superestimar as exigências da máquina (não nesse problema, entretanto).

#### 14.4.2 Agrupamentos de máquinas

Quando a máquina em uma estação de trabalho única não exige atenção contínua de um trabalhador durante seu ciclo semiautomatizado, existe a oportunidade de designar mais do que uma máquina para o trabalhador. A estação de trabalho ainda exige atenção do operador a cada ciclo de trabalho. Entretanto, o nível de tripulação da estação de trabalho é reduzido de  $M = 1$  para  $M < 1$ . Esse tipo de organização de máquina às vezes é referido como uma 'célula de manufatura' ou 'célula de usinagem'; entretanto, utilizaremos o termo agrupamento de máquinas. Um *agrupamento de máquinas* é um conjunto de duas ou mais máquinas produzindo peças ou produtos com tempos de ciclos idênticos e atendidas (normalmente carregadas e descarregadas) por um trabalhador. Em comparação, uma *célula de manufatura* consiste de uma ou mais máquinas organizadas para produzir uma família de peças ou produtos. Discutimos células de manufatura nos capítulos 18 e 19.

Várias condições têm de ser satisfeitas a fim de organizar um conjunto de máquinas em um agrupamento de máquinas: (1) o ciclo de máquinas semiautomatizado tem de ser longo em relação à porção de serviço do ciclo que exige a atenção do trabalhador; (2) o tempo de ciclo semiautomatizado tem de ser o mesmo para todas as máquinas; (3) as máquinas que o trabalhador atenderia têm de estar próximas o suficiente para permitir o tempo para caminhar entre elas; e (4) as regras de trabalho da planta têm de permitir que um trabalhador atenda mais de uma máquina.

Considere um conjunto de estações de trabalho únicas, todas produzindo as mesmas peças e operando no mesmo tempo de ciclo semiautomatizado. Cada máquina opera por uma determinada porção do ciclo total sob seu próprio controle  $T_m$  (tempo de máquina) e, então, exige ser atendida pelo trabalhador, o que leva tempo  $T_s$ . Assim, presumindo que o trabalhador está sempre disponível quando é necessário atender a uma máquina de maneira que ela nunca esteja ociosa, o tempo de ciclo total de uma máquina é  $T_c = T_m + T_s$ . Se mais de uma máquina é designada ao trabalhador, algum será perdido enquanto o trabalhador caminha de uma máquina para a próxima, referido aqui como *tempo de reposicionamento*,  $T_r$ . O tempo exigido para o operador atender a uma máquina é, portanto,  $T_s + T_r$ , e o tempo para atender  $n$  máquinas é  $n(T_s + T_r)$ . Para o sistema estar perfeitamente equilibrado em termos de tempo do trabalhador e tempo de ciclo da máquina,

$$n(T_s + T_r) = T_m + T_s$$



Podemos determinar a partir disso o número de máquinas que deve ser designado a um trabalhador calculando:

$$n = \frac{T_m + T_s}{T_s + T_r} \quad (14.12)$$

em que  $n$  é o número de máquinas;  $T_m$  é o tempo de ciclo semiautomático de máquinas (min);  $T_s$  é o tempo de serviço do trabalhador por máquina (min); e  $T_r$  é o tempo de reposicionamento do trabalhador entre máquinas (min).

É provável que o valor calculado de  $n$  não seja um número inteiro, o que significa que o tempo do trabalhador no ciclo, isto é,  $n(T_s + T_r)$ , não pode ser perfeitamente equilibrado com o tempo de ciclo  $T_c$  das máquinas. Entretanto, o número real de máquinas no sistema de manufatura tem de ser inteiro; dessa forma, o trabalhador ou as máquinas vão passar por algum tempo ocioso. O número de máquinas será o inteiro maior do que  $n$  na Equação (14.12) ou será o inteiro menor do que  $n$ . Vamos identificar esses dois inteiros como  $n_1$  e  $n_2$ . Nós podemos determinar qual das alternativas é preferível introduzindo fatores de custo na análise. Presuma que  $C_L$  seja o custo de mão de obra e  $C_m$  seja o custo de máquina. Determinadas despesas gerais podem ser aplicáveis a essas taxas (ver Seção 3.2.2). A decisão será baseada no custo por peça produzida pelo sistema.

**Caso 1:** Se utilizarmos  $n_1 = \text{inteiro máximo} \leq n$ , então o trabalhador terá tempo ocioso, e o ciclo de tempo do agrupamento de máquinas será o tempo de ciclo das máquinas  $T_c = T_m + T_r$ . Presumindo que uma peça seja produzida por cada máquina durante um ciclo, temos:

$$C_{pc}(n_1) = \left[ \frac{C_L}{n_1} + C_m \right] (T_m + T_r) \quad (14.13)$$

em que  $C_{pc}(n_1)$  é o custo por unidade de trabalho (\$/pc);  $C_L$  é o custo de mão de obra (\$/min);  $C_m$  é o custo por máquina (\$/min); e  $(T_m + T_r)$  é expresso em minuto.

**Caso 2:** Se usamos  $n_2 = \text{inteiro mínimo} > n$ , então as máquinas terão tempo ocioso, e o tempo de ciclo do agrupamento de máquinas será o tempo que leva para o trabalhador atender as  $n_2$  máquinas, que é  $n_2(T_s + T_r)$ . O custo por peça correspondente é dado por:

$$C_{pc}(n_2) = (C_L + C_m n_2)(T_s + T_r) \quad (14.14)$$

A escolha de  $n_1$  ou  $n_2$  é baseada naquele que resultar no custo mais baixo por peça.

Na ausência dos dados de custos necessários para fazer esses cálculos, sentimos que geralmente é preferível designar máquinas para um trabalhador de tal maneira que o trabalhador tenha algum tempo ocioso e que as máquinas sejam utilizadas em cem por cento. A razão para isso é a de que o custo total por hora de  $n$  máquinas de produção é normalmente maior do que o de mão de obra de um tra-

balhador. Portanto, o tempo ocioso de uma máquina custa mais do que o tempo ocioso de um trabalhador. O número correspondente de máquinas para designar ao trabalhador é dado, portanto, por:

$$n_1 = \text{inteiro máximo} \leq \frac{T_m + T_s}{T_s + T_r} \quad (14.15)$$

#### EXEMPLO 14.5

##### Quantas máquinas para um trabalhador?

Uma fábrica possui muitos tornos CNC que operam em um ciclo de usinagem semiautomatizado sob controle de programas de peças. Um número significativo dessas máquinas produz a mesma peça, cujo tempo de ciclo de usinagem é de 2,75 minutos. Um trabalhador é necessário para realizar a carga e a descarga de peças ao fim de cada ciclo de usinagem, o que leva 25 segundos. Determine quantas máquinas um trabalhador pode atender, se ele leva uma média de 20 segundos para caminhar entre as máquinas e nenhum tempo ocioso de máquina é permitido.

**Solução:** Levando-se em consideração que  $T_m$  é igual a 2,75 minutos,  $T_s$  é igual a 25 segundos, o que equivale a 0,4167 minuto, e  $T_r$  é igual a 20 segundos, o que equivale a 0,3333 minuto, a Equação (14.15) pode ser utilizada para obter

$$n_1 = \text{inteiro máximo}$$

$$\left[ \frac{2,75 + 0,4167}{0,4167 + 0,3333} = \frac{3,1667}{0,75} = 4,22 \right] = 4 \text{ máquinas}$$

Cada trabalhador deve ter quatro máquinas designadas para ele. Com um ciclo de máquina  $T_c$  de 3,1667 minutos, o trabalhador passará  $4(0,4167) = 1,667$  minuto atendendo às máquinas,  $4(0,3333) = 1,333$  minuto caminhando entre máquinas, e o tempo ocioso do trabalhador durante o ciclo será de 0,167 minuto (dez segundos).

Observe a regularidade que existe no cronograma do trabalhador nesse exemplo. Se imaginamos que as quatro máquinas são colocadas nos quatro cantos de um quadrado, o trabalhador atende a cada máquina e então procede no sentido horário para a máquina no próximo canto. Cada ciclo de atendimento e caminhada leva três minutos, com um tempo de descanso de dez segundos sobrando para o trabalhador.

Se esse tipo de regularidade caracteriza as operações de um agrupamento de células automatizadas com uma estação, então o mesmo tipo de análise pode ser aplicado para determinar o número de células a designar para um trabalhador. Se, de outro lado, o atendimento de cada célula é exigido em intervalos aleatórios e imprevisíveis, ocorrerão períodos em que várias células exigirão atendimento simultaneamente, sobrecarregando as capacidades do trabalhador, enquanto durante outros períodos o trabalhador não terá células para atender. Uma análise de filas é apropriada nesse caso de exigências aleatórias de atendimento.



## Referências

- [1] ABRAMS, M. "Simply complex". *Mechanical Engineering*, v., n., p. 28-31, jan. 2006.
- [2] ARONSON, R. "Turning's just the beginning". *Manufacturing Engineering*, p. 42-53, jun. 1999.
- [3] \_\_\_\_\_. "Cells and centers". *Manufacturing Engineering*, p. 52-60, fev. 1999.
- [4] \_\_\_\_\_. "Multitalented machine tools". *Manufacturing Engineering*, p. 65-75, jan. 2005.
- [5] DROZDA, T. J.; WICK, C. (eds.). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook*. 4. ed., v. I: *Machining*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, 1983.
- [6] LORINCZ, J. "Multitasking machining". *Manufacturing Engineering*, p. 45-54, fev. 2006.
- [7] LORINCZ, J. "Just say VMC". *Manufacturing Engineering*, p. 61-7, jun. 2006.
- [8] WAURZYNIAK, P. "Programming dor MTM". *Manufacturing Engineering*, p. 83-91, abr. 2005.

## Questões de revisão

- 14.1 Cite três razões pelas quais células operadas com uma estação são tão amplamente utilizadas na indústria.
- 14.2 O que significa o termo *estação semiautomática*?
- 14.3 O que é uma célula automatizada com máquina única?
- 14.4 Quais são os cinco elementos necessários para a operação sem assistência de uma célula de produção automatizada de lote ou peça única?
- 14.5 Quais são os três elementos adicionais necessários para a operação sem assistência de uma célula de produção automatizada de modelo misto?
- 14.6 O que é um trocador automático de palete?
- 14.7 O que é um centro de usinagem?
- 14.8 Cite algumas das características de um centro de usinagem NC para reduzir o tempo não produtivo no ciclo de trabalho.
- 14.9 O que é um agrupamento de máquinas?

## Problemas

### Operação sem assistência

- 14.1 Um centro de usinagem CNC tem um tempo de ciclo programado de 25 minutos para determinada peça. O tempo para descarregar a peça terminada e carregar uma peça bruta é de cinco minutos. (a) Se carga e descarga são feitas diretamente na mesa da máquina-ferramenta e nenhuma capacidade de armazenamento automática existe na máquina, quais são o tempo de ciclo e a taxa de produção por hora? (b) Se a máquina-ferramenta tem um trocador automático de palete, de maneira que carga e descarga podem ser feitas enquanto a máquina usina outra peça e o tempo de reposicionamento é de 30 segundos, quais são o ciclo de tempo e a taxa de produção por hora? (c) Se a máquina-ferramenta tem um trocador automático de palete com uma interface com unidade de armazenamento de peças cuja capacidade é de 12 peças e o tempo de reposicionamento é de 30 segundos, quais são o tempo de ciclo total e a taxa de produção por hora? Quanto tempo leva para que um trabalhador

efetue a carga e a descarga das 12 peças e qual é o tempo que a máquina pode operar sem assistência entre trocas de peças?

### Determinando requisitos de estações de trabalho

- 14.2 Um total de sete mil estampagens tem de ser produzido no departamento de prensa durante os próximos três dias. Prensas operadas manualmente serão utilizadas para completar o trabalho e o tempo de ciclo é 27 segundos. Cada prensa tem de ser configurada antes de a produção começar. O tempo de configuração para esse trabalho é de duas horas. Quantas prensas e operadores terão de ser utilizados nessa produção durante os três dias, se o tempo disponível por dia é de 7,5 horas?
- 14.3 Uma planta de estampagem tem de ser projetada para fornecer peças para uma indústria de motores automotivos. A planta vai operar por um turno de oito horas por 250 dias ao ano e tem de produzir 15 milhões de