

Linhas de montagem manuais

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- 15.1 Aspectos básicos das linhas de montagem manuais
 - 15.1.1 Estações de trabalho de montagem
 - 15.1.2 Sistemas de transporte de itens
 - 15.1.3 Ritmo da linha
 - 15.1.4 Lidando com a variedade de produto
- 15.2 Análise das linhas de montagem de modelo único
 - 15.2.1 Perdas de posicionamento
 - 15.2.2 O problema do balanceamento de linha
- 15.3 Algoritmos de balanceamento de linha
 - 15.3.1 Regra do maior candidato
 - 15.3.2 Método de Kilbridge e Wester
 - 15.3.3 Método dos pesos posicionais
- 15.4 Linhas de montagem de modelo misto
 - 15.4.1 Determinando o número de trabalhadores na linha
 - 15.4.2 Balanceamento de linha de modelo misto
 - 15.4.3 Lançamento de modelo nas linhas de modelo misto
- 15.5 Considerações sobre estações de trabalho
- 15.6 Outras considerações sobre o projeto de linha de montagem
- 15.7 Sistemas alternativos de montagem

A maioria dos produtos manufaturados consumidos é montada, e cada um consiste de múltiplos componentes agrupados por vários processos de montagem (Seção 2.2.1). Esses produtos geralmente são fabricados em uma linha de montagem manual, tipo de linha cujo uso é favorecido por fatores como:

- A demanda pelo produto é média ou alta.
- Os produtos fabricados na linha são semelhantes ou idênticos.

- O trabalho para montar o produto pode ser dividido em tarefas pequenas.

- É tecnologicamente impossível ou economicamente inviável automatizar as operações de montagem.

Os produtos caracterizados por esses fatores e que normalmente são fabricados em uma linha de montagem manual estão relacionados na Tabela 15.1.

Existem vários motivos pelos quais as linhas de montagem manuais são tão produtivas em comparação aos métodos

alternativos com os quais múltiplos trabalhadores realizam individualmente todas as tarefas de montagem dos produtos.

- *Especialização do trabalho.* Chamado “divisão do trabalho” por Adam Smith (Nota histórica 15.1), este princípio afirma que, quando uma grande tarefa é dividida em pequenas tarefas e cada uma delas é atribuída a um trabalhador, o trabalhador se torna perito em realizar aquela única tarefa. Cada trabalhador se torna um especialista.
- *Peças intercambiáveis,* em que cada componente é fabricado com tolerâncias tão próximas que qualquer peça de um determinado tipo pode ser selecionada para montagem com os demais componentes. Sem peças intercambiáveis, a montagem exigiria preenchimento e ajuste dos componentes, tornando os métodos de linha de montagem pouco práticos.
- *Princípio do fluxo de trabalho,* que envolve a ação de mover o item que será trabalhado para o trabalhador, e não o contrário. Cada unidade de trabalho flui suavemente através da linha de produção, percorrendo uma distância mínima entre as estações.
- *Ritmo da linha.* Os trabalhadores em uma linha de montagem normalmente precisam completar suas tarefas atribuídas em cada unidade do produto dentro de certo tempo de ciclo, o que imprime um ritmo (ou andamento) à linha para manter uma velocidade de produção especificada. O andamento geralmente é implementado por meio de um transportador mecanizado.

Neste capítulo, abordaremos o planejamento e a tecnologia das linhas de montagem manuais. Os sistemas de montagem automatizados serão discutidos no Capítulo 17.

15.1 ASPECTOS BÁSICOS DAS LINHAS DE MONTAGEM MANUAIS

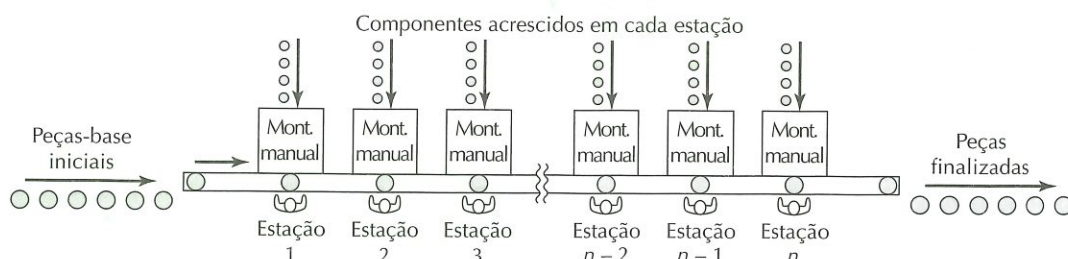
A *linha de montagem manual* é uma linha de produção que consiste de uma sequência de estações de trabalho nas quais as tarefas de montagem são realizadas por trabalhadores humanos, como ilustrado na Figura 15.1. Os produtos são montados à medida que se movem através da linha. Em cada estação, um trabalhador realiza uma parte do trabalho total no item (produto). A prática comum é ‘lançar’ peças-base ou iniciais no início da linha em intervalos regulares. Cada peça-base desloca-se através de estações sucessivas, e os trabalhadores acrescentam componentes que progressivamente constroem o produto. Um sistema de transporte de material mecanizado normalmente é usado para mover as peças-base ao longo da linha conforme são gradualmente transformadas em produtos acabados. A velocidade de produção de uma linha de montagem é determinada por sua estação mais lenta. As estações capazes de trabalhar mais rápido são efetivamente limitadas pela estação mais lenta.

A tecnologia da linha de montagem manual contribuiu significativamente para o desenvolvimento da indústria norte-americana no século XX (ver Nota histórica 15.1) e permanece em todo o mundo como um importante sistema de produção quando se trata da fabricação de automóveis, aparelhos de consumo e outros produtos montados relacionados na Tabela 15.1.

Tabela 15.1 Produtos normalmente fabricados em linhas de montagem manuais

Equipamentos de áudio	Móveis	Bombas
Automóveis	Lâmpadas	Refrigeradores
Câmeras	Malas e bolsas	Estufas
Fogões	Fornos de micro-ondas	Telefones
Lavadoras de louças	Computadores pessoais e periféricos (impressoras, monitores etc.)	Torradeiras e fornos
Secadoras de roupa	Ferramentas elétricas (furadeiras, esmeris etc.)	Caminhões leves e pesados
DVD players		Consoles de videogame
Motores elétricos		Máquinas de lavar

Figura 15.1 Configuração de uma linha de montagem manual, em que n é o número de estações na linha



Nota histórica 15.1

A origem da linha de montagem manual

As linhas de montagem manuais são baseadas principalmente em dois princípios de trabalho fundamentais. O primeiro princípio é o da *divisão do trabalho*, defendido por Adam Smith (1723-90) em *A riqueza das nações*, livro publicado na Inglaterra em 1776. Usando uma fábrica de alfinetes para ilustrar a divisão do trabalho, o livro descreve como dez trabalhadores, especializados em várias tarefas distintas necessárias para a fabricação de um alfinete, produzem 48 mil alfinetes por dia, enquanto em um sistema no qual cada trabalhador realiza todas as tarefas em cada alfinete produz apenas alguns alfinetes por dia. Smith não inventou a divisão do trabalho, pois havia outros exemplos de seu uso na Europa durante séculos, mas foi o primeiro a perceber sua importância na produção.

O segundo princípio de trabalho é o das *peças intercambiáveis*, baseado, entre outros, nos esforços de Eli Whitney (1765-1825) no início do século XIX [15]. A origem do princípio das peças intercambiáveis foi anteriormente descrita na Nota histórica 1.1. Sem as peças intercambiáveis, a tecnologia da linha de montagem não seria possível.

A origem das linhas de produção modernas pode ser rastreada até a indústria de carne, em Chicago, Illinois, e em Cincinnati, Ohio. Em meados e no fim da década de 1800, os frigoríficos utilizavam transportadores aéreos manuais para mover os animais abatidos de um trabalhador para outro. Esses transportadores mais tarde foram substituídos por transportadores motorizados de corrente para criar 'linhas de desmontagem', antecessoras da linha de montagem. A organização do trabalho permitiu que cada cortador de carne se concentrasse em uma única tarefa (divisão do trabalho).

O industrial norte-americano do ramo automobilístico Henry Ford havia observado essas operações de embalagem de carne. Em 1913, ele e seus colegas engenheiros projetaram uma linha de montagem em Highland Park, Michigan, para produzir volantes magnéticos (do inglês, *magneto flywheels*), o que aumentou a produtividade em quatro vezes. Empolgado com o sucesso, Ford aplicou as técnicas de linha de montagem na fabricação de chassis. O uso de transportadores impulsionados por correntes e estações de trabalho organizadas para a conveniência e conforto de seus trabalhadores da linha de montagem aumentou a produtividade em oito vezes, em comparação aos métodos de montagem de estação única anteriores. Essas e outras melhorias resultaram em reduções significativas no preço do modelo Ford T, principal produto da Ford Motor Company na época. Assim, muitos norte-americanos puderam comprar um automóvel por causa da realização de Ford na redução de custos. Isso estimulou o desenvolvimento e o uso de técnicas de linha de produção, incluindo linhas de transferência automática. Também obrigou os concorrentes e os fornecedores da Ford a imitar seus métodos, tornando a linha de montagem manual intrínseca à indústria norte-americana.

15.1.1 Estações de trabalho de montagem

Uma *estação de trabalho em uma linha de montagem manual* é um local designado ao longo do caminho do fluxo de trabalho em que uma ou mais tarefas são executadas por um ou mais trabalhadores e representam pequenas partes do trabalho total que precisa ser realizado para montar o produto — as operações de montagem comuns realizadas nas estações em uma linha de montagem manual estão listadas na Tabela 15.2. Além disso, cada estação de trabalho inclui as ferramentas (manuais ou elétricas) necessárias para realizar a tarefa atribuída à estação.

Algumas estações de trabalho são projetadas para que os trabalhadores fiquem em pé, enquanto outras permitem que os trabalhadores se sentem. Quando os traba-

lhadores estão em pé, podem se mover pela área da estação para realizar a tarefa. Isso é comum na montagem de grandes produtos, como automóveis, caminhões e grandes eletrodomésticos. O produto normalmente é movido por uma esteira a uma velocidade constante. O trabalhador começa a tarefa de montagem perto do lado de entrada da estação e se move junto com a unidade de trabalho até que a tarefa esteja concluída; em seguida, vai para a próxima unidade de trabalho e repete o ciclo. Para produtos menores (como eletrodomésticos, aparelhos eletrônicos e subconjuntos usados em produtos maiores), as estações de trabalho normalmente são projetadas para permitir que os trabalhadores se sentem enquanto executam suas tarefas. Esse método é mais confortável e menos cansativo e geralmente é mais favorável à precisão na tarefa de montagem.

Tabela 15.2 Operações de montagem típicas realizadas em uma linha de montagem manual

Aplicação de adesivo	Aplicação de fixadores por expansão	União de duas peças
Aplicação de selante	Inserção de componentes	Soldagem
Soldagem de arco	Montagem em prensa	Soldagem de ponto
Brasagem	Montagem de placas de circuito impresso	Grampeamento
Aplicação de grampos	Aplicação de rebites e ilhoses	Costura
Crimpagem	Aplicação de fixação por contração/expansão	Parafusamento

Fonte: Veja definições em Groover [12].

Anteriormente, definimos o nível de apoio humano para vários tipos de sistemas de manufatura (Seção 13.2.4). Para uma linha de montagem manual, o nível de apoio humano da estação de trabalho i , simbolizado como M_i , é o número de trabalhadores atribuídos a essa estação, em que $i = 1, 2, \dots, n$ e n é o número de estações de trabalho na linha. Geralmente é um trabalhador: $M_i = 1$. Nos casos em que o produto é grande, como um automóvel ou um caminhão, vários trabalhadores normalmente são atribuídos a uma única estação, de modo que $M_i > 1$. Múltiplos operários por estação economizam o valioso espaço da fábrica e reduzem o comprimento da linha e o tempo de produção, uma vez que menos estações são necessárias. O nível médio de pessoas em uma linha de montagem manual é simplesmente o número total de trabalhadores na linha dividido pelo número de estações, ou seja,

$$M = \frac{w}{n} \quad (15.1)$$

em que M é o nível médio de pessoas da linha (trabalhadores/estação), w é o número de trabalhadores e n é o número de estações. Essa relação simples é complicada pelo fato de que as linhas de montagem manuais normalmente incluem mais trabalhadores do que aqueles atribuídos a estações; portanto, M não é uma simples média dos valores de M_i . Esses trabalhadores adicionais, chamados *trabalhadores auxiliares*, não são destinados a estações de trabalho específicas; em vez disso, eles são responsáveis por funções como (1) ajudar trabalhadores que não conseguem acompanhar o ritmo, (2) liberar trabalhadores para intervalos pessoais, (3) manusear materiais e (4) realizar a manutenção e o reparo. Incluindo os trabalhadores auxiliares na contagem de trabalhadores, temos:

$$M = \frac{w_u + \sum_{i=1}^n w_i}{n} \quad (15.2)$$

em que w_u é o número de trabalhadores auxiliares atribuídos ao sistema e w_i é o número de trabalhadores destinados especificamente à estação i para $i = 1, 2, \dots, n$. O parâmetro w_i é quase sempre um inteiro, exceto para o

caso incomum em que um trabalhador é compartilhado entre duas estações adjacentes.

15.1.2 Sistemas de transporte de itens

Basicamente, existem duas maneiras de realizar o movimento das unidades que serão trabalhadas ao longo de uma linha de montagem manual: (1) *manualmente* ou (2) *por sistema mecanizado*. Os dois métodos fornecem o roteamento fixo (todas as unidades passam pela mesma sequência de estações), o que é característico das linhas de produção.

Métodos manuais de transporte de itens. No transporte manual de itens, as unidades do produto são passadas de estação para estação pelos próprios trabalhadores. Dois problemas resultam desse modo de operação: ociosidade e obstrução. A *ociosidade* é a situação em que o operador de montagem completou sua tarefa atribuída no item atual, mas o próximo item ainda não chegou à estação. Portanto, o trabalhador está ocioso esperando pelo item que será trabalhado. Quando uma estação está *obstruída*, o operador completou a tarefa atribuída no item atual, mas não pode passá-lo para a próxima estação porque o trabalhador ainda não está pronto para recebê-lo. O operador, portanto, está obstruído de trabalhar.

Para amenizar os efeitos desses problemas, *buffers* de armazenamento normalmente são usados entre as estações. Em alguns casos, os itens produzidos em cada estação são coletados em lotes e, então, movidos para a próxima estação. Em outros casos, os itens são movidos individualmente através de uma mesa plana ou um transportador não mecanizado. Quando a tarefa é concluída em cada estação, o trabalhador simplesmente empurra o item em direção à estação seguinte. Normalmente é permitido espaço para um ou mais itens em frente a cada estação de trabalho. Isso fornece um suprimento de trabalho disponível para a estação e um espaço para itens concluídos da estação anterior. Portanto, a ociosidade e a obstrução são minimizadas. O

problema com esse método de operação é que ele pode resultar em uma significativa quantidade de itens em processo, que é economicamente indesejável. Além disso, os trabalhadores perdem o ritmo em linhas que se baseiam em métodos de transporte manuais e nas quais as velocidades de produção tendem a ser mais baixas.

Transporte mecanizado de itens. Transportadores mecanizados e outros tipos de equipamentos mecanizados de manuseio de material são amplamente usados para mover itens através de uma linha de montagem manual. Esses sistemas podem ser projetados para fornecer operação com ou sem andamento da linha. As três categorias principais de sistemas de transporte de itens em linhas de produção são (a) transporte contínuo, (b) transporte síncrono e (c) transporte assíncrono. Essas categorias estão ilustradas esquematicamente na Figura 15.2. A Tabela 15.3 identifica alguns dos equipamentos de transporte de material comumente associados a cada uma das categorias.

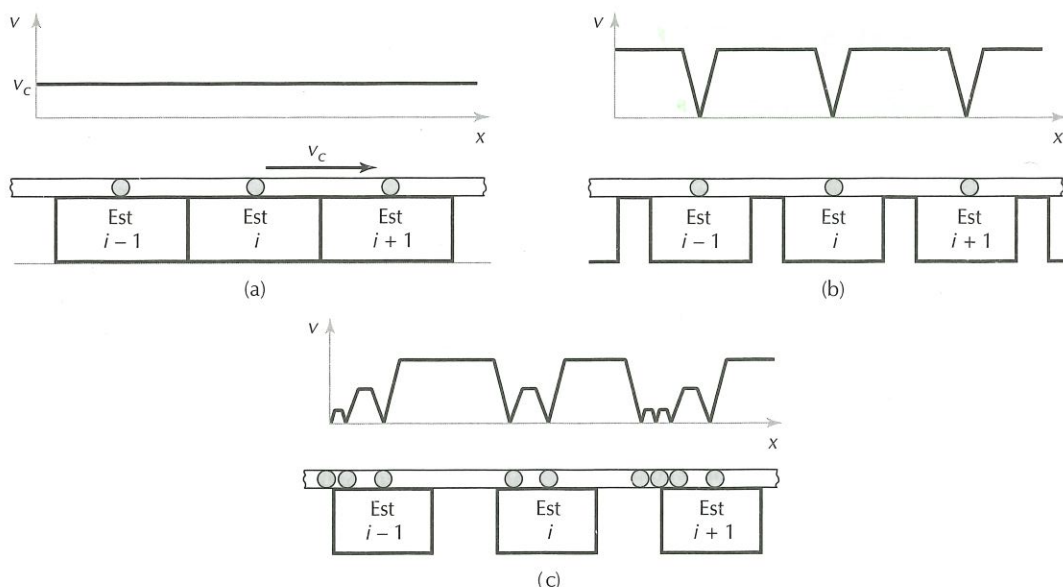
Um sistema de transporte contínuo usa um transportador que se move continuamente e opera em velocidade constante, como na Figura 15.2(a). Esse método é comum nas linhas de montagem manuais. O transportador normalmente percorre toda a extensão da linha. Entretanto, se a

linha for muito longa, como no caso de uma montadora de automóveis, ela é dividida em segmentos com um transportador para cada.

O transporte contínuo pode ser implementado de duas maneiras: (1) os itens são fixados no transportador e (2) os itens são removíveis do transportador. No primeiro caso, o produto é grande e pesado (por exemplo, máquina de lavar) e não pode ser removido do transportador. O trabalhador, portanto, precisa caminhar junto com o produto na velocidade do transportador a fim de realizar a tarefa necessária.

No caso em que as unidades de trabalho são pequenas e leves, elas podem ser removidas do transportador para a conveniência física do operador em cada estação. Outra conveniência para o trabalhador é que a tarefa atribuída à estação não precisa ser concluída dentro de um tempo de ciclo fixo. Cada trabalhador tem flexibilidade para lidar com problemas técnicos que podem ocorrer em determinado item. Entretanto, em média, cada trabalhador precisa manter velocidade de produção igual à do restante da linha. Caso contrário, a linha produzirá unidades incompletas, o que ocorre quando peças que deveriam ser acrescentadas em uma estação não o são devido ao trabalhador não dispor do tempo necessário.

Figura 15.2 Diagrama velocidade versus distância e layout físico para três tipos de sistemas de transporte mecanizado utilizados nas linhas de produção: (a) transporte contínuo, (b) transporte síncrono e (c) transporte assíncrono



Legenda: v é a velocidade, v_c é a velocidade constante do transportador, x é a distância na direção do transportador, Est é a estação de trabalho, i é o identificador da estação de trabalho.

Tabela 15.3 Equipamento de manuseio de material usado para obter os três tipos de transporte de itens de roteamento fixo descritos na Figura 15.2

Sistema de transporte de trabalho	Equipamento de manuseio de material (referência de texto)
Transporte contínuo	Transportador aéreo (Seção 10.2.4) Transportador de esteira (Seção 10.2.4) Transportador de roletes (Seção 10.2.4) Transportador de corrente (Seção 10.2.4)
Transporte síncrono	Equipamento de transporte de soleira caminhante (Seção 16.1.2) Mecanismo rotativo de indexação (Seção 16.1.2)
Transporte assíncrono	Transportador aéreo motorizado e livre (Seção 10.2.4) Transportador de carro em trilho (Seção 10.2.4) Transportadores de roletes acionados (Seção 10.2.4) Sistema de veículo guiado automaticamente (Seção 10.2.2) Sistema monovia (Seção 10.2.3) Sistema em carrossel conduzido por corrente (Seção 11.3.2)

Em *sistemas de transporte síncronos*, todos os itens trabalhados são movidos simultaneamente entre as estações com um movimento rápido e descontínuo e, então, posicionados em suas respectivas estações. Representado na Figura 15.2(b), esse tipo de sistema também é conhecido como *transporte intermitente*, que descreve o movimento experimentado pelos itens. O transporte síncrono não é comum nas linhas manuais devido à necessidade de a tarefa ser concluída dentro de certo limite de tempo. Isso pode causar estresse indevido nos montadores e resultar em produtos incompletos. Apesar de suas desvantagens para as linhas de montagem manuais, o transporte síncrono normalmente é ideal para linhas de produção automatizadas, nas quais estações de trabalho mecanizadas operam em um tempo de ciclo constante.

Em um *sistema de transporte assíncrono*, um item sai de uma determinada estação quando a tarefa necessária foi completada e o *trabalhador libera a unidade*. Os itens se movem independentemente, em vez de sincronamente. Em qualquer momento, algumas unidades estão se movendo entre estações de trabalho enquanto outras estão posicionadas em estações, como na Figura 15.2(c). Com os sistemas de transporte assíncronos, a formação de pequenas filas de itens é permitida em frente a cada estação. Esse sistema tende a proibir variações nos tempos de tarefa dos trabalhadores.

15.1.3 Ritmo da linha

Uma linha de montagem manual opera em um determinado tempo de ciclo estabelecido para obter a velocidade de produção necessária da linha. Explicamos como esse tempo de ciclo é determinado na Seção 15.2. Em média, cada trabalhador precisa completar sua tarefa em sua estação dentro do tempo de ciclo ou a velocidade

de produção necessária não será atingida. Esse ritmo (ou andamento) dos trabalhadores é uma das razões por que uma linha de montagem manual é bem-sucedida. O ritmo permite uma disciplina para os trabalhadores da linha de montagem que mais ou menos garante velocidade de produção. Do ponto de vista da administração, isso é desejável.

As linhas de montagem manuais podem ser projetadas com três níveis de andamento alternativos: (1) andamento rígido, (2) andamento com margem e (3) sem andamento. No *andamento rígido*, cada trabalhador tem um tempo fixo em cada ciclo para completar sua tarefa. O tempo permitido é implementado por um sistema de transporte de trabalho síncrono e (normalmente) é igual ao tempo de ciclo da linha. O andamento rígido possui dois aspectos indesejáveis, como mencionado acima. Primeiro, ele é emocional e fisicamente estressante para os trabalhadores humanos. Embora algum nível de estresse possa conduzir a um maior desempenho humano, um andamento rápido em uma linha de montagem em um turno de oito horas inteiras (ou mais) pode ter efeitos danosos sobre os trabalhadores. Segundo, em uma operação com andamento rígido, se a tarefa não tiver sido concluída dentro do tempo de ciclo fixado, o item trabalhado sai incompleto da estação. Isso pode inibir a conclusão de tarefas subsequentes nas próximas estações. Quaisquer tarefas deixadas incompletas no item nas estações de trabalho regulares precisam ser concluídas por algum outro trabalhador a fim de produzir um produto aceitável.

No *andamento com margem*, o trabalhador tem permissão de completar a tarefa na estação dentro de uma faixa de tempo especificada. O tempo máximo da faixa é maior que o tempo de ciclo, de modo que um trabalhador pode levar mais tempo se ocorrer um pro-

blema ou se o tempo de tarefa necessário para um item específico for maior que a média (isso ocorre quando tipos de produto diferentes são produzidos na mesma linha de montagem). Existem várias maneiras de o andamento com margem ser obtido: (1) permitindo a formação de filas de itens que serão trabalhados entre as estações, (2) projetando a linha de modo que o tempo que um item leva dentro de cada estação seja maior que o tempo de ciclo e (3) permitindo que o trabalhador se mova para além dos limites de sua própria estação. No método (1), implementado por meio do uso de um sistema de transporte assíncrono, os itens podem formar filas na frente de cada estação, garantindo assim que os trabalhadores nunca estejam ociosos e fornecendo tempo extra para alguns itens enquanto outros levam menos tempo. O método (2) se aplica a linhas em que os itens são fixados em um transportador em movimento contínuo e não podem ser removidas. Como a velocidade do transportador é constante quando o comprimento da estação é maior do que a distância necessária para que o trabalhador complete a sua tarefa, o tempo gasto pelo item dentro dos limites da estação (chamado de 'tempo de tolerância') é maior do que o tempo de ciclo. No método (3), o trabalhador pode retroceder além da estação atual para iniciar prematuramente no próximo item ou avançar além do limite da estação atual para terminar a sua tarefa no item atual. Em qualquer caso, normalmente existem limites práticos sobre o quanto o trabalhador pode se mover para trás ou para adiante na linha de montagem, o que é considerado um caso de andamento com margem. Os termos *permissão de volta* ou *permissão de avanço* algumas vezes são usados para designar esses limites no movimento. Em todos esses métodos, uma vez que o trabalhador mantenha um andamento médio que corresponda ao tempo de ciclo, a velocidade de ciclo necessária na linha será atingida.

O terceiro nível de andamento é *sem andamento*, significando que não existe qualquer limite de tempo dentro do qual a tarefa na estação precisa ser concluída. Na verdade, cada operador de montagem trabalha em seu próprio ritmo. Este caso pode ocorrer quando (1) é usado o transporte manual de itens na linha, (2) itens podem ser removidos do transportador, permitindo que o trabalhador leve o tempo que precisar para completar sua tarefa ou (3) um transportador assíncrono é usado e o trabalhador controla a liberação de cada item de sua estação. Em cada um desses casos, não existe meio mecânico de obter disciplina de andamento na linha. Para atingir a velocidade de produção necessária, os trabalhadores são motivados a obter um determinado andamento por sua própria ética de trabalho coletivo ou por um sistema de incentivo promovido pela empresa.

15.1.4 Lidando com a variedade do produto

Possuindo a versatilidade dos trabalhadores humanos, as linhas de montagem manuais podem ser projetadas para lidar com diferentes produtos montados. Em geral, a variedade de produto precisa ser relativamente pequena (Seção 2.3). Três tipos de linha de montagem podem ser distinguidas: (1) modelo único, (2) modelo em lote e (3) modelo misto.

Uma *linha de modelo único* produz apenas um produto, em grandes quantidades. Como cada item é idêntico, a tarefa realizada em cada estação é a mesma para todos os produtos. Esse tipo de linha destina-se a produtos com alta demanda.

As linhas de modelo em lote e de modelo misto são projetadas para produzir dois ou mais modelos, mas diferentes abordagens são usadas para lidar com as variações. Uma *linha de modelo em lote* produz cada modelo em lotes. As estações de trabalho são configuradas para produzir a quantidade necessária do primeiro modelo; em seguida, são reconfiguradas para produzir o próximo modelo, e assim por diante. Os produtos, muitas vezes, são montados em lotes, quando a demanda para cada produto é média. Em geral, é mais econômico usar uma linha de montagem para a produção de diversos produtos em lotes do que construir uma linha separada para cada modelo diferente.

Quando dizemos que as estações de trabalho são configuradas, estamos nos referindo à atribuição de tarefas a cada estação na linha, incluindo as ferramentas especiais necessárias para executar as tarefas e o *layout* físico da estação. Os modelos fabricados na linha geralmente são semelhantes e as tarefas para fabricá-los são, portanto, também semelhantes. No entanto, como existem diferenças entre os modelos, uma sequência de tarefas diferente em geral é necessária e as ferramentas utilizadas em uma determinada estação de trabalho para o último modelo podem não ser as mesmas que as exigidas para o próximo modelo. Um modelo pode levar mais tempo total do que o outro, exigindo que a linha seja operada em um ritmo mais lento. Um outro treinamento do trabalhador ou novos equipamentos podem ser necessários para produzir cada modelo. Por esses motivos, as mudanças na configuração da estação precisam ser feitas antes que a produção do próximo modelo possa começar. Essas alterações resultam em tempo de produção perdido em uma linha de modelo em lote.

Uma *linha de modelo misto* também produz mais de um modelo; entretanto, os modelos não são produzidos em lotes. Em vez disso, são fabricados simultaneamente. Enquanto uma estação está trabalhando em um modelo, a

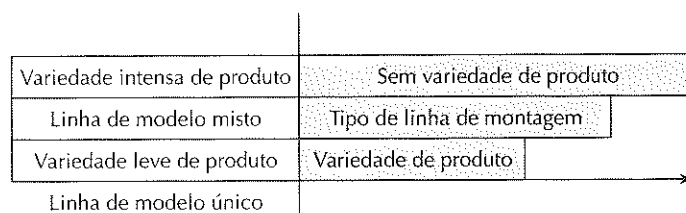
próxima estação está processando um modelo diferente. Cada estação é equipada para realizar as várias tarefas necessárias para produzir qualquer modelo que passe por ela. Muitos produtos de consumo são montados em linhas de modelo misto. São exemplos: automóveis e grandes aparelhos, caracterizados por variações de modelo, diferenças nas opções disponíveis e até mesmo diferenças de marca, em alguns casos.

Entre as vantagens de uma linha de modelo misto sobre uma linha de modelo em lote podemos citar: (1) nenhum tempo de produção é perdido na transição entre modelos, (2) a ausência dos estoques elevados típicos da produção em lote e (3) a capacidade de alterar as velocidades

de produção de diferentes modelos quando a demanda do produto mudar. Por outro lado, o problema de atribuir tarefas às estações de trabalho de modo que todas compartilhem uma carga de trabalho igual é mais complexo em uma linha de modelo misto. A programação (determinação da sequência de modelos) e a logística (levar as peças certas para cada estação de trabalho para o modelo presente na estação) são mais difíceis nesse tipo de linha. E, em geral, uma linha de modelo em lote pode acomodar maiores variações nas configurações do modelo.

Como síntese dessa discussão, a Figura 15.3 indica a posição de cada um dos três tipos de linha de montagem em uma escala de variedade de produto.

Figura 15.3 Três tipos de linha de montagem manual relacionados à variedade de produto



15.2 ANÁLISE DAS LINHAS DE MONTAGEM DE MODELO ÚNICO

As relações desenvolvidas nesta e na próxima seção são aplicáveis às linhas de montagem de modelo único. Com uma pequena modificação, as mesmas relações se aplicam às linhas de modelo em lote. Consideramos as linhas de montagem de modelo misto na Seção 15.4.

A linha de montagem precisa ser projetada para obter uma taxa de produção R_p suficiente para satisfazer à demanda de produto. A demanda de produto normalmente é expressa como uma quantidade anual, que pode ser reduzida a uma taxa horária. A administração deve decidir sobre o número de turnos por semana em que a linha operará e o número de horas por turno. Considerando que a fábrica funciona 50 semanas por ano, a taxa de produção horária necessária é dada por:

$$R_p = \frac{D_a}{50S_w H_{sh}} \quad (15.3)$$

em que R_p é a taxa média de produção horária (unidades/hora); D_a é a demanda anual para o produto único que será fabricado na linha (unidades/ano); S_w é o número de turnos por semana e H_{sh} é o número de horas por turno. Se a linha funcionar 52 semanas em vez de 50, então $R_p = D_a / 52S_w H_{sh}$. Se um período de tempo diferente de um ano for usado para a demanda do produto, então a equação pode ser ajustada

usando unidades de tempo consistentes no numerador e denominador.

Essa taxa de produção precisa ser convertida para um tempo de ciclo T_c , que é o intervalo de tempo em que a linha será operada. O tempo de ciclo precisa levar em consideração a realidade de que algum tempo de produção será perdido devido a falhas de equipamento ocasionais, interrupções de energia, falta de certos componentes necessários na montagem, problemas de qualidade, problemas trabalhistas e outras razões. Como consequência dessas perdas, a linha estará em plena operação apenas pelo tempo do turno total; essa proporção de tempo ativo é chamada de *eficiência de linha*. O tempo de ciclo pode ser determinado como:

$$T_c = \frac{60E}{R_p} \quad (15.4)$$

em que T_c é o tempo de ciclo da linha, R_p é a taxa de produção exigida, como determinado pela Equação (15.3) (unidades/hora); a constante 60 converte a taxa de produção horária em um tempo de ciclo em minutos; e E é a eficiência da linha. Os valores comuns de E para uma linha de montagem manual estão na faixa de 0,9 a 0,98. O tempo de ciclo T_c estabelece a taxa de ciclo ideal para a linha:

$$R_c = \frac{60}{T_c} \quad (15.5)$$