

# Sistemas de transporte de materiais

## CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- 10.1 Introdução ao manuseio de materiais
  - 10.1.1 Equipamentos de manuseio de materiais
  - 10.1.2 Considerações sobre o projeto no manuseio de materiais
- 10.2 Equipamentos de transporte de materiais
  - 10.2.1 Veículos industriais
  - 10.2.2 Veículos guiados automaticamente
  - 10.2.3 Monovia e outros veículos guiados por trilhos
  - 10.2.4 Transportadores
  - 10.2.5 Guindastes e guinchos
- 10.3 Análise de sistemas de transporte de materiais
  - 10.3.1 Análise de sistemas baseados em veículos
  - 10.3.2 Análise de transportadores

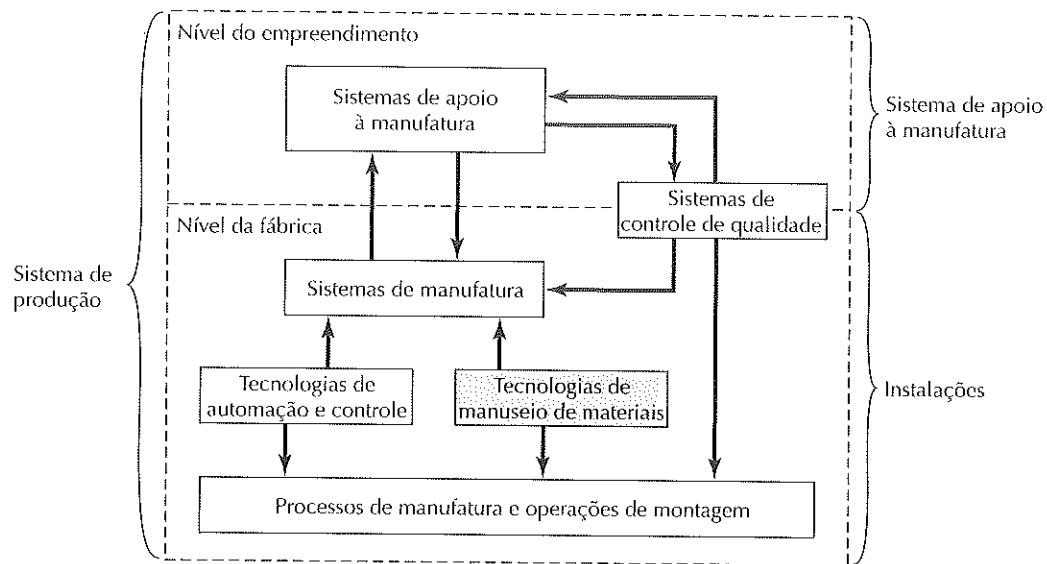
O *manuseio de materiais* é definido pela Material Handling Industry of America (MHIA)<sup>1</sup> como “o deslocamento, o armazenamento, a proteção e o controle de materiais por meio dos processos de manufatura e distribuição, incluindo seu consumo e manejo” [10]. O manuseio de materiais deve ser realizado a um custo baixo, de maneira segura, eficiente, pontual, precisa (os materiais certos nas quantidades certas para os locais certos) e sem danos aos materiais. O manuseio de materiais é uma questão importante, no entanto, muitas vezes descuidada no processo de produção. O custo do manuseio é uma porção significativa do custo de produção total. Estimativas giram em torno de

20 a 25 por cento do custo de mão de obra de manufatura total nos Estados Unidos [3]. A proporção do custo total varia de acordo com o tipo de produção e o grau de automação na função de manuseio de materiais.

Nesta parte do livro, discutimos o manuseio de materiais e os sistemas de identificação utilizados na produção. A posição do manuseio de materiais no sistema de produção maior é mostrada na Figura 10.1. Em nossa abordagem, dividimos o assunto em três categorias principais: (1) sistemas de transporte de materiais, discutido neste capítulo, (2) sistemas de armazenamento, descritos no Capítulo 11, e (3) sistemas de rastreamento e identificação automática, apresentados no Capítulo 12. Além disso, vários tipos de dispositivos de manuseio de materiais são discutidos nos outros capítulos do texto, incluindo robôs industriais utilizados para manuseio de materiais (Capítulo 8), transporte de paletes em centros de usinagem

<sup>1</sup> A Material Handling Industry of America (MHIA) é a associação mercantil para empresas de manuseio de materiais que realizam negócios na América do Norte. A definição é publicada em seu relatório anual a cada ano [10].

Figura 10.1 Manuseio de materiais no sistema de produção



CN (Capítulo 14), transportadores em linhas de montagem manuais (Capítulo 15), mecanismos de transferência em linhas automatizadas (Capítulo 16) e dispositivos de alimentação de peças em montagem automatizada (Capítulo 17).

## 10.1 INTRODUÇÃO AO MANUSEIO DE MATERIAIS

O manuseio de materiais é uma atividade importante dentro de um sistema maior, por meio da qual materiais são movidos, armazenados e rastreados em infraestruturas comerciais. O termo comumente utilizado para o sistema maior é *logística*, que diz respeito à aquisição, ao deslocamento, ao armazenamento e à distribuição de materiais e produtos, assim como ao planejamento e ao controle dessas operações a fim de satisfazer a demanda dos clientes. Operações de logística podem ser divididas em duas categorias básicas: logística externa e logística interna. A *logística externa* diz respeito ao transporte e às atividades relacionadas que ocorrem fora de uma instalação. Em geral, essas atividades envolvem o deslocamento de materiais entre diferentes localizações geográficas. Os cinco modos tradicionais de transporte são ferroviário, rodoviário, aéreo, naval e por dutos. A *logística interna*, popularmente conhecida como manuseio de materiais, envolve deslocamento e armazenamento de materiais dentro de uma determinada instalação. Nosso interesse neste livro está na logística interna. Nesta seção, primeiro descrevemos vários tipos de equipamentos utilizados no manuseio de materiais e, então, identificamos algumas das conside-

rações exigidas no projeto de sistemas de manuseio de materiais.

### 10.1.1 Equipamentos de manuseio de materiais

Uma grande variedade de equipamentos de manuseio de materiais está disponível comercialmente. O equipamento pode ser classificado em quatro categorias: (1) equipamento de transporte de materiais, (2) sistemas de armazenamento, (3) equipamentos de unitização e (4) sistemas de identificação e rastreamento.

**Equipamentos de transporte de materiais.** São utilizados para deslocar materiais dentro de uma fábrica, um armazém ou outra instalação. Os cinco tipos principais de equipamentos são: (1) veículos industriais, (2) veículos guiados automaticamente, (3) veículos guiados por trilhos, (4) transportadores e (5) guindastes e guinchos. Todos são descritos na Seção 10.2.

**Sistemas de armazenamento.** Apesar de ser geralmente desejável reduzir o armazenamento de materiais em manufatura, parece inevitável que matérias-primas e trabalhos em andamento passem algum tempo armazenados, mesmo temporariamente. Da mesma forma, produtos acabados provavelmente passarão algum tempo em um armazém ou centro de distribuição antes de ser entregues para o cliente. Normalmente, empresas têm de dar atenção aos métodos mais apropriados para armazenar materiais e produtos antes, durante e após a manufatura. Métodos e equipamentos de

armazenamento podem ser classificados em duas categorias principais: (1) métodos convencionais de armazenamento e (2) sistemas automatizados de armazenamento. Métodos convencionais de armazenamento incluem armazenamento de grande capacidade (armazenar itens em uma área de piso aberto), sistemas de estantes, prateleiras e escaninhos, e armazenamento em gavetas. Em geral, métodos de armazenamento convencionais exigem mão de obra intensiva. Trabalhadores armazenam materiais e os retiram do armazenamento. Sistemas de armazenamento automatizados são projetados para reduzir ou eliminar a mão de obra manual envolvida nessas funções. Existem dois tipos principais de sistemas de armazenamento automatizado: (1) sistemas de armazenamento e recuperação automatizados e (2) sistemas a carrossel. Estes métodos de armazenamento são descritos com mais detalhes no Capítulo 11. Além disso, modelos matemáticos são desenvolvidos para prever a produtividade e outras características de desempenho de sistemas de armazenamento automatizados.

**Equipamento de unitização.** O termo refere-se a (1) contêineres utilizados para itens individuais durante o manuseio e (2) equipamentos utilizados para carregar e acondicionar os contêineres. Contêineres incluem paletes, caixas, cestas, barris, caçambas e tambores, alguns dos quais são mostrados na Figura 10.2. Apesar de aparentemente comuns, são muito importantes para deslocar materiais eficientemente como unidade de carga, em vez de como itens individuais. Paletes e outros contêineres que podem ser manuseados por equipamentos de empilhadeiras são amplamente utilizados em operações de produção e distribuição. A maioria das fábricas, armazéns e centros de distribuição utilizam empilhadeiras para mover cargas unitárias em paletes. Algumas ve-

zes determinada instalação tem de padronizar um tipo e tamanho específico de contêiner se utilizar transporte automático e/ou equipamento de armazenamento para manusear as cargas.

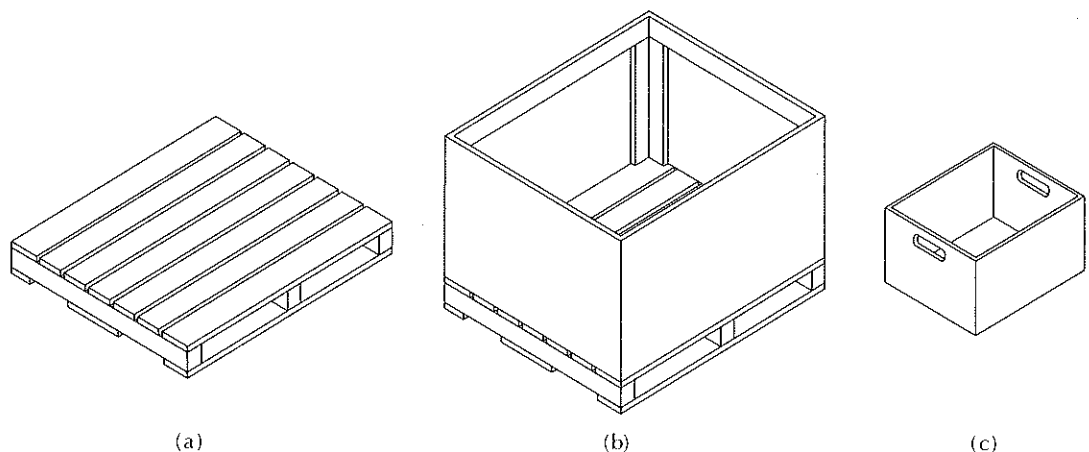
A segunda categoria de equipamentos de unitização, carregamento e acondicionamento inclui *paletizadores*, projetados para carregar automaticamente caixas de papelão em paletes e as embrulhar com película plástica para envio, e *despaletizadores*, projetados para descarregar caixas de papelão de paletes. Outras máquinas de embrulho e empacotamento também são incluídas nessa categoria de equipamentos.

**Sistemas de identificação e rastreamento.** O manuseio de materiais tem de incluir um meio de rastrear materiais sendo movidos ou armazenados. Normalmente isso é feito fixando algum tipo de rótulo ao item, uma caixa de papelão ou uma carga unitária que o identifique de maneira única. O rótulo mais comum utilizado hoje em dia é um código de barra que pode ser lido rápida e automaticamente por leitores de códigos de barras. Essa é a mesma tecnologia básica utilizada por supermercados e varejistas. Uma tecnologia de identificação alternativa que está crescendo em importância é a identificação por radiofrequência (do inglês, *radio frequency identification device* — RFID). Códigos de barra, RFID e outras técnicas de identificação automáticas são discutidos no Capítulo 12.

### 10.1.2 Considerações sobre o projeto no manuseio de materiais

Equipamentos de manuseio de materiais são normalmente reunidos em um sistema. O sistema tem de ser espe-

Figura 10.2 Exemplos de contêineres de carga unitária para manuseio de materiais: (a) palete de madeira, (b) caixa de palete e (c) caixa de manuseio



cificado e configurado para satisfazer as exigências de uma aplicação em particular. O projeto do sistema depende dos materiais que serão manipulados, das quantidades e das distâncias que serão deslocadas, do tipo de instalação de produção servida pelo sistema de manuseio e de outros fatores, incluindo o orçamento disponível. Nesta seção, consideramos esses fatores que influenciam o projeto do sistema de manuseio de materiais.

**Características dos materiais.** Para fins de manuseio, materiais podem ser classificados pelas característi-

cas físicas apresentadas na Tabela 10.1, sugerida pelo esquema de classificação de Muther e Haganas [16]. O projeto do sistema de manuseio de materiais deve levar em conta esses fatores. Por exemplo, se o material é líquido e deve ser deslocado nesse estado através de longas distâncias em grandes volumes, então o duto é o meio de transporte apropriado. Mas esse método de manuseio seria impraticável para deslocar um líquido contido em barris ou outros contêineres. Materiais em uma fábrica normalmente consistem de itens sólidos: matérias-primas, peças e produtos acabados ou semiacabados.

Tabela 10.1 Características de materiais no manuseio de materiais

Categoria	Medidas ou descrições
Estado físico	Sólido, líquido ou gasoso
Tamanho	Volume, comprimento, largura, altura
Peso	Peso por peça, peso por unidade de volume
Formato	Longo e plano, redondo, quadrado etc.
Condição	Quente, frio, molhado, sujo, pegajoso
Risco de dano	Frágil, quebradiço, resistente
Risco de segurança	Explosivo, inflamável, tóxico, corrosivo etc.

**Vazão, roteamento e agendamento.** Além das características dos materiais, ao se determinar qual tipo de equipamento é mais apropriado para a aplicação, outros fatores devem ser considerados, como: (1) quantidades e vazões dos materiais que serão deslocados, (2) fatores de roteamento e (3) agendamento dos deslocamentos.

O montante ou a quantidade de material que será deslocado afeta o tipo de sistema de manuseio que deve ser instalado. Se grandes quantidades de material devem ser manuseadas, então um sistema de manuseio específico é apropriado. Se a quantidade de um tipo de material em particular é pequena, mas muitos tipos diferentes de materiais serão deslocados, então o sistema de manuseio deve ser projetado para ser comparilhado entre os vários materiais deslocados. O montante de material deslocado deve ser considerado no contexto do tempo, isto é, quanto material é deslocado dentro de dado período de tempo. Nós nos referimos ao montante de material movido por unidade de tempo como *vazão*. Dependendo da forma do material, a vazão é medida em peças/hora, cargas de paletes/hora, toneladas/hora, pés<sup>3</sup>/dia ou unidades similares. Se o material deve ser deslocado como unidades individuais, em lotes, ou continuamente tem um efeito sobre a seleção do método de manuseio.

Fatores de roteamento incluem locais de busca e entrega, distâncias de deslocamento, variações de rota e con-

dições que existem ao longo das rotas. Levando-se em consideração que outros fatores permanecem constantes, o custo de manuseio é diretamente relacionado à distância do deslocamento: quanto mais longa a distância de deslocamento, maior o custo. Variações de rotas ocorrem porque diferentes materiais seguem diferentes padrões de fluxo na fábrica ou no armazém. Se essas diferenças existem, o sistema de manuseio de materiais tem de ser flexível o suficiente para lidar com elas. Condições ao longo da rota incluem a condição da superfície do piso, o congestionamento de tráfego, se uma porção do deslocamento é ao ar livre, se o percurso é em linha reta ou envolve curvas e mudanças em elevação e a presença ou ausência de pessoas ao longo do percurso. Esses fatores afetam o projeto do sistema de transporte de materiais.

O agendamento diz respeito ao tempo ou instante de cada entrega individual. Na produção, assim como em muitas outras aplicações de manuseio de materiais, o material deve ser pego e entregue prontamente em seu destino apropriado para manter um alto desempenho e eficiência do sistema como um todo. Na medida exigida pela aplicação, o sistema de manuseio tem de ser sensível a essa necessidade para busca e entrega oportuna dos itens. Trabalhos em que há pressa para entrega aumentam o custo de manuseio de materiais. Normalmente o agen-

damento de urgência é minimizado ao se proporcionar espaço para estoques de armazenamento de materiais em pontos de busca e entrega. Isso permite que exista “flutuação” de materiais no sistema, reduzindo desse modo a pressão sobre o sistema de manuseio para resposta imediata a um pedido de entrega.

**Layout da instalação.** O *layout* das instalações é fator importante no projeto de um sistema de manuseio de materiais. Quando uma nova instalação está sendo planejada, o projeto do sistema de manuseio deve ser considerado parte do *layout*. Dessa maneira, há uma maior oportunidade de se criar um *layout* que otimize o fluxo de materiais no prédio e utilize o tipo mais apropriado de sistema de manuseio. No caso de uma instalação existente, há mais restrições no projeto do sistema de manuseio. O arranjo presente dos departamentos e equipamentos no prédio normalmente limita a obtenção de padrões de vazão otimizados.

O projeto do *layout* da planta deve fornecer os seguintes dados para uso no projeto do sistema de manuseio: área total da instalação e áreas dentro de departamentos específicos na planta, localizações relativas dos departamentos, arranjo do equipamento no *layout*, localizações onde os materiais devem ser buscados (estações de carga) e entregues (estações de descarga), possíveis rotas entre essas localizações e distâncias percorridas. Cada fator afeta os padrões de vazão e escolha dos equipamentos de manuseio de materiais.

Na Seção 2.3, descrevemos tipos convencionais de *layout* de plantas utilizados na manufatura: (1) *layout* de processo, (2) *layout* de produto e (3) *layout* de posição fixa. Sistemas diferentes de manuseio de materiais são geralmente necessários para os três tipos de *layout*. A Tabela 10.2 resume as características dos três tipos de *layouts* convencionais e os modelos de equipamentos de manuseio de materiais normalmente associados a cada tipo de *layout*.

Em *layouts* de processo, vários produtos diferentes são manufaturados em tamanhos de lotes pequenos ou médios. O sistema de manuseio tem de ser flexível para lidar com as variações. Um volume considerável de trabalho em andamento é normalmente uma das características da produção em lotes, e o sistema de manuseio de materiais tem de ser capaz de acomodar esse inventário. Carrinhos de mão e empilhadeiras (para mover paletes carregados com peças) são comumente utilizados em *layouts* de processo. Aplicações de sistemas de veículos guiados automaticamente estão crescendo em fábricas porque representam um meio versátil de manusear as diferentes configurações de cargas em volumes de produção médios e baixos. Normalmente o trabalho em andamento é estocado no piso da

fábrica perto das próximas máquinas programadas. Maneiras mais sistemáticas de se gerenciar um estoque em andamento incluem sistemas de armazenamento automatizados (Seção 11.3).

Um *layout* de produto envolve produção de tipos-padrão ou quase idênticos de produtos em quantidades relativamente altas. Plantas de montagem finais para carros, caminhões e utensílios são normalmente projetadas como *layouts* de produtos. O sistema de transporte que move o produto é tipicamente caracterizado como rota fixa, mecanizada e capaz de grandes vazões. Às vezes serve como uma área de armazenamento para o trabalho em andamento para reduzir os efeitos de tempo improdutivo entre as áreas de produção ao longo da linha de fluxo de produtos. Sistemas de transporte são comuns em *layouts* de produtos. A entrega dos componentes para as várias estações de trabalho de montagem ao longo do percurso é conseguida por meio de caminhões e veículos de carga similares.

Finalmente, em um *layout* de posição fixa, o produto é grande e pesado e, portanto, permanece em uma única localização durante a maior parte de sua fabricação. Os componentes pesados e as submontagens devem ser deslocados para o produto. Os sistemas de manuseio utilizados para esses deslocamentos em *layouts* de posição fixa são grandes e muitas vezes móveis. Guindastes, guinchos e caminhões são comuns nessa situação.

**Princípio da unidade de carga.** O princípio da unidade de carga se coloca como um princípio aplicado importante e amplamente utilizado no manuseio de materiais. Uma *unidade de carga* é simplesmente a massa que tem de ser deslocada ou, de outra maneira, manuseada em determinado momento. A unidade de carga pode consistir de apenas uma peça, um contêiner carregado com múltiplas peças ou um palete carregado com múltiplos contêineres de cargas. Em geral, a unidade de carga deve ser projetada para ser tão grande quanto for prático para o sistema de manuseio de materiais que vai deslocá-la ou armazená-la, sujeita a considerações de segurança, conveniência e acesso aos materiais que formam a unidade de carga. Esse princípio é amplamente aplicado às indústrias naval, ferroviária e rodoviária. Unidades de carga paletizadas são reunidas em cargas de caminhões, as quais se tornam unidades de carga maiores em si. Então, essas cargas de caminhão são agregadas mais uma vez em trens de carga ou navios, tornando-se, na realidade, unidades de carga ainda maiores.

Há boas razões para se utilizar unidades de carga no manuseio de cargas, como descrito em Tompkins *et al.* [17]: (1) múltiplos itens podem ser manuseados simulta-

neamente, (2) o número de viagens é reduzido, (3) os tempos de carga e descarga são reduzidos e (4) o dano aos produtos é diminuído. A utilização de unidades de carga resulta em custo mais baixo e eficiência operacional mais alta.

Incluído na definição de unidade de carga está o contêiner que armazena ou dá suporte aos materiais que serão deslocados. Na medida do possível, esses contêineres são padronizados em tamanho e configuração para haver compatibilidade com o sistema de manuseio de materiais. Exemplos de contêineres utilizados para for-

mar unidades de carga em manuseio de materiais são ilustrados na Figura 10.2. Dos contêineres disponíveis, paletes são provavelmente os mais amplamente utilizados, devido à versatilidade, ao baixo custo e à compatibilidade com vários tipos de equipamentos de manuseio de materiais. A maioria das instalações e armazéns utiliza empilhadeiras para deslocar materiais em paletes. A Tabela 10.3 lista alguns dos tamanhos-padrão mais populares atualmente em uso, os quais utilizamos em algumas de nossas análises de sistemas automatizados de armazenamento/recuperação no Capítulo 11.

**Tabela 10.2 Tipos de equipamentos de manuseio de materiais associados com três tipos de layouts**

Tipo de layout	Características	Equipamentos típicos de manuseio de materiais
Processo	Variações em produto e processamento, taxas de produção baixas e médias	Carrinhos de mão, empilhadeiras, sistemas de veículos guiados automaticamente
Produto	Variedade de produtos limitada, alta taxa de produção	Transportadores para vazão de produtos, carros industriais e veículos guiados automaticamente para entrega de componentes nas estações
Posição fixa	Tamanho grande de produtos, baixa taxa de produção	Guindastes, guinchos e carros industriais

**Tabela 10.3 Tamanhos-padrão de paletes comumente utilizados em fábricas e armazéns**

Profundidade = Dimensão x	Largura = Dimensão y
800 mm (32 pol)	1.000 mm (40 pol)
900 mm (36 pol)	1.200 mm (48 pol)
1.000 mm (40 pol)	1.200 mm (48 pol)
1.060 mm (42 pol)	1.060 mm (42 pol)
1.200 mm (48 pol)	1.200 mm (48 pol)

Fontes: [6], [17].

## 10.2 EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE DE MATERIAIS

Nesta seção, examinamos as cinco categorias de equipamentos de transporte de materiais comumente utilizadas para deslocar peças e outros materiais em instalações de manufatura e de armazenamento: (1) carros industriais, manuais e motorizados; (2) veículos guiados automaticamente; (3) monovia e outros veículos guiados por trilhos; (4) transportadores; (5) guindastes e guinchos. A Tabela 10.4 resume as principais características e os principais tipos de aplicações para cada categoria de equipamento. Na Seção 10.3, consideramos técnicas quantitativas por meio das quais sistemas de

transporte de materiais consistindo desses equipamentos podem ser analisados.

### 10.2.1 Veículos industriais

Carros industriais são divididos em duas categorias: não motorizados e motorizados. Os tipos não motorizados são, normalmente, referidos como carrinhos de mão porque são empurrados ou puxados por trabalhadores. Quantidades de materiais movidas e distâncias deslocadas são relativamente baixas quando esse tipo de equipamento é utilizado para transportar materiais. Carrinhos de mão são classificados como de duas rodas ou de múltiplas rodas. Carrinhos de mão de duas rodas, apresentados na Figura

Figura 10.3 Exemplos de carrinhos industriais não motorizados: (a) carrinho de mão de duas rodas, (b) carretas de quatro rodas e (c) carrinho de palete de baixa elevação operado manualmente

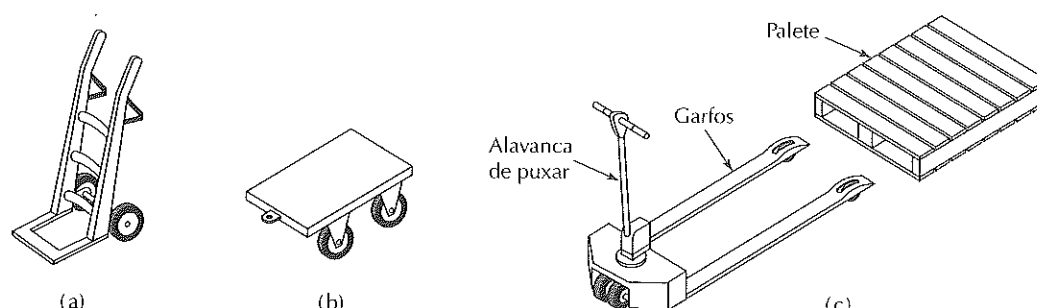


Tabela 10.4 Resumo de características e aplicações de cinco categorias de equipamentos de manuseio de materiais

Equipamentos de manuseio de materiais	Características	Aplicações típicas
Carros industriais, manuais	Baixo custo Baixa taxa de entregas/hora	Deslocamento de cargas leves em uma fábrica
Carros industriais, motorizados	Custo médio	Deslocamento de cargas de paletes e contêineres paletizados em uma fábrica ou um armazém
Sistemas de veículos guiados automaticamente	Alto custo Veículos com propulsão a bateria Roteamento flexível Esteiras não obstruídas	Deslocamento de cargas de paletes em fábricas e armazéns Deslocamento de trabalhos em andamento ao longo de rotas variáveis em produção média e baixa
Monovia e outros veículos guiados por trilhos	Alto custo Roteamento flexível Tipos: sobre o piso e aéreos (teleféricos)	Deslocamento de montagens simples, produtos ou cargas de paletes ao longo de rotas variáveis em fábricas ou armazéns Deslocamento de grandes quantidades de itens através de rotas fixas em fábricas ou armazéns
Transportadores, motorizados	Grande variedade de equipamentos De piso, sobre o piso e aéreo Potência mecânica para mover cargas colocadas na esteira do transportador	Deslocamento de produtos ao longo de uma linha de montagem manual Seleção de itens em um centro de distribuição
Guindastes e guinchos	Capacidades de elevação de mais de cem toneladas	Deslocar itens grandes e pesados em fábricas, engenhos, armazéns etc.

10.3(a), são geralmente mais fáceis de manipular pelo trabalhador, mas são limitados a cargas mais leves. Carrinhos de mão de múltiplas rodas estão disponíveis em vários tipos e tamanhos. Dois tipos comuns são carretas e carrinhos de palete. Carretas são estruturas simples ou plataformas, como mostrado na Figura 10.3(b). Várias configurações de rodas são possíveis, incluindo as fixas e as com suporte giratório. Carrinhos de palete, mostrados na Figura 10.3(c), têm dois garfos que podem ser inseridos através das aberturas em um palete.

Um mecanismo de elevação é acionado pelo trabalhador para elevar e baixar o palete do chão utilizando ro-

das de diâmetro pequeno próximas da extremidade dos garfos. Em operação, o trabalhador insere os garfos no palete, eleva a carga, empurra o carrinho até o destino, baixa o palete e remove os garfos.

Carros motorizados são autopropelidos para assumir a função do trabalhador de deslocar o carro manualmente. Três tipos comuns são utilizados em fábricas e armazéns: (a) carrinhos motorizados (do inglês, *walkie trucks*), (b) empilhadeiras e (c) tratores de reboque. Carrinhos motorizados, como o da Figura 10.4 (a), são veículos com propulsão a bateria, equipados com garfos com rodas para inserção em aberturas de paletes, mas



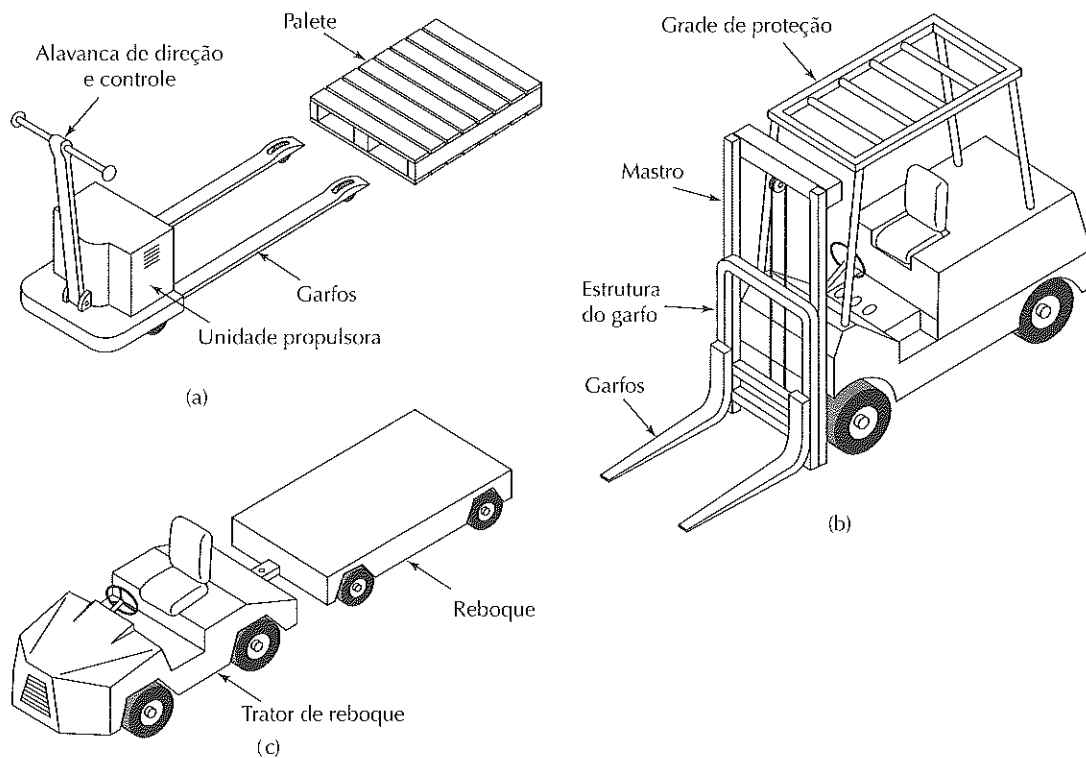
sem provisão para um trabalhador rodar no veículo. O carrinho é dirigido por um trabalhador com controle manual na frente do veículo. A velocidade para frente de um carrinho motorizado é limitada a em torno de 5 km/hora (3 milhas/hora), aproximadamente a velocidade de caminhada normal de uma pessoa.

Empilhadeiras, como mostradas na Figura 10.4(b), são distintas de carrinhos motorizados pela presença de uma modesta cabine para o trabalhador sentar e dirigir o veículo. Empilhadeiras variam em capacidade condutiva de carga de em torno de 450 kg (1.000 libras) até mais de 4.500 kg (10.000 libras). Empilhadeiras foram modificadas e adequadas a várias aplicações. Algumas empilhadeiras têm capacidade de alcance para acessar cargas de paletes em sistemas de prateleiras altas, enquanto outras são capazes de operar em corredores estreitos de alta densidade de

prateleiras de armazenamento. Fontes de propulsão para empilhadeiras são motores de combustão interna (gasolina, gás liquefeito de petróleo ou gás natural comprimido) ou motores elétricos (utilizando baterias a bordo).

Tratores de reboque industriais, como na Figura 10.4 (c), são projetados para puxar um ou mais reboques sobre superfícies relativamente lisas encontradas em fábricas e armazéns. São geralmente utilizados para deslocar grandes quantidades de materiais entre áreas importantes de coleta e distribuição. Os deslocamentos entre os pontos de origem e destino são, em geral, ligeiramente longos. A propulsão é fornecida por motor elétrico (acionado por bateria) ou motor de combustão interna. Tratores de reboque também encontram aplicações significativas em operações de transporte aéreo para mover bagagem e encomendas em aeroportos.

Figura 10.4 Três principais tipos de carros motorizados: (a) carrinho motorizado (do inglês, *walkie truck*), (b) empilhadeira e (c) trator de reboque



### 10.2.2 Veículos guiados automaticamente

Um sistema de veículos guiados automaticamente (do inglês, *automated guided vehicle system* — AGVS) é um sistema de manuseio de materiais que utiliza veículos autopropelidos, independentemente operados ao longo de percursos definidos. Os veículos são impelidos por baterias a bordo que permitem muitas horas de operação (8-16 horas é comum) antes da próxima recarga. Uma caracte-

rística peculiar de um AGVS, comparado a sistemas de veículos guiados por trilhos e à maioria dos sistemas de transporte, é a de que os percursos não têm obstáculos. O uso de um AGVS é apropriado se diferentes materiais precisam ser deslocados de vários pontos de carga para vários pontos de descarga. Um AGVS é, portanto, adequado para automatizar o manuseio de materiais em produção de lotes e produção de modelos mistos.



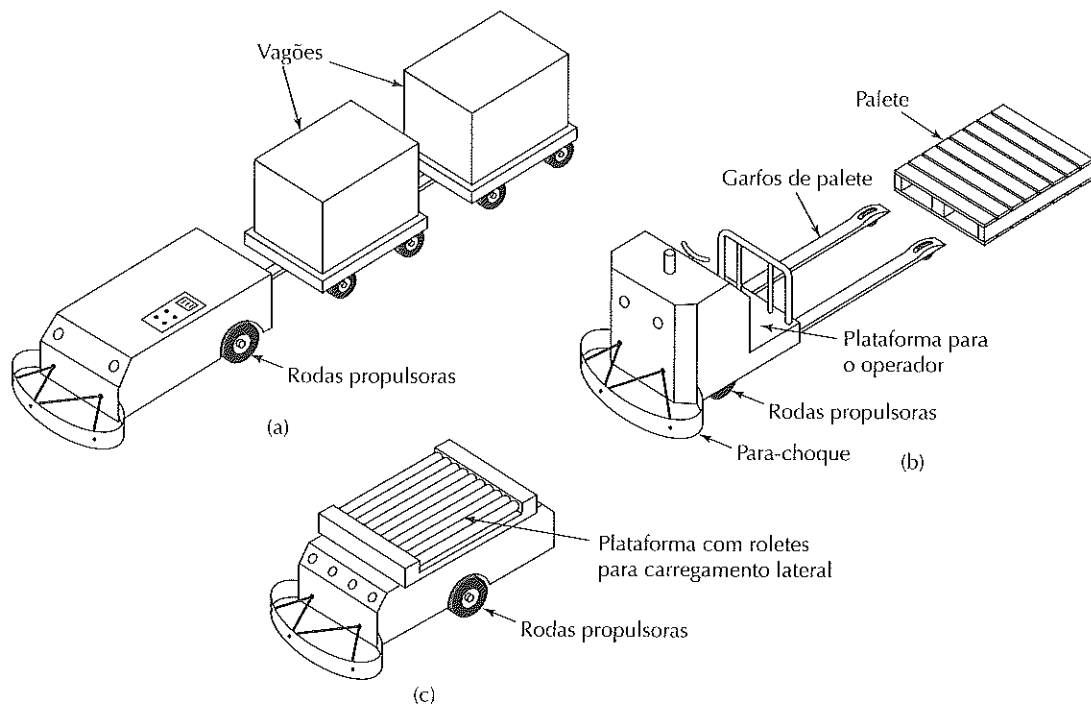
**Tipos de veículos.** Veículos guiados automaticamente podem ser divididos nas seguintes categorias: (1) trens sem condutor, (2) carrinhos de paletes e (3) carregadores de unidades de carga, ilustrados na Figura 10.5. Um trem sem condutor consiste de um veículo (AGV) puxando um ou mais reboques para formar um trem, como na Figura 10.5(a). Foi o primeiro tipo de AGVS a ser introduzido e ainda é amplamente utilizado. Uma aplicação comum é transportar cargas úteis pesadas por longas distâncias em armazéns ou fábricas com ou sem pontos intermediários de busca e entrega ao longo da rota. Para trens consistindo de cinco ou seis reboques, esse é um sistema de transporte eficiente.

Carrinhos de palete guiados automaticamente, Figura 10.5(b), são utilizados para deslocar cargas paletizadas ao longo de rotas predeterminadas. Na aplicação típica, o veículo é dirigido de marcha à ré até o palete carregado por um trabalhador que dirige o carrinho e utiliza seus garfos para elevar a carga ligeiramente. Então o trabalhador dirige o carrinho de palete até a trilha (percurso-guia) e programa o destino, e o veículo desloca-se automaticamente até o destino para ser descarregado. A capacidade de um carrinho de palete AGVS varia até alguns milhares de quilos, e alguns carrinhos são capazes de manusear dois paletes em vez de um. Uma introdução mais recente

relacionada ao carrinho de palete é a empilhadeira AGV. Esse veículo pode alcançar um movimento vertical significativo dos garfos para alcançar cargas em estantes e prateleiras.

Os transportadores unitários de carga AGV são usados para deslocar unidades de carga de uma estação para outra. Normalmente, são equipados para carga e descarga automática de paletes ou caixas de transporte através de roletes motorizados, esteiras rolantes, plataformas de elevação mecanizadas ou outros dispositivos construídos no piso do veículo. Uma unidade de carga AGV típica é ilustrada na Figura 10.5(c). Variações de transportadores unitários de carga incluem AGVs de carga leve e AGVs de linha de montagem. O AGV de carga leve é um veículo relativamente pequeno com capacidade de carga leve (normalmente 250 kg ou menos). Ele não exige a mesma largura grande de corredor que um AGV convencional. Veículos guiados de carga leve são projetados para deslocar cargas pequenas (peças únicas, pequenas cestas ou caixas de peças) por meio de plantas de tamanho limitado engajadas em manufatura leve. Um AGV de linha de montagem é projetado para carregar uma submontagem parcialmente completa, por meio de uma sequência de estações de trabalho de montagem para construir o produto.

Figura 10.5 Três tipos de veículos guiados automaticamente: (a) trem guiado automaticamente sem condutor, (b) AGV de palete e (c) carregador de unidade de carga



**Aplicações de AGVS.** Sistemas de veículos guiados automaticamente são utilizados em número e variedade crescentes de aplicações. As aplicações tendem a correlacionar-se com os tipos de veículos previamente descritos. As principais aplicações dos AGVS em produção e logística são (1) operações de trens sem condutor, (2) armazenamento e distribuição, (3) aplicações de linhas de montagem e (4) sistemas de manufatura flexíveis. Já descrevemos operações de trens sem condutores, as quais envolvem o transporte de grandes quantidades de materiais por distâncias relativamente longas.

Uma segunda aplicação é em operações de armazenamento e distribuição. Transportadores unitários de cargas e carrinhos de paletes são geralmente utilizados nessas aplicações que envolvem deslocamento de materiais em cargas unitárias. Normalmente as aplicações colocam em contato o AGVS com algum outro sistema de armazenamento ou manuseio automatizado, como um sistema de armazenamento/recuperação automatizado (*automated storage/retrieval system* — AS/RS) em um centro de distribuição. O AGVS entrega as cargas unitárias que chegam contidas em paletes do local de recepção para o AS/RS, que coloca os itens em armazenamento e o AS/RS recupera cargas de paletes individuais do armazenamento e as transfere para veículos para entrega para o local de envio. Operações de armazenamento/distribuição também incluem manufatura leve e plantas de montagem nas quais o trabalho em andamento é armazenado em uma área de armazenamento central e distribuído a estações de trabalho individuais para processamento. A montagem de produtos eletrônicos é um exemplo desses tipos de aplicações. Componentes são reunidos em "kits" na área de armazenamento e entregues em caixas de peças ou bandejas para as estações de trabalho de montagem na planta. AGVs de carga leve são veículos apropriados a essas aplicações.

Sistemas de AGV são utilizados em aplicações de linha de montagem, baseados em uma tendência que começou na Europa, na qual transportadores unitários de cargas e veículos guiados de carga leve são utilizados nessas linhas. Na aplicação usual, a taxa de produção é relativamente baixa (o produto gastando, talvez, de quatro a dez minutos por estação) e há vários modelos de produtos diferentes feitos na linha, cada um exigindo um tempo diferente de processamento. Estações de trabalho são geralmente organizadas em paralelo para permitir que a linha lide com diferenças no tempo de ciclo de montagem para diferentes produtos. Entre estações, componentes são reunidos em kits e colocados no veículo para as operações de montagem que serão realizadas na próxima estação. As tarefas de montagem são normalmente realizadas com a unidade de

trabalho a bordo do veículo, evitando, desse modo, o tempo extra exigido para carga e descarga.

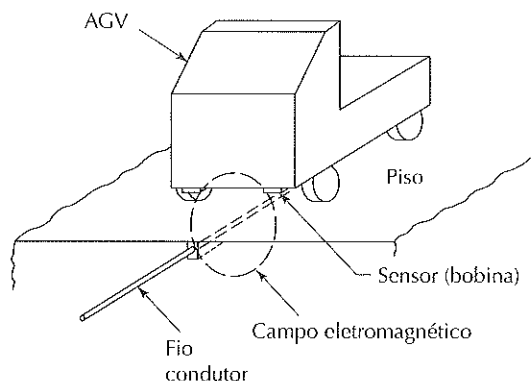
Outra área de aplicação para a tecnologia de AGVS são sistemas de manufatura flexível (do inglês, *flexible manufacturing systems* — FMSs, Capítulo 19). Na operação típica, peças iniciais são colocadas em gabaritos de paletes por trabalhadores em uma área de organização, e os AGVs entregam as peças para as estações de trabalho individuais no sistema. Quando o AGV chega à estação designada, o palete é transferido da plataforma do veículo para a estação (como a mesa de trabalho de uma máquina-ferramenta) para processamento. No término do processamento, um veículo retorna para buscar a peça e transportá-la para a próxima estação designada. Um AGVS proporciona um sistema de manuseio de materiais versátil para complementar a flexibilidade do FMS.

A tecnologia de AGVS ainda está se desenvolvendo e a indústria está continuamente trabalhando para projetar novos sistemas que respondam a novas exigências de aplicação. Um exemplo interessante que combina duas tecnologias envolve o uso de um manipulador robótico montado em um veículo guiado automaticamente para oferecer um robô móvel que realize tarefas de manuseio complexas em várias localizações de uma planta.

**Tecnologia de orientação de veículos.** O sistema de orientação é o método por meio do qual percursos de AGVS são definidos e os veículos são controlados para seguir os percursos. Nesta seção, discutimos três tecnologias utilizadas em sistemas comerciais para orientação de veículos: (1) condutores embutidos, (2) faixas pintadas e (3) veículos guiados automaticamente.

No método dos condutores embutidos, fios elétricos são colocados em um pequeno canal cortado na superfície do piso. O fio condutor normalmente tem largura de três a 12 milímetros (1/8 a 1/2 polegadas) e profundidade de 13 a 26 milímetros (1/2 a uma polegada). Após o fio condutor ser instalado, o canal é preenchido com cimento para eliminar a descontinuidade na superfície do piso. O fio condutor é conectado a um gerador de frequência de um a 15 kHz. Isso produz um campo magnético ao longo do caminho que pode ser seguido por sensores a bordo de cada veículo. A operação de um sistema típico é ilustrada na Figura 10.6. Dois sensores (bobinas) são montados no veículo em cada lado do fio condutor. Quando o veículo está posicionado de tal maneira que o fio condutor está diretamente entre as duas bobinas, a intensidade do campo magnético medida por cada bobina é igual. Se o veículo se afasta para um lado ou para o outro ou se o percurso do fio condutor muda de direção, a intensidade do campo magnético nos dois sensores ficará desigual. Essa diferença é utilizada para controlar

Figura 10.6 Operação de um sistema de sensor a bordo que utiliza duas bobinas para rastrear o campo magnético do fio condutor



o motor de direção, que faz as mudanças necessárias na direção do veículo para igualar os dois sinais dos sensores, seguindo dessa maneira o fio condutor.

Um *layout* de AGVS contém múltiplas voltas, ramificações, desvios e ramais, assim como estações de busca e entrega. A rota mais apropriada deve ser escolhida entre os percursos alternativos disponíveis para um veículo à medida que ele se desloca para um destino específico no sistema. Quando um veículo se aproxima de um ponto de ramificação onde a trilha se divide em dois (ou mais) percursos, ele precisa ter um meio de decidir que percurso escolher. Os dois principais métodos dessa tomada de decisão em sistemas comerciais guiados por fios condutores são: (1) método de seleção por frequência e (2) método de seleção de percurso. No *método de seleção por frequência*, os fios condutores levando aos dois percursos separados no desvio têm frequências diferentes. À medida que o veículo entra no desvio, ele lê um código de identificação no chão para determinar sua localização. Dependendo da destinação programada, ele escolhe a trilha correta seguindo apenas uma das frequências. Esse método exige um gerador de frequência separado para cada frequência utilizada no *layout* da trilha.

O *método de seleção de percurso* opera com frequência única através do *layout* da trilha. Para controlar o percurso de um veículo em um desvio, a energia é cortada em todas as outras ramificações, exceto naquela para a qual o veículo está se deslocando. Para se conseguir o roteamento por meio do método de seleção de percurso, o *layout* da trilha é dividido em blocos eletricamente isolados uns dos outros. Os blocos podem ser ligados ou desligados, seja pelos próprios veículos ou por um computador de controle central.

Quando faixas de pintura são utilizadas para definir o percurso, o veículo utiliza um sistema de sensor ótico ca-

paz de rastrear a pintura. As faixas podem ser feitas com fitas, com tinta *spray* ou pintadas no chão. Um sistema utiliza uma faixa de pintura de uma polegada de largura, contendo partículas fluorescentes que refletem uma luz ultravioleta (UV) do veículo. Um sensor a bordo detecta a luz refletida na faixa e controla o mecanismo de direção para segui-la. A orientação por faixas de pintura é útil em ambientes em que o ruído elétrico torna o sistema de fio condutor sem confiabilidade ou quando a instalação dos condutores na superfície do piso não é prática. Um problema com esse método de orientação é que a faixa de pintura se deteriora com o tempo. Ela deve ser mantida limpa e substituída periodicamente.

Veículos guiados automaticamente (AGVs) representam a mais recente tecnologia de orientação AGVS. Diferentemente dos dois métodos de orientação anteriores, AGVs operam sem percursos continuamente definidos. Em vez disso, utilizam uma combinação de orientação por cálculo e balizas localizados por toda a planta e que podem ser identificados por sensores a bordo. *Orientação por cálculo* refere-se à capacidade de um veículo em seguir uma determinada rota na ausência de um percurso definido no piso. O deslocamento do veículo ao longo da rota é conseguido por meio de um cálculo do número necessário de rotações das rodas em uma sequência de ângulos de direção especificados. Os cálculos são realizados pelo computador a bordo do veículo. Como seria de se esperar, a precisão do posicionamento das orientações por cálculo diminui através de longas distâncias. Normalmente, a localização de um veículo guiado automaticamente deve ser verificada comparando-se a posição calculada com uma ou mais posições conhecidas, as quais são estabelecidas utilizando-se balizas localizadas estrategicamente por toda a planta. Há vários tipos de balizas utilizadas em sistemas AGVs comerciais. Um sistema uti-

liza balizas com códigos de barra montadas ao longo dos corredores. Essas balizas podem ser percebidas por um escaner a *laser* rotativo no veículo. Com base nas posições das balizas, o computador de navegação a bordo utiliza triangulação para atualizar as posições calculadas pelas orientações por cálculo. Outro sistema de orientação utiliza balizas magnéticas embutidas no piso da planta ao longo do percurso. A orientação por cálculo é utilizada para deslocar o veículo entre as balizas e as localizações reais das balizas, fornecem dados para atualizar o mapa de orientação por cálculo do computador.

Deve-se observar que a orientação por cálculo pode ser utilizada por sistemas AGV, normalmente guiados por condutores no piso ou nas faixas pintadas. Essa capacidade permite que o veículo cruze placas de aço no piso da fábrica onde condutores não podem ser instalados ou deixe a trilha para posicionamento em uma estação de carga/descarga. No término da manobra de orientação por cálculo, o veículo é programado para retornar à trilha e voltar ao controle de orientação normal.

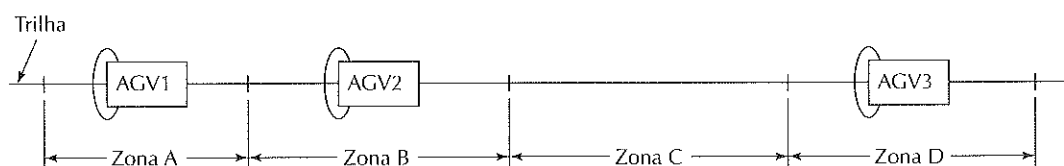
A vantagem da tecnologia de veículos guiados automaticamente sobre percursos fixos (condutores e faixas pintadas) é a flexibilidade. Os percursos do AGV são definidos em *software*. A rede de percursos pode ser mudada inserindo-se os dados necessários no computador de navegação. Novos pontos de parada podem ser definidos. A rede de percursos pode ser expandida instalando-se novas balizas, e essas mudanças podem ser feitas rapidamente sem grandes alterações na instalação da planta.

**Gerenciamento de veículos.** Para o AGVS operar eficientemente, os veículos têm de ser bem gerenciados. As tarefas de entregas têm de ser distribuídas de modo a minimizar tempos de espera nas estações de carga/descarga; o congestionamento de tráfego na rede de percursos-guias tem de ser minimizado. Nessa discussão, consideramos dois aspectos de gerenciamento de veículos: (1) controle de tráfego e (2) envio de veículos.

O propósito do controle de tráfego em um sistema de veículos guiados automaticamente é minimizar a interferência entre os veículos e evitar colisões. Dois métodos de controle de tráfego utilizados em sistemas AGVs comerciais são: (1) sensoramento de veículos a bordo e (2) controle de zona. Normalmente as duas técnicas são utilizadas em combinação. *Sensoramento de veículos a bordo*, também chamado de *sensoramento à frente*, utiliza um ou mais sensores em cada veículo para detectar a presença de outros veículos ou obstáculos à frente na trilha. Tecnologias de sensores incluem dispositivos óticos e ultrassônicos. Quando o sensor a bordo detecta um obstáculo à frente, o veículo para. Quando o obstáculo é removido, o veículo segue em frente. Se o sistema de sensores é cem por cento efetivo, as colisões entre veículos são evitadas. A efetividade do sensoramento é limitada pela capacidade do sensor de detectar obstáculos que estão em sua frente na trilha. Esses sistemas são mais eficientes em percursos retos e menos em curvas e pontos de convergência nos quais veículos podem não estar diretamente em frente do sensor.

No *controle de zona*, o *layout* do AGVS é dividido em zonas separadas, e a regra operacional é de que a nenhum veículo é permitido entrar em uma zona já ocupada por outro. O comprimento de uma zona é suficiente para conter um veículo mais concessões para segurança e outras considerações, as quais incluem número de veículos no sistema, tamanho e complexidade do *layout* e o objetivo de minimizar o número de zonas em separado. Por essas razões, as zonas são normalmente muito mais longas que o comprimento de um veículo. O controle de zona é ilustrado na Figura 10.7 em sua forma mais simples. Quando um veículo ocupa uma determinada zona, a qualquer veículo que o estiver seguindo não é permitido entrar. O veículo à frente tem de seguir para a próxima zona antes que o veículo que o segue a ocupe. Quando o movimento para frente de veículos nas zonas separadas é controlado, colisões são evitadas e o tráfego no sistema como um todo é controlado.

Figura 10.7 Controle de zona para implementar um sistema de bloqueio. As zonas A e B estão bloqueadas. A Zona C está livre. O Veículo 2 está impedido de entrar na Zona A pelo Veículo 1. O Veículo 3 está livre para entrar na Zona C.



Um meio de se implementar o controle de zona é utilizar unidades de controle separadas montadas ao longo da trilha. Quando um veículo entra em determinada zona, ele ativa o bloqueio para evitar que qualquer veículo que o siga se movimente para frente e colida com ele. Quando esse veículo se desloca para a próxima zona (no sentido do fluxo), ele ativa o bloqueio naquela zona e desativa o bloqueio na zona anterior. Na realidade, as zonas são ligadas e desligadas para controlar o movimento de veículos pelo sistema de bloqueio. Outro método para se implementar o controle de zona é utilizar um computador central, que monitora a localização de cada veículo e tenta otimizar o movimento de todos os veículos no sistema.

Para um AGVS cumprir sua função, veículos têm de ser despachados de maneira pontual e eficiente para o ponto do sistema onde são necessários. Vários métodos são utilizados em sistemas AGV para despachar veículos: (1) painéis de controle a bordo, (2) estações de chamada remota e (3) computador de controle central. Esses métodos de envio são geralmente utilizados em combinação para maximizar a capacidade de reação e eficiência.

Cada veículo guiado é equipado com algum painel de controle a bordo com a finalidade de controle manual do veículo, programação do veículo e outras funções. A maioria dos veículos comerciais pode ser despachada por meio desse painel de controle até determinada estação no *layout* AGVS. O envio com um painel de controle a bordo representa o nível mais baixo de sofisticação entre os métodos possíveis. Ele proporciona flexibilidade e oportunidade ao AGVS em lidar com mudanças e variações em exigências de entrega.

Estações de chamada remota representam outro método para um AGVS satisfazer exigências de entrega. A estação de chamada mais simples é um botão de pressão montado na estação de carga/descarga. Isso transmite um sinal de chamado para qualquer veículo disponível nas proximidades para parar na estação e pegar ou deixar uma carga. O painel de controle a bordo pode então ser utilizado para despachar o veículo para o ponto de destino desejado. Estações de chamada remota mais sofisticadas permitem que o destino do veículo seja programado no mesmo instante em que o veículo é chamado. Esse é um método de despacho mais automatizado, útil em sistemas AGVs capazes de operações de carga e descarga automáticas.

Em grandes fábricas ou armazéns envolvendo alto grau de automação, o AGVS atendendo à instalação também tem de ser altamente automatizado para conseguir uma operação eficiente de todo o sistema de produção — armazenamento — e manuseio. O computador de controle

central é utilizado para o envio automático de veículos de acordo com um cronograma pré-planejado de buscas e entregas no *layout* e/ou em resposta a chamadas de várias estações de carga/descarga. Nesse método de despacho, o computador central emite comandos para os veículos no sistema em relação a seus destinos e as operações que eles têm de desempenhar. Para realizar a função de despacho, o computador central tem de possuir informações atualizadas sobre a localização de cada veículo no sistema de maneira que ele possa tomar decisões apropriadas sobre quais veículos despachar para quais localizações. Assim, os veículos têm de continuamente comunicar seus parâmetros para o controlador central. A radiofrequência (RF) é comumente utilizada para realizar as ligações de comunicação necessárias.

**Segurança dos veículos.** A segurança das pessoas localizadas ao longo do percurso é um objetivo importante no projeto do AGVS. Uma característica de segurança inerente de um AGV é que sua velocidade de deslocamento é mais lenta do que o ritmo de caminhada normal de uma pessoa. Isto minimiza o perigo de bater em uma pessoa caminhando ao longo do percurso.

Além disso, AGVs normalmente contam com várias outras características especificamente por razões de segurança. Um mecanismo de segurança incluído na maioria dos sistemas de orientação é a parada automática do veículo se ele se perder mais do que uma distância da trilha, normalmente de 50 a 150 milímetros (de duas a seis polegadas) — a distância referida como *distância de aquisição* do veículo. Esse mecanismo de parada automática evita que um veículo saia rodando sem destino no prédio. Alternativamente, em um evento no qual o veículo esteja fora da trilha (por exemplo, para ser carregado), seu sistema sensorio é capaz de conectar-se à trilha enquanto é movido para dentro da distância de aquisição.

Outro dispositivo de segurança é um sensor de detecção de obstáculos localizado em cada veículo. Esse é o mesmo sensor a bordo utilizado para controle de tráfego. O sensor pode detectar obstáculos ao longo do percurso à frente, incluindo pessoas. Os veículos são programados para parar ou reduzir a velocidade quando um obstáculo à frente é reconhecido. A razão para reduzir a velocidade é que o objeto percebido pode estar localizado ao lado do percurso do veículo ou diretamente à frente, mas além de uma curva na trilha, ou o obstáculo pode ser uma pessoa que vai sair do caminho à medida que o AGV se aproximar. Em qualquer um desses casos, ao veículo é permitido que prossiga a uma velocidade mais lenta (mais segura) até ter passado pelo obstáculo. A desvantagem de progra-

mar um veículo para parar quando ele encontra um obstáculo é o atraso na entrega e o consequente prejuízo no desempenho do sistema.

Um dispositivo de segurança incluído teoricamente em todos os AGVs comerciais é um para-choque de emergência. Os para-choques são as proeminências nas ilustrações mostradas na Figura 10.5. O para-choque circunda a frente do veículo e se projeta por uma distância de 300 milímetros (12 polegadas) ou mais. Quando o para-choque faz contato com um objeto, o veículo é programado para frear imediatamente. Dependendo da velocidade do veículo, sua carga e outras condições, a distância que o veículo precisa para parar completamente vai variar de centímetros a vários metros. Muitos veículos são programados para exigir uma nova partida manual após um obstáculo ter sido encontrado pelo para-choque de emergência. Outros dispositivos de segurança em um veículo típico incluem luzes de aviso (piscando ou rotativas) e/ou sinais sonoros de aviso, que alertam pessoas que o veículo está presente.

### 10.2.3 Monovias e outros veículos guiados por trilhos

A terceira categoria de equipamentos de transporte de materiais consiste de veículos motorizados guiados por um sistema fixo de trilhos. O sistema de trilhos consiste de um trilho (chamado de monovia) ou dois trilhos paralelos. Monovias em fábricas e armazéns são tipicamente suspensas do teto. Em sistemas de veículos guiados por trilhos utilizando trilhos fixos paralelos, estes geralmente se projetam do chão. Em qualquer um dos casos, a presença de um percurso de trilho fixo distingue esses sistemas dos sistemas de veículos guiados automaticamente. Assim como com AGVs, os veículos operam de maneira assíncrona e são impulsionados por um motor elétrico a bordo. Mas, diferentemente dos AGVs, que são impulsionados por suas próprias baterias a bordo, veículos guiados por trilhos obtêm energia elétrica de um trilho eletrificado (similar a um sistema ferroviário de trânsito rápido urbano). Isso livra o veículo de ter de recarregar sua bateria periodicamente; entretanto, o sistema de trilhos eletrificados introduz um perigo à segurança que não está presente em um AGVS.

Variações de rotas são possíveis em sistemas de veículos guiados por trilhos por desvios, plataformas giratórias e outras seções de trilhos especializadas. Isso permite que diferentes cargas se desloquem por diferentes rotas, de maneira similar a um AGVS. Sistemas guiados por trilhos são geralmente considerados mais versáteis que sistemas de transportadores e menos versáteis do que sistemas de veículos guiados automaticamente. Uma das aplicações

originais das monovias não motorizadas foi na indústria de processamento de carnes, antes de 1900. Os animais abatidos eram pendurados em ganchos fixados a roletes em trilhos aéreos. Os roletes eram movidos manualmente pelos trabalhadores através dos diferentes departamentos da planta. É provável que Henry Ford tenha tido a ideia para a linha de montagem a partir da observação dessas operações de processamento de carnes. Atualmente, a indústria automotiva faz uso considerável de monovias aéreas eletrificadas para deslocar grandes componentes e submontagens em suas operações de manufatura.

### 10.2.4 Transportadores

Um *transportador* é um aparato mecânico para mover itens ou materiais de grande volume, normalmente dentro de uma instalação. Transportadores são utilizados quando materiais têm de ser movidos em quantidades relativamente grandes entre localizações específicas através de um percurso fixo, que podem ser de piso, acima do piso ou aéreo. Transportadores podem ser motorizados ou não motorizados. Em *transportadores motorizados*, o mecanismo de propulsão está contido no percurso fixo, utilizando correntes, esteiras, roletes ou outros mecanismos para propelir cargas ao longo do percurso. Transportadores motorizados são comumente utilizados em sistemas de transporte de materiais automatizados em plantas de manufatura, armazéns e centros de distribuição. Em *transportadores não motorizados*, materiais são movidos manualmente por trabalhadores, que empurram as cargas ao longo do percurso fixo ou pela gravidade de uma elevação para uma posição mais baixa.

**Tipos de transportadores.** Uma variedade de equipamentos transportadores encontra-se comercialmente disponível. Os principais tipos de transportadores motorizados, organizados de acordo com o tipo de potência mecânica fornecida no percurso fixo, são brevemente descritos a seguir:

- *Transportadores de roletes (roller conveyors).* Em transportadores de roletes, o percurso consiste de uma série de tubos (roletes) perpendiculares à direção de deslocamento, como na Figura 10.8(a). Cargas têm de possuir uma superfície de fundo de área plana suficiente para abarcar vários roletes adjacentes. Paletes, caixas de peças ou caixas de papelão servem bem a esse propósito. Os roletes estão contidos em uma estrutura fixa que eleva o percurso acima do nível do piso de vários centímetros a vários metros. As cargas são deslocadas para frente à medida que os roletes giram. Transportadores de roletes podem ser motorizados ou não motori-

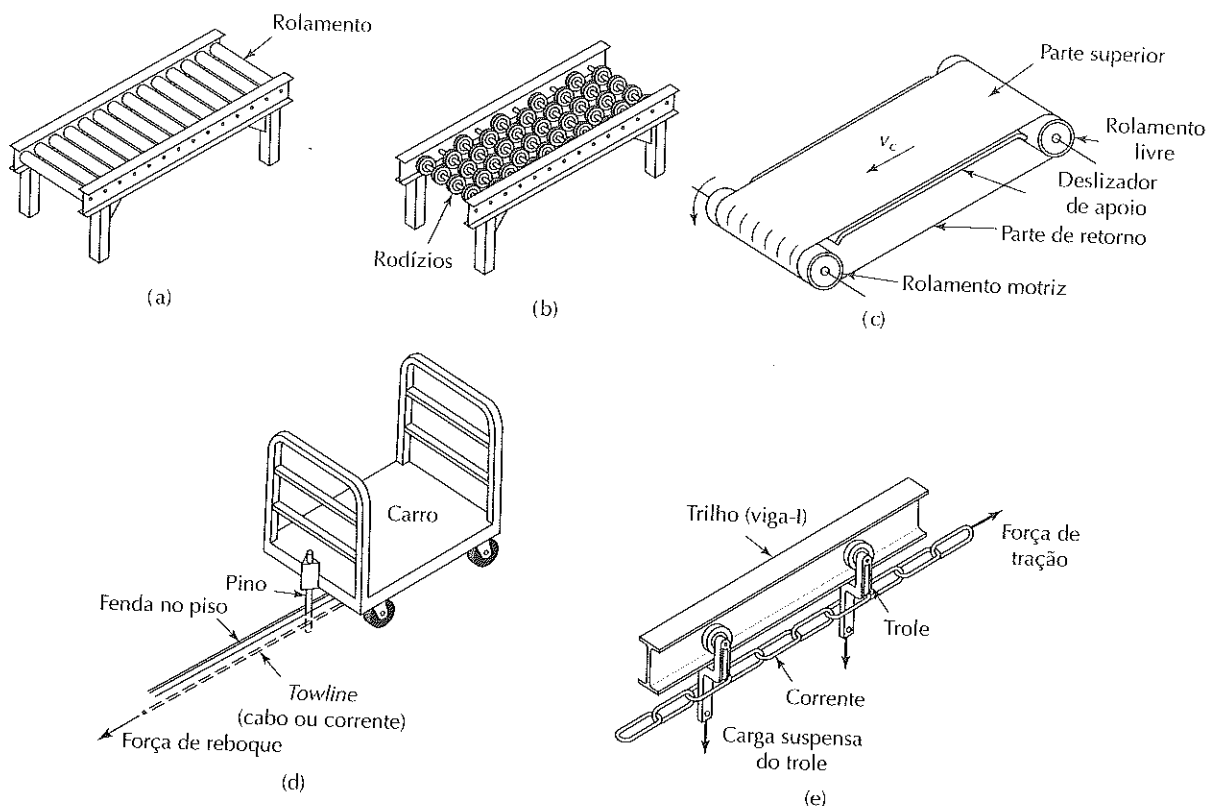


zados. Transportadores de roletes motorizados são impulsionados por correias ou correntes. Normalmente os transportadores de roletes não motorizados são impulsionados pela gravidade de maneira que o percurso tenha inclinação para baixo suficiente para superar o atrito de rolamento. Transportadores de roletes são utilizados em uma ampla variedade de aplicações, incluindo manufatura, montagem, empacotamento, seleção e distribuição.

- *Transportadores de rodízios (skate-wheel conveyors).* São similares em operação aos transportadores de roletes. Em vez de roletes, utilizam rodas emborrachadas (similares às rodas de patins) girando sobre eixos conectados a uma estrutura de paletes de rolamento, caixas de peças ou outros contêineres ao longo do percurso, como na Figura 10.8(b). Transportadores de rodízios são mais leves em peso do que transportadores de roletes. Aplicações de transportadores de rodízios são similares às aquelas de transportadores de roletes, exceto pelo fato de que as cargas têm de ser geralmente mais leves, uma vez que os contatos entre as cargas e o transportador são muito mais concentrados. Devido ao baixo peso, transportadores de rodízios são às vezes construídos como unidades portáteis que podem ser usadas para carregar e descarregar reboques de carros em pontos de envio e recebimento em fábricas e armazéns.
- *Transportadores de esteira (belt conveyors).* Transportadores de esteira consistem de uma esteira contínua. Metade de seu comprimento é utilizado para a entrega de materiais e a outra metade é a volta de retorno, como na Figura 10.8(c). A esteira é feita de elastômero reforçado (borracha), de maneira que possua alta flexibilidade, mas baixa capacidade de extensão. Em uma extremidade do transportador há um rolo de propulsão que impulsiona a esteira. A esteira flexível é apoiada por uma estrutura que tem roletes ou deslizadores de apoio ao longo de toda a sua volta. Transportadores de esteira são disponíveis em duas formas comuns: (1) esteiras planas para paletes, peças individuais, ou mesmo determinados tipos de materiais volumosos; e (2) esteiras sulcadas para materiais volumosos. Materiais colocados sobre a superfície da esteira se deslocam ao longo do percurso em movimento. No caso de transportadores de esteiras sulcadas, os roletes e apoios dão à esteira flexível um formato de V na parte superior (de entrega) para levar materiais granulados como carvão, cascalho, grãos ou materiais em partículas similares.
- *Transportadores de correntes (chain conveyors).* Seu equipamento típico consiste de correntes em uma configuração em cima, abaixo e em torno de engrenagens motorizadas nas extremidades do percurso. O transportador pode consistir de uma ou mais correntes operando em paralelo. As correntes se deslocam ao longo de canais no chão que proporcionam apoio para as seções de correntes flexíveis. As correntes deslizam ao longo do canal ou andam sobre roletes no canal. As cargas são geralmente arrastadas ao longo do percurso utilizando barras que se projetam da corrente em movimento.
- *Transportador de piso (in-floor towline conveyors).* Utilizam carros de quatro rodas impulsionados por correntes ou cabos em movimento localizados em sulcos no chão, como na Figura 10.8(d). A corrente ou o cabo é chamado de *towline*. Percursos para o sistema de transporte são definidos por sulco e cabo, e o cabo é tracionado por um sistema de roldanas motorizado. É possível trocar entre percursos motorizados para se ter flexibilidade no roteamento. Os carros utilizam pinos de aço que se projetam abaixo do nível do piso para o sulco para engatar a corrente para ser rebocada. (Dispositivos de garras substituem pinos quando cabos são utilizados como o sistema de roldanas, como nos bondes de São Francisco). O pino pode ser puxado da corrente (ou a garra soltar o cabo) para desengatar o carro para carga, descarga, desvios, acumular peças e empurrar o carro manualmente para fora do percurso principal. Sistemas de transportador de *towline* são utilizados em plantas de manufatura e armazéns.
- *Transportador aéreo (overhead trolley conveyor).* Um trole no manuseio de materiais é um carro com rodas que corre em um trilho aéreo no qual cargas podem ser suspensas. Um transportador aéreo, Figura 10.8(e), consiste de troles múltiplos, normalmente espaçados por igual ao longo de um trilho fixo. Os troles são conectados e deslocados juntos ao longo do trilho por meio de uma corrente ou um cabo que forma uma volta completa. Suspensos dos troles estão ganchos, cestas ou outros receptáculos para carregar cargas. A corrente (ou cabo) é fixada a uma roldana motriz que puxa a corrente com uma velocidade constante. O percurso do transportador é determinado pela configuração do sistema de trilhos, que tem curvas e possíveis mudanças de elevação. Normalmente os transportadores aéreos (teleféricos) são utilizados em fábricas para mover peças e montagens entre departamentos de produção importantes. Eles podem ser utilizados tanto para entrega como para armazenamento.
- *Transportador aéreo motorizado e livre (Power-and-free overhead trolley conveyor).* Este transportador é similar ao transportador aéreo, exceto que os troles



Figura 10.8 (a) Transportador de roletes, (b) transportador de rodízios, (c) transportador de correntes (plano) — estrutura de apoio não mostrada, (d) transportador *towline* (cabo de rebocar) de piso e (e) transportador aéreo



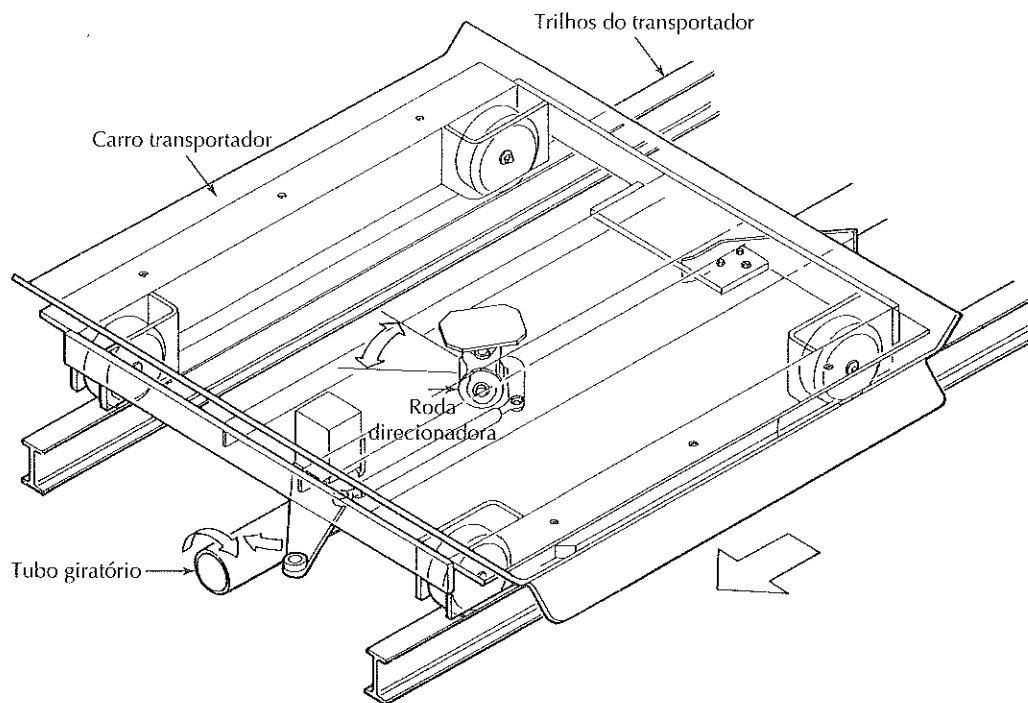
podem ser desconectados da corrente motriz, proporcionando ao transportador uma capacidade assíncrona. Isto é normalmente conseguido utilizando-se dois trilhos, um logo acima do outro. O trilho de cima contém a corrente sem fim continuamente em movimento, e os troles que levam as cargas rodam no trilho de baixo. Cada trole inclui um mecanismo por meio do qual ele pode ser conectado e desconectado da corrente matriz. Quando conectado, o trole é puxado ao longo do trilho pela corrente em movimento no trilho de cima. Quando desconectado, o trole é ocioso.

- *Transportador de carro em trilho (cart-on-track conveyor)*. Consiste de carros individuais rodando sobre um trilho poucos centímetros acima do nível do piso. Os carros são impulsionados por meio de um eixo rotativo, como ilustrado na Figura 10.9. Uma roda motriz, fixada ao fundo do carro e colocada em certo ângulo em relação ao tubo rotativo, repousa contra ele e impulsiona o carro para frente. A velocidade do carro é controlada regulando o ângulo de contato entre a roda de direção e o tubo girando. Quando o eixo da

roda de direção está a 45 graus, o carro é impulsionado para frente. Quando o eixo da roda de direção é paralelo ao tubo, o carro não se move. Desse modo, o controle do ângulo da roda de direção no carro permite tanto operação livre como motorizada do transportador. Uma das vantagens do transportador de carro em trilho é que carros podem ser posicionados com alta precisão. Isso permite seu uso para trabalho de posicionamento durante a produção. Aplicações de sistemas de carro em trilho incluem linhas robóticas de soldagem a ponto em plantas automotivas e sistemas de montagem mecânicos.

- *Outros tipos de transportadores*. Outros transportadores motorizados incluem sistemas baseados em vibração e elevadores verticais. Transportadores helicoidais são versões motorizadas da espiral de Arquimedes, o dispositivo para puxar água projetado na Antiguidade, consistindo de um grande parafuso dentro de um tubo, girado manualmente para bombear água para um terreno inclinado para fins de irrigação. Transportadores baseados em vibração utilizam um trilho plano conectado a um eletroímã que confere movimento vibra-

Figura 10.9 Transportador de carro em trilho (Diagrama cortesia da SI Division, Paragon Technologies, Inc.)



tório angular ao trilho para propelir itens para a direção desejada. Esse mesmo princípio é utilizado em alimentadores vibratórios para fornecer componentes em sistemas de montagem automatizados (Seção 17.1.2). Transportadores elevadores verticais incluem uma variedade de elevadores mecânicos projetados para proporcionar movimento vertical, como entre andares ou para ligar transportadores baseados no piso com transportadores aéreos. Outros tipos de transportador incluem escadouros, rampas e tubos, que são impulsionados pela gravidade.

#### **Operações e características de transportadores.**

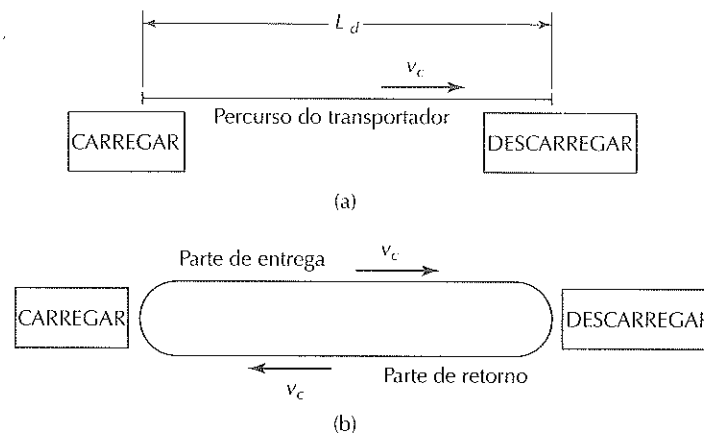
Como indicado anteriormente, os equipamentos de transportadores cobrem uma ampla variedade de operações e características. Vamos restringir a discussão aqui a transportadores motorizados. Os sistemas de transportadores se dividem em dois tipos básicos em termos do movimento característico dos materiais deslocados pelo sistema: (1) contínuo e (2) assíncrono. Transportadores de movimento contínuo se deslocam com velocidade constante  $v_c$  ao longo do percurso. Incluem transportadores de esteira, rolete, roda de patim e aéreo.

Transportadores assíncronos operam com movimento de parada e partida no qual cargas, normalmente contidas em carregadores (por exemplo, ganchos, cestas, carros), deslocam-se entre estações e, então, param e per-

manecem na estação até sua liberação. O manuseio assíncrono permite um movimento independente de cada carregador no sistema. Exemplos desse tipo incluem transportadores aéreos, de piso *towline* e carro em trilho. Alguns transportadores de rolete e de rodízios também podem operar de maneira assíncrona. Razões para utilizar transportadores assíncronos incluem: (1) acumular cargas, (2) estocar temporariamente itens, (3) permitir diferentes taxas de produção entre áreas de processamento adjacentes, (4) reduzir a produção quando os tempos dos ciclos nas estações ao longo do transportador são variáveis e (5) acomodar diferentes velocidades de transportadores ao longo do percurso.

Transportadores também podem ser classificados como (1) unidirecionais, (2) contínuos e (3) de recirculação. Na Seção 10.3.2, apresentamos equações e técnicas com as quais analisar esses sistemas de transportadores. Transportadores unidirecionais são utilizados para transportar cargas em uma direção do ponto de origem para o ponto de destino, como descrito na Figura 10.10(a). Esses sistemas são apropriados quando não há necessidade de se deslocar cargas em ambas as direções ou de retornar contêineres ou carregadores das estações de descarga de volta para as estações de carga. Transportadores motorizados unidirecionais incluem tipos com roletes, rodízios, esteira e corrente no piso. Além disso, todos os transportadores de gravidade operam em uma direção.

Figura 10.10 (a) Transportador unidirecional e (b) transportador contínuo



Transportadores contínuos formam um circuito completo, como na Figura 10.10(b). Um transportador aéreo é um exemplo desse tipo de transportador. Entretanto, qualquer tipo de transportador pode ser configurado assim, mesmo aqueles previamente identificados como transportadores unidirecionais, simplesmente conectando diversas seções de transportadores unidirecionais em uma volta fechada (*loop*). Um sistema contínuo permite que os materiais sejam deslocados entre quaisquer das estações ao longo do percurso. Transportadores contínuos são utilizados quando cargas são deslocadas em carregadores (por exemplo, ganchos, cestas) entre estações de carga e descarga e os carregadores são afixados ao transportador. Neste projeto, os carregadores vazios são automaticamente retornados da estação de descarga de volta para a estação de carga.

A descrição anterior de um transportador contínuo presume que os itens carregados na estação de carga são descarregados na estação de descarga. Não há cargas no retorno; o propósito do retorno é simplesmente enviar os carregadores vazios de volta para recarregar. Esse método de operação esquece uma oportunidade importante oferecida por um transportador contínuo: armazenar e entregar itens. Sistemas de transportadores que permitem que peças ou produtos permaneçam no retorno por uma ou mais passagens são chamados de *transportadores de recirculação*. Ao fornecer função de armazenagem, o sistema de transportadores pode ser utilizado para acumular peças e minimizar os efeitos de variações de carga e descarga que podem influenciar a operação de um sistema de transportadores de recirculação. Um problema é que pode haver momentos durante a operação do transportador que nenhum carregador vazio esteja imediatamente disponível na estação de carga quando necessário. Outro é o de que nenhum carregador esteja imediatamente disponível na estação de descarga quando necessário.

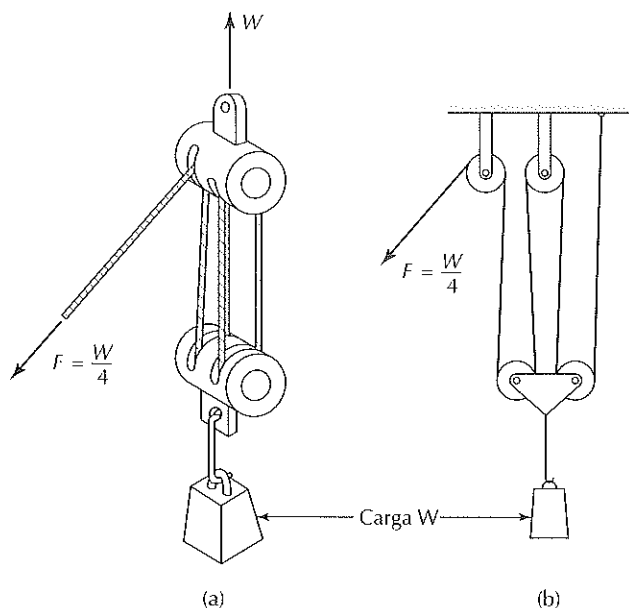
É possível construir pontos de bifurcação e união no trilho de um transportador para permitir diferentes rotas de diferentes cargas deslocando-se no sistema. Em quase todos os sistemas de transportadores, é possível colocar desvios, trechos de curto percurso ou outros mecanismos para se conseguir essas rotas alternativas. Em alguns sistemas, um mecanismo de empurrar-puxar ou um dispositivo de levanta-e-carregar são exigidos para movimentar ativamente a carga do percurso atual para o novo percurso.

### 10.2.5 Guindastes e guinchos

A quinta categoria de equipamentos de transporte no manuseio de materiais é a dos guindastes e guinchos. Guindastes são utilizados para o movimento horizontal de materiais em uma instalação, e guinchos são utilizados para içamento vertical. Um guindaste invariavelmente inclui um guincho; desse modo, o componente de guincho do guindaste iça a carga, e o guindaste transporta a carga horizontalmente para o destino desejado. Essa classe de equipamento de manuseio de materiais inclui guindastes capazes de içar e deslocar cargas muito pesadas, em alguns casos mais de cem toneladas.

Um *guincho* é um dispositivo mecânico que ergue e baixa cargas. Como visto na Figura 10.11, consiste de uma ou mais roldanas fixas, uma ou mais roldanas em movimento e uma corda, um cabo ou uma corrente esticada entre as roldanas. Um gancho ou outro meio de prender a carga é conectado à(s) roldana(s) em movimento. O número de roldanas no guincho determina sua vantagem mecânica, a qual é a razão do peso da carga para a força motriz exigida para içar o peso. A vantagem mecânica do guincho em nossa ilustração é 4. A força motriz para operar o guincho é aplicada manualmente ou por um motor elétrico ou pneumático.

Figura 10.11 Um guincho com uma vantagem mecânica de 4: (a) desenho do guincho e (b) diagrama para ilustrar a vantagem mecânica



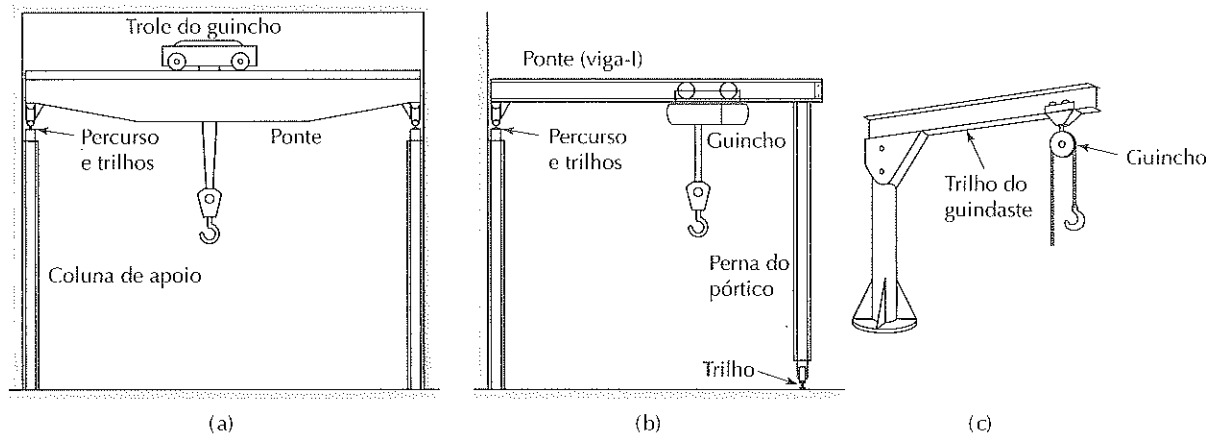
Guindastes incluem uma variedade de equipamentos de manuseio de materiais projetados para içamento e deslocamento de cargas pesadas utilizando uma ou mais vigas elevadas para apoio. Os principais tipos de guindastes encontrados em fábricas incluem (a) pontes rolantes, (b) guindastes de pórtico e (c) guindastes de lança. Nos três tipos, pelo menos um guincho é montado a um carro que corre na viga elevada do guindaste. Uma *ponte rolante* consiste de um ou dois travessões ou duas vigas horizontais suspensas em qualquer uma das extremidades que está conectada à estrutura do prédio, como mostrado na Figura 10.12(a). O carro do guincho pode ser movido ao longo do comprimento da ponte, e a ponte pode ser movida pelo comprimento dos trilhos no prédio. Essas duas capacidades de avanço proporcionam movimento nos eixos  $x$  e  $y$  do prédio, e o guincho proporciona movimento em direção ao eixo  $z$ . Assim, a ponte rolante consegue realizar o içamento vertical devido ao guincho e movimento horizontal devido ao sistema ortogonal de trilhos. Pontes rolantes grandes constam de travessões que chegam a ter envergadura de 36,5 metros (120 pés) e são capazes de carregar cargas de até 90 mil kg (90 toneladas). Pontes rolantes grandes são controladas por operadores posicionados nas cabinas. Aplicações incluem fabricação de máquinas pesadas, laminação de aço e outros metais e estações de geração de energia.

Um *guindaste de pórtico* é distinto de uma ponte rolante pela presença de uma ou duas pernas verticais que dão apoio à ponte horizontal. Assim como a ponte rolante, um guindaste de pórtico inclui um ou mais guinchos que

realizam içamento vertical. Pórticos são disponíveis em diferentes tamanhos e capacidades, o maior chegando a ter envergadura de em torno de 46 metros (150 pés) e capacidade de carga de 136 mil kg (136 toneladas). Um guindaste de pórtico duplo tem duas pernas. Um guindaste de meio-pórtico, como na Figura 10.12(b), tem uma única perna em uma extremidade da ponte e a outra extremidade é apoiada por um trilho montado na parede ou outro membro estrutural de um prédio. Um guindaste de pórtico cantiléver tem uma ponte que se estende além da envergadura criada pelas pernas de apoio.

Um *guindaste de lança* consiste de um guincho apoiado em uma viga horizontal que serve de cantiléver de uma coluna vertical ou parede de apoio, como ilustrado na Figura 10.12(c). A viga horizontal realiza um pivô em torno do eixo vertical formado pela coluna ou parede para proporcionar uma volta horizontal para o guindaste. A viga também serve como trilho para o carro do guincho para proporcionar um deslocamento radial ao longo do comprimento da viga. Assim, a área horizontal incluída por um guindaste de lança é circular ou semicircular. Tal como com outros guindastes, o guincho proporciona movimentos verticais de içar e baixar. Capacidades-padrão de guindastes de lança variam até em torno de 5 mil kg. Guindastes de lança montadas em paredes podem conseguir uma oscilação de em torno 180 graus, enquanto um guindaste de lança montado no chão utilizando uma coluna ou poste como apoio vertical pode oscilar 360 graus completos.

Figura 10.12 Três tipos de guindastes: (a) ponte rolante, (b) guindaste de pórtico (um guindaste de meio-pórtico é mostrado) e (c) guindaste de lança



### 10.3 ANÁLISE DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MATERIAIS

Modelos quantitativos são úteis para analisar a vazão de materiais, tempos de ciclos de entrega e outros aspectos de desempenho do sistema. A análise pode ser útil em determinar exigências de equipamentos; por exemplo, quantas empilhadeiras serão necessárias para satisfazer determinada especificação de vazão. Sistemas de transporte de materiais podem ser classificados como sistemas baseados em veículos ou sistemas de transporte. Nossa cobertura dos modelos quantitativos é organizada ao longo dessas linhas.

#### 10.3.1 Análise de sistemas baseados em veículos

Equipamentos utilizados em sistemas de transporte baseados em veículos incluem veículos industriais (tanto carrinhos manuais como motorizados), veículos guiados automaticamente, monovia e outros veículos guiados por trilhos, e determinados tipos de sistemas de transportadores (por exemplo, transportadores de piso *towline*). Esses sistemas são comumente utilizados para entregar cargas individuais entre vários pontos de destino e origem diferentes. Duas ferramentas gráficas, úteis para exibir e analisar dados nessas entregas, são o diagrama de movimento de-para (do inglês, *from-to chart*) e o diagrama de rede (do inglês, *net chart*). O diagrama de-para é uma tabela que pode ser utilizada para indicar dados de vazão de materiais e distâncias entre múltiplas localizações. A Tabela 10.5 ilustra um diagrama de-para que lista dados de vazão e distâncias entre cinco estações de trabalho em um sistema de manufatura. A coluna vertical à esquerda lista os pontos de origem (estações de carga), enquanto a linha

horizontal no topo identifica as localizações de destino (estações de descarga).

Diagramas de rede também podem ser utilizados para indicar o mesmo tipo de informações. Um *diagrama de rede* consiste de nós e setas, e as setas indicam relações entre os nós. No manuseio de materiais, os nós representam localizações (por exemplo, estações de carga e descarga), e as setas representam vazões de materiais e/ou a distância entre as estações. A Figura 10.13 mostra um diagrama de rede que fornece as mesmas informações que a Tabela 10.5.

Equações matemáticas podem ser desenvolvidas para descrever a operação de sistemas de transporte de materiais baseados em veículos. Presumimos que o veículo opera a uma velocidade constante durante toda a sua operação e ignora os efeitos da aceleração, desaceleração e outras diferenças em velocidade que podem depender de estar se deslocando carregado ou vazio. O tempo para um ciclo de entrega típico na operação de um sistema de transporte baseado em veículos consiste de (1) carregar na estação de carga, (2) tempo de deslocamento para a estação de descarga, (3) descarregar na estação de descarga e (4) tempo de deslocamento vazio do veículo entre entregas. O tempo de ciclo total por entrega por veículo é dado por:

$$T_c = T_L + \frac{L_d}{v_c} + T_U + \frac{L_e}{v_o} \quad (10.1)$$

em que  $T_c$  é o tempo do ciclo de entrega (min/entrega),  $T_L$  é o tempo para carregar na estação de carga (min),  $L_d$  é a distância que o veículo se desloca entre as estações de carga e descarga (metros, pés),  $v_c$  é a velocidade do carregador (m/minuto, pés/minuto),  $T_U$  é o tempo para descarregar na estação de descarga (min) e  $L_e$  é a distância que o veí-