

Avaliação dos Sistemas Industriais

# Avaliação dos Sistemas Industriais

**Christian dos Santos** 

#### © 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

#### Presidente

Rodrigo Galindo

#### Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

#### Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi Camila Cardoso Rotella Danielly Nunes Andrade Noé Grasiele Aparecida Lourenço Isabel Cristina Chagas Barbin Lidiane Cristina Vivaldini Olo Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

#### Revisão Técnica

Alessandra Cristina Santos Akkari Charles William Polizelli Pereira

#### Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora) Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente) Elmir Carvalho da Silva (Coordenador) Leticia Bento Pieroni (Coordenadora) Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Santos, Christian dos

\$237a Avaliação dos sistemas industriais / Christian dos Santos. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

216 p.

ISBN 978-85-522-0711-5

1. Engenharia. I. Santos, Christian dos. II. Título.

**CDD 620** 

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

# Sumário

Unidade 1   Fundamentos sobre sistemas industriais				
Seção 1.1 - Introdução aos sistemas industriais				
Seção 1.2 - Sistemas industriais automatizados: robôs e comando numérico				
Seção 1.3 - Sistemas industriais automatizados: sistemas de transporte e de manipulação	40			
Unidade 2   Planejamento de processo e fabricação industrial, técnicas e ferramentas	55			
Seção 2.1 - Projeto dos sistemas industriais	57			
Seção 2.2 - Planejamento de processo industrial	70			
Seção 2.3 - Fabricação industrial: etapas de fabricação do projeto de sistema industrial	84			
Unidade 3   Avaliação de sistemas industriais	101			
Seção 3.1 - Avaliação de sistemas industriais——————	103			
Seção 3.2 - Tipos de avaliação de sistemas industriais	120			
Seção 3.3 - Resultados da avaliação dos sistemas industriais	137			
Unidade 4   Tipos e análises de avaliação de sistemas industriais				
Seção 4.1 - Técnicas e ferramentas de auxílio de avaliação de				
sistemas industriais ———————————————————————————————————	157			
Seção 4.2 - Controle e integração de sistemas industriais	176			
Seção 4.3 - Otimização de sistemas industriais	192			

# Palavras do autor

Prezado aluno, bem-vindo à disciplina de Avaliação dos Sistemas Industriais.

Com o crescente uso de técnicas de mecanização e automação de processos produtivos, os conceitos de sistemas industriais têm se modernizado, visando ao aumento na produtividade e à melhoria da qualidade nos processos. Não apenas os requisitos de produção são abordados na automatização, mas processos que possuem repetitividade de ações, que podem prejudicar o fluxo produtivo e o bem-estar do ser humano nesses sistemas, também são justificativas para esse crescimento.

Temas como a "indústria 4.0" e "internet das coisas" criam a necessidade de olhar para os sistemas industriais, analisando as necessidade e oportunidades para a automatização. Essas necessidades prévias serão a base da sua capacitação e os elementos iniciais para a realização dos estudos propostos, dando importância a esta disciplina.

Para este trabalho, você conhecerá, compreenderá e saberá identificar e aplicar os principais fundamentos relacionados à avaliação dos sistemas industriais.

Para essa avaliação, o conhecimento dos processos produtivos e das metodologias de análise serão pontos importantes para sua realização, capacitando-o para que você possa propor, preparar e analisar a implementação de melhorias de automatização nos sistemas industriais.

Para a construção desse conhecimento, este livro didático está dividido em seções, que abordarão os fundamentos dos sistemas industriais para uma introdução aos conceitos básicos e aos tipos de sistemas

Na Unidade 1, estudaremos os fundamentos sobre sistemas industriais: com introdução aos sistemas industriais, estudo de comandos numéricos e robótica e os sistemas de transporte e manipulação.

Na Unidade 2, veremos o planejamento de processo e fabricação industrial, técnicas e ferramentas. Abordaremos o planejamento de um sistema industrial a partir de técnicas e de ferramentas existentes para a execução dessa atividade.

Já na Unidade 3, trataremos da avaliação de sistemas industriais, na qual você verá a avaliação dos sistemas industriais propriamente dita, assim como os tipos de avaliação e os resultados dessas avaliações.

E, por fim, na Unidade 4, veremos os tipos e análises de avaliação de sistemas industriais, portanto, as conclusões, verificando as possibilidades de implementação possíveis como resultado da análise.

Observando esses tópicos e sabendo a tendência ditada pelo mercado, o estudo desta disciplina se mostra muito importante para um bom posicionamento no mercado, considerando que você será capaz de realizar as análises dos processos produtivos e da viabilidade de adaptação desses processos para as necessidades da próxima onda tecnológica nos processos industriais. Portanto, prezado aluno, vamos lá e bons estudos!

# Fundamentos sobre sistemas industriais

#### Convite ao estudo

Nesta unidade, você aprenderá os conceitos básicos e os fundamentos de processos industriais, conhecendo os tipos de sistemas, suas características e seus componentes. Essa abordagem será a introdução do conhecimento necessário para a compreensão e caracterização dos sistemas industriais.

Sabendo da existente demanda de automatização dos sistemas, é necessário conhecê-los para que as técnicas de análise possam ser conhecidas e bem utilizadas por você.

Com esta base de conhecimentos, você poderá realizar uma análise crítica dos processos industriais com base na aplicação dos fundamentos para as condições favoráveis à automatização.

A realização da análise crítica dos fundamentos de sistemas industriais é o objetivo proposto para esta unidade, o que fará você conhecer, compreender e saber aplicar os fundamentos sobre sistemas industriais.

Nesta primeira seção, serão abordados os conceitos básicos relacionados aos sistemas industriais, como descrição e definição dos sistemas existentes. Esses tópicos serão uma base que será utilizada para realizar a verificação dos requisitos necessários para que os sistemas industriais possam ser automatizados e de como a integração de sistemas numéricos e robôs podem contribuir para essa automatização, sabendo onde e como integrar esses elementos. E, ao final desta unidade, você compreenderá que os principais sistemas que demandam automação nos sistemas produtivos são os que possuem função de manipulação de materiais e transporte entre as células de produção, tornando o sistema mais flexível e proporcionando maior rapidez ao fluxo produtivo.

Imagine uma empresa de fabricação de eletrônicos: ela percebeu que um de seus produtos começou a fazer sucesso por integrar várias funções em um componente justamente voltado ao público infantil. Nesse ponto, percebeuse um aumento de sua demanda no mercado e verificou-se a necessidade de realizar um investimento em automação do seu sistema produtivo para aumentar a produção, suprindo a demanda e melhorando também índices de qualidade e produtividade da sua linha de produção. Observando esse desafio, você foi selecionado para realizar o levantamento e verificação do sistema produtivo dessa empresa para implementação de tecnologias que vão ajudá-la a cumprir o seu plano estratégico. Para essa tarefa, será necessário conhecer o tipo de sistema produtivo e quais as reais necessidades do sistema para realizar uma implementação de tecnologias de automação nos pontos certos e sem gastos desnecessários. A partir dessas considerações, é necessário saber: qual o tipo de sistema produtivo existente? Quais os principais elementos desse sistema? Como os sistemas de transporte e manipulação poderão auxiliar na estratégia da empresa?

Vamos, então, ao conhecimento para responder a essas questões.

# Seção 1.1

# Introdução aos sistemas industriais

# Diálogo aberto

Prezado aluno, nesta primeira seção, você aprenderá sobre os conceitos básicos relacionados aos sistemas industriais, tipos de sistemas, principais características e principais componentes. Nesse contexto, você, como profissional, deverá conhecer os sistemas industriais e os seus tipos, pois muitas decisões são tomadas a partir da caracterização dos sistemas industriais. Imagine uma empresa de fabricação de eletrônicos que um de seus produtos começou a fazer sucesso por integrar várias funções em um componente justamente voltado ao público infantil.

Nesse ponto, percebeu-se um aumento de sua demanda de mercado e verificou-se a necessidade de realizar um investimento em automação do seu sistema produtivo para aumentar a produção, suprindo a demanda e melhorando também índices de qualidade e produtividade da sua linha de produção.

Observando esse desafio, você foi selecionado para realizar o levantamento e a verificação do sistema produtivo da empresa para implementação de tecnologias que vão ajudá-la a atingir seu plano estratégico.

Para essa tarefa, será necessário conhecer o tipo de sistema produtivo e quais as reais necessidades para a implementação de tecnologias de automação nos pontos certos e sem gastos desnecessários. A partir dessas considerações, é importante saber qual o tipo de sistema produtivo existente.

Todos os sistemas verificados possuem características favoráveis à automação?

Quais devem ser os parâmetros para que o sistema, uma vez automatizado, possa aumentar seu desempenho?

### Não pode faltar

Nesta seção, abordaremos os elementos necessários para compreender os conceitos básicos sobre os sistemas industriais. Antes

de formularmos os conceitos de sistemas industriais, observaremos alguns componentes e definições ligados ao sistema de produção. De uma forma genérica, podemos definir o sistema de produção como sendo um conjunto de pessoas, equipamentos e procedimentos organizados para realizar as operações de produção de uma empresa (GROOVER, 2013).

As instalações de um sistema de produção necessitam de uma alocação lógica de seus elementos, o que é denominado layout. O layout possui a capacidade produtiva, e os elementos que compõem o sistema são: células de manufatura, máquinas e postos de trabalho.

Além dos sistemas produtivos, existem os sistemas de apoio da produção, os quais são definidos como o conjunto de procedimentos utilizados no gerenciamento da produção, na movimentação existente dentro da fábrica e entre células de manufatura, bem como garantia dos requisitos da qualidade do produto.

As instalações industriais podem ser representadas pelas ferramentas e pelos equipamentos primordiais para tratamento dos materiais. Em muitos casos, parte desses equipamentos são comandados de forma automatizada controlando operações de produção. Os equipamentos são normalmente organizados em uma forma lógica, em grupos, formando células individuais de trabalho. Essas células podem conter uma única máquina e um operador responsável, dessa maneira, podem-se formar várias células de trabalho em grupos numa linha de produção. Esses sistemas podem ser conciliados em três tipos:

Sistemas de trabalho manual: são sistemas que utilizam um ou mais trabalhadores, com a ajuda de uma ou mais ferramentas. Os trabalhos manuais costumam demandar a necessidade de montagens de componentes e pequenos processos com ferramentas. Como exemplo, podemos considerar uma célula de retrabalho de uma indústria de fundição, na qual a demanda é menor para tratamento apenas de produtos com problemas específicos de dimensionamento (rebarbas e aparas). Para esses produtos, o trabalho manual é suficiente para o ajuste das dimensões e retirada de material fora de especificação.

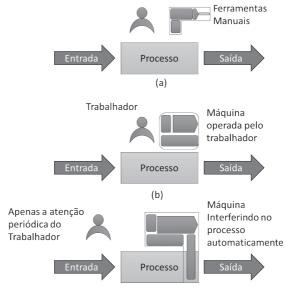
Sistemas trabalhador-máquina: são sistemas em que um trabalhador humano opera um equipamento que realiza um ciclo do processo; a máquina pode ser semiautomatizada, na qual o trabalhador precisa atuar em alguns ciclos do processo. É comumente mais utilizado como elemento básico do sistema de manufatura e

pode incluir a combinação de um ou mais trabalhadores em um ou mais equipamentos. A combinação entre trabalhadores e máquinas deve gerar vantagem para os pontos fortes de cada um, resultando em melhor produtividade. Por exemplo, quando um torno CNC precisa de uma alimentação de uma peça, quem a realiza é o trabalhador, porém, a maioria das funções pode ser realizada automaticamente, nesse caso, o trabalhador realiza a programação e alimentação da máquina. Quanto ao trabalho repetitivo, a máquina pode realizá-lo sem maiores problemas, já um trabalho de desbaste leve pode ser realizado pelo trabalhador de forma manual no CNC.

Sistemas automatizados: são aqueles em que o processo de trabalho é executado pela máquina, sem a participação direta do ser humano. A partir do controle da máquina, um conjunto de instruções é executado, o qual possui os comandos necessários para a realização das ações de processo da máquina. Nesse sistema, a atenção do trabalhador não precisa ser dada a todo momento, mas apenas em momentos determinados de alimentação do sistema, retirada de elementos processados ou manutenção.

Para uma melhor visualização dos tipos de sistemas, a Figura 1.1 mostra as diferenças entre as modalidades apresentadas.

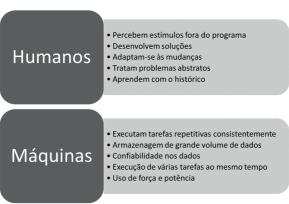
Figura 1.1 | Diferença entre sistemas: (a) sistema manual; (b) sistema trabalhador-máquina: (c) sistema automatizado



Fonte: elaborada pelo autor.

O uso de máquinas e seres humanos tem a característica de suprir uma demanda existente em cada processo de trabalho. As vantagens de cada elemento devem ser aproveitadas de modo a interferir na melhoria do sistema e no aumento da capacidade produtiva, tanto em qualidade quanto em produtividade. A Figura 1.2 mostra um comparativo entre os elementos, destacando suas vantagens.

Figura 1.2 | Comparativo entre as vantagens de utilização de humanos e máquinas em sistemas produtivos



Fonte: elaborada pelo autor



Prezado aluno, diante das qualificações apresentadas a respeito dos humanos e das máquinas, pense em quais tipos de atividades a máquina poderia substituir o homem e em quais atividades o homem poderia substituir a máquina. Entre os trabalhos humanos que podem ser substituídos, quais as principais características desses trabalhos? Quais trabalhos podem influenciar diretamente o fluxo do processo industrial?

A distinção entre os sistemas trabalhador-máquina e sistemas automatizados pode não ser tão clara, pois muitos sistemas trabalhador-máquina operam com um certo grau de automação.

Os sistemas semiautomatizados realizam parte do ciclo de trabalho, normalmente o ciclo principal, sendo que o trabalhador humano opera a máquina no restante do ciclo. Essa operação do trabalhador humano, de modo geral, consiste em carregar ou descarregar a máquina ou executando algum outro tipo de tarefa a cada ciclo. Sistemas totalmente automatizados podem operar vários períodos de trabalho

sem a supervisão humana, não havendo a necessidade da presença do trabalhador em todo o ciclo de trabalho, mas sim em um determinado número de ciclos, como uma máquina CNC com um alimentador automático de peças. Nesse caso, o ser humano pode interagir com a máquina apenas para abastecer o alimentador depois de vários ciclos de trabalho, realizando perfurações, retificas e desbastamento, dependendo do programa, em cada uma das peças.

Processos contínuos, como de indústrias químicas e de processamento de petróleo, são processos que necessitam da garantia do fluxo de produção. Esses processos podem ter um ou mais trabalhadores observando a execução, porém, sem intervir de forma frequente na operação.



Os sistemas até então estudados podem ser categorizados em três: trabalho manual, trabalhador-máquina e automatizado.

**Trabalho manual** consiste no uso do trabalhador e de ferramentas manuais junto ao processo.

**Trabalhador-máquina** consiste em utilizar a máquina no processo mas com o apoio do trabalhador para atividades complementares como alimentação e/ou descarga.

**Totalmente automatizado** consiste em utilizar máquinas ou células que podem trabalhar sem a necessidade da presença humana por uma quantidade de ciclos de trabalho.

Você pode observar que os elementos dos sistemas apresentados são máquinas e homens com vários níveis de interação sobre o processo industrial. Esses níveis dão uma interpretação do grau de automação dos elementos: quanto mais automatizado, menor é a interação do trabalhador com o processo produtivo.

Essa observação dá origem a uma estratégia comumente utilizada para a implementação da automação, considerando o tempo e a demanda do produto. Essa estratégia é definida em três fases:

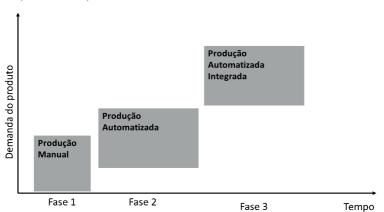
Fase 1: produção manual utilizando uma única célula que opera com um trabalhador de forma independente. É utilizada na introdução de um novo produto por ter um baixo custo e utilizar ferramentas que podem ser feitas rapidamente.

Fase 2: produção utilizando uma única célula automatizada que opera de forma independente. À medida que aumenta a demanda pelo produto e fica claro que a automação se justifica, as células individuais são automatizadas de modo a reduzir a mão de obra e aumentar a produção. As peças ainda são movidas manualmente entre estações de trabalho.

Fase 3: produção automatizada integrada utilizando um sistema automatizado multiestação com operações em série e transferência automatizada das unidades de trabalho entre as estações. Quando a empresa tiver certeza de que o produto será produzido em massa por vários anos, pode-se garantir que a integração das células automatizadas de trabalho individuais reduzirá a mão de obra e aumentará a taxa de produção.

A Figura 1.3 mostra o gráfico comparativo das três fases e demanda do produto.

Figura 1.3 | Fases de implementação de automação, segundo a demanda do produto com o passar do tempo



Fonte: elaborada pelo autor.



Considere que uma empresa de embalagens começa suas atividades com embalagens artesanais, realizando entregas e suprindo uma baixa demanda. Sua produção, nesse caso, é totalmente manual, sendo classificada na primeira fase de implementação da automação.

Quando ocorre um aumento de demanda, há a necessidade de realizar a automatização de suas atividades para atender ao aumento de produção necessário. Nesse ponto, também aumenta a variedade de produtos que podem ser produzidos.

Com a estruturação dessa empresa, ocorre uma necessidade de aumentar ainda mais a produção para atender a uma demanda crescente, e os setores precisam trabalhar integrados, pois, nesta altura, qualquer perda no processo aparece como um grande desperdício. Nesse ponto, realiza-se a integração dos elementos automatizados e até de todo o sistema produtivo.

Outra metodologia utilizada para verificação da necessidade de automação de um processo é conhecida como metodologia USA (*Understand Simplify and Automate*). Suas etapas serão abordadas a seguir:

Compreender o processo existente (Understand)

O primeiro passo da metodologia USA é a compreensão do processo atual e de todos os seus detalhes. Quais são os insumos? Quais são os produtos? O que acontece exatamente com o produto entre sua entrada e sua saída? Qual a função do processo? Como ele acrescenta valor ao produto? Quais são as operações iniciais e finais da sequência de produção? Elas podem ser combinadas ao processo em questão?

### Simplificar o processo

Uma vez compreendido o processo atual, inicia-se a busca por simplificação das ações do processo. Essa etapa normalmente envolve uma lista de perguntas sobre o processo atual. Qual o propósito dessa etapa ou transporte? Pode ser eliminada? Essa etapa utiliza a tecnologia mais adequada? Como essa etapa pode ser simplificada? Existem etapas desnecessárias no processo que podem ser eliminadas sem que se altere a função?

### Automatizar o processo

Depois que o processo estiver reduzido à sua forma mais simples, a automação pode ser considerada. As formas possíveis de automação incluem as estratégias listadas a seguir. Pode-se implementar uma estratégia de migração para a automação para um novo produto que ainda não tenha sido experimentado.

#### Sistemas de apoio à produção

Além da caracterização dos sistemas físicos, os sistemas de apoio da produção são sistemas que garantem o planejamento e gerenciamento do processo, bem como seus dados e sua programação. Nem sempre esses sistemas têm um contato direto com o processo, mas realizam o controle e planejamento das ações a serem tomadas. Esse apoio trata, em sua maioria, de processamento da informação referente aos processos produtivos, que podem ser: funções de negócio, projeto de produto, planejamento da produção e controle da produção.

As funções de negócio são as que realizam a comunicação com o cliente, como previsão de vendas, marketing, registro de pedido, contabilidade, custos e cobrança. É pela previsão de vendas que os dados podem mostrar uma necessidade de demanda e, assim, realizar o planejamento da produção para períodos equivalentes no ano corrente. Por exemplo, quando há sazonalidade de vendas de um certo produto em datas determinadas ou verificação de necessidades de mercado e de aumento de demanda.

O projeto do produto consiste em seguir certas especificações solicitadas pelo cliente (ou mercado) para produtos a serem fabricados ou alterações de produtos em fabricação. A demanda do mercado pode ser um ponto de partida para verificação das necessidades e de um posicionamento da empresa para suprir essa demanda. Isso é o que impulsiona o setor de projetos a realizar estudos de novos produtos ou alteração dos existentes. Esse ponto de partida normalmente provém das necessidades apontadas pelo setor de vendas e são encaminhados para o setor de pesquisa e desenvolvimento e engenharia de projetos.

O planejamento da produção é um dos sistemas que praticamente executa a fabricação do projeto e lida diretamente com os fatores de capacidade de produção e necessidade de materiais. O sequenciamento das atividades do processo individual e operações de montagem fazem parte do planejamento do processo, do plano-mestre e requisitos do projeto e capacidade produtiva. Para o funcionamento correto desse plano, a sistemática de MPS (*Master Production Schedule*) é baseada em uma lista de produtos a serem produzidos com suas devidas submontagens e materiais necessários para realizá-las. Essa sistemática também é implementada no planejamento de necessidade de materiais, sendo conhecida como MRP (*Material Resource Planning*).

Por fim, o controle da produção é a fase que se preocupa com o controle das operações realizadas na fabricação dos produtos, executando, portanto, o plano de produção. O fluxo de informações e dados pertinentes é realizado do plano de produção para o controle de produção, incluindo o controle de chão de fábrica e, consequentemente, do estoque e da qualidade.

O controle do chão de fábrica realiza o monitoramento do progresso do produto sendo processado e manipulado dentro das dependências da fábrica. O controle de estoque objetiva balancear o uso do estoque para manter uma quantidade justificável ao seu custo de manutenção e quantidade movimentada num período de tempo estipulado. O controle da qualidade é responsável por garantir que os componentes de um produto atendam a requisitos especificados no projeto, promovendo a rastreabilidade e o controle desses requisitos e os elementos necessários para a realização desses requisitos.

Esses controles descritos são fatores que se mostram totalmente influenciados quando a automatização dos sistemas é realizada. Parâmetros de qualidade e de produtividade são indicadores visíveis da influência da melhoria na implementação de automatização nos sistemas industriais

Nos sistemas modernos, a computação é um forte aliado e, praticamente, um elemento indispensável para a execução das atividades de apoio da produção. O projeto do produto é executado por sistemas CAD (*Computer Added Design*), que são integrados em um banco de dados central, dando acesso a outros sistemas de apoio. Na produção, os sistemas de planejamento de processos são sistemas que auxiliam o planejamento dos métodos de produção utilizando informações do banco de dados no qual o projeto foi depositado.

Nesses sistemas, a atuação do ser humano ainda é muito necessária. Eles ainda não possuem a capacidade de tomar decisões ou, ao menos, a capacidade de operar em modo automático.

Mesmo com o aumento do nível de automação dos sistemas, as pessoas serão necessárias em atividades de tomada de decisão, aprendizagem, engenharia, avaliação e gerenciamento. Mesmo que todos os sistemas de produção sejam automatizados, ainda assim, serão necessários seres humanos na área de:

Manutenção de equipamentos – especialistas terão de resolver problemas com os sistemas existentes e necessitarão de mão de obra

específica para isso, tanto no planejamento como na execução da manutenção.

Programação de computadores – os programas e suas linguagens sempre terão versões atualizadas e modos de operação que demandarão implementação e atualização de programas, instalação de novas versões de pacotes de software e execução de programas. Mesmo a futura tendência do chamado Machine Learning (trabalho com banco de dados e inteligência artificial para que ocorra a tomada de decisão da máquina), a programação inicial deverá ser implementada para início de funcionamento do sistema.

Engenharia de projeto – a fábrica, mesmo que integrada, sempre demandará melhoria e atualização, seja ferramental ou de elementos de suporte à produção, e sempre será demandado trabalho para atualização e suporte ao sistema produtivo.

*Gerenciamento* – sempre haverá a necessidade de responsáveis pelo funcionamento da fábrica e de suas instalações.

#### Sem medo de errar

Com os pontos estudados, você já pode realizar uma análise inicial dos componentes existentes em um sistema industrial. Lembre-se de que você foi selecionado para realizar a implementação de um projeto de automação em uma empresa de eletrônicos que percebeu um aumento de demanda e decidiu investir em automação para suprir a demanda.

Com os conhecimentos adquiridos, você poderá caracterizar o tipo de sistema existente, se é manual, trabalhador-máquina ou automatizado.

No sistema manual, o processo produtivo é caracterizado por utilização direta de mão de obra com uso apenas de ferramentas, sendo passível de automatização.

O sistema trabalhador-máquina é caracterizado por um trabalhador humano operando um equipamento que realiza um ciclo do processo. Ele pode ser automatizado em escala menor nos processos realizados pelos trabalhadores, como carga e descarga de material para a máquina.

O sistema totalmente automatizado consiste em utilizar máquinas ou células que podem trabalhar sem a necessidade da presença humana. Nesses casos, a automatização é mínima, sendo mais trabalhada a integração desses sistemas com um sistema maior da empresa.

Portanto, os sistemas podem ser classificados depois de se saber quantos e quais são.

Para verificar quais sistemas são passíveis de automatização, será necessário começar pelos manuais, analisando o quanto eles podem ser automatizados. Depois, uma análise de quanto os sistemas trabalhador-máquina estão automatizados para a realização da sua, tornando-os, se possível, totalmente automatizados. Os sistemas totalmente automatizados são verificados para integração entre os sistemas existentes e de outros sistemas que serão automatizados. Nesse ponto, será possível saber quais sistemas são passíveis de automatização. Essa estratégia foi descrita anteriormente e apresentada graficamente na Figura 1.3.

É preciso verificar quais são os sistemas de apoio existentes, como o projeto do produto, o sequenciamento de produção e as etapas do planejamento da produção. Além dessa verificação, é preciso compreender como esses sistemas influenciam os sistemas instalados, definindo, assim, os fatores de desempenho, como qualidade e produtividade, que vão definir e representar a melhoria da implementação dos sistemas industriais comparando-os antes e depois da implementação. Os principais parâmetros a serem influenciados são a qualidade, a produtividade e os tempos dos processos que, seguramente, diminuirão com a automatização. Portanto, com essas avaliações, ficam mais claras as definições introdutórias dos sistemas industriais, dando início às noções necessárias para a análise dos sistemas.

### Avançando na prática

# Análise de automação em uma fábrica de processamento de chapas metálicas

### Descrição da situação-problema

Prezado aluno, imagine que você trabalha em uma indústria de modelagem de chapas. Essa indústria verificou que seu principal cliente necessitava de um aumento do número de pedidos referentes a dois produtos que dependiam do processo de corte e dobra de chapas. No momento em que esse pedido foi realizado, foi percebido que os setores de corte e dobra funcionavam com máquinas de acionamento manual e que, na condição atual, a capacidade produtiva estava atingindo seu valor máximo. Foi proposto, então, que fosse realizada a automação desses setores, porém, sabe-se que a adaptação dos cortes das chapas necessitará de elementos de ajustes, que já são utilizados no sistema atual de forma manual, até a parte automatizada funcionar plenamente. Como podemos realizar essa automação? O que deverá ser avaliado?

#### Resolução da situação-problema

Para automatizar elementos/máquinas manuais, pode-se verificar se células trabalhador-máquina conseguem suprir a demanda pedida, caso contrário, deverá ser recomendado o uso de sistemas totalmente automatizados que podem aumentar os ciclos de trabalho para esse caso específico, sabendo que há disponibilidade de maquinários referentes a corte e dobra de chapas que funcionam automaticamente.

Um dos métodos que podem ser utilizados é o USA, para a verificação dos elementos passíveis de automatização. Lembrando que esse método consiste em **conhecer** (*Understand*) os sistemas produtivos para compreender o que pode ser **simplificado** e, por fim, os elementos do sistema produtivo que podem ser **automatizados**.

Os sistemas de suporte deverão der verificados para certificar-se de que eles poderão realizar tal suporte e se os dados resultantes desses novos elementos auxiliarão na produtividade e qualidade.

Por fim, com relação à adaptação dos elementos de ajuste, pode-se dispor de sistemas trabalhador-máquina para realização dos ajustes de forma padronizada, considerando um baixo volume de retrabalho.

### Faça valer a pena

**1.** Em uma indústria, dependendo do tipo de layout de produção, alguns setores são equipados com ferramentas como furadeiras e lixadeiras para retrabalhos em peças que possuem algum ajuste que não comprometa o funcionamento do produto final.

Qual a classificação do sistema descrito?

- a) Trabalhador-máquina.
- b) Totalmente automatizado.
- c) Trabalho manual.
- d) Parcialmente automatizado
- e) Sistema de retrabalho.
- **2.** Um sistema industrial possui células de produção que são totalmente automatizadas e células de produção que são de processo manual.

Qual alternativa mostra as vantagens de se usar humanos e as vantagens de se usar máquinas nos processos produtivos?

- a) Os humanos desenvolvem soluções, e as máquinas se adaptam às mudanças.
- b) Os humanos podem aprender com o histórico, e as máquinas podem usar a forca e potência.
- c) Os humanos podem tratar dados com total confiabilidade, e as máquinas podem executar várias tarefas ao mesmo tempo.
- d) Os humanos podem armazenar um grande volume de dados, e as máquinas podem tratar problemas abstratos.
- e) As máquinas percebem estímulos fora do programa, e os humanos têm problemas em executar tarefas repetitivas.

**3.** Um sistema de apoio à produção foi implementado para garantir que os dados relativos ao quanto seria necessário para produzir fossem otimizados para reduzir os desperdícios.

Sabendo que os requisitos necessários para a execução da produção devem vir do planejamento, qual o setor que pode indicar quais são as necessidades de demanda para a realização do planejamento?

- a) Produção de chão de fábrica.
- b) Expedição de produtos.
- c) Gerenciamento de projetos.
- d) Vendas e marketing.
- e) Pesquisa e desenvolvimento.

# Seção 1.2

# Sistemas industriais automatizados: robôs e comando numérico

### Diálogo aberto

Caro aluno, os conceitos referentes aos sistemas industriais foram abordados na seção anterior, os quais servirão de suporte para compreensão dos elementos básicos utilizados nos sistemas industriais.

Nesta segunda seção, vamos conhecer os manipuladores robóticos e máquinas automatizadas de comando numérico, que são partes fundamentais dos sistemas industriais e ganham mais espaço a cada dia, tornando seu estudo cada vez mais necessário.

Imagine uma empresa de fabricação de eletrônicos: ela percebeu que um de seus produtos começou a fazer sucesso por integrar várias funções em um componente justamente voltado ao público infantil. Nesse ponto, percebeu-se um aumento de sua demanda de mercado e verificou-se a necessidade de realizar um investimento em automação do seu sistema produtivo para aumentar a produção, suprindo a demanda e melhorando também índices de qualidade e produtividade da sua linha de produção.

Observando esse desafio, você foi selecionado para realizar o levantamento e a verificação do sistema produtivo dessa empresa para implementação de tecnologias que vão ajudá-la a atingir seu plano estratégico. Para essa tarefa, será necessário conhecer o tipo de sistema produtivo e quais as reais necessidades do sistema para realizar uma implementação de tecnologias de automação nos pontos certos e sem gastos desnecessários.

Uma análise inicial resultou na classificação dos sistemas e na verificação da possibilidade de automatização para cada sistema, contando com a integração deles. Percebeu-se, nessa empresa, que as máquinas que utilizam comando numérico possuem apenas os comandos para programação de etapas predefinidas e, consequentemente, parte do tempo gasto dos funcionários é na alimentação de matéria-prima das máquinas.

Você também verificou que parte das montagens industriais de elementos manuais é simples e demanda a maior parte do tempo dos trabalhadores que, por motivos de rotatividade, acabam por desempenhar essa função.

Em conjunto, os elementos do processo produtivo, máquinas e funcionários têm tempos diferentes, ocasionando esperas em determinados pontos do processo. Essas esperas podem causar uma intermitência no fluxo produtivo, resultando em mais tempo de processamento.

Quais os principais elementos desse sistema que consomem mais tempo e recurso?

Pode-se verificar algum tipo de subutilização dos maquinários existentes?

Quais as principais limitações para a implementação de robôs no sistema produtivo, uma vez que alguns processos ainda são mais otimizados com trabalho manual?

Vamos, então, compreender o funcionamento dos principais elementos utilizados nos sistemas industriais e sua importância para a resolução do nosso problema.

Bons estudos!

### Não pode faltar

No início da década de 1800, os três elementos básicos de um sistema automatizado – fonte de energia, controles e máquinas programáveis – já haviam sido desenvolvidos, embora ainda fossem primitivos se comparados aos padrões atuais. Foram necessários muitos anos de aprimoramento e de novas invenções e desenvolvimentos, tanto nos elementos básicos como na infraestrutura das indústrias de produção, para que os sistemas de produção totalmente automatizados se tornassem realidade comum (GROOVER, 2013).

Um sistema automatizado é composto por três elementos:

(1) Energia para concluir os processos e operar o sistema: quando um sistema automatizado é utilizado para operar e controlar alguns processos, é necessária energia para conduzir esses processos e controles. Nos sistemas automatizados, a principal fonte de energia é a eletricidade. Além dos requisitos básicos de energia para as operações de produção, energia adicional é necessária na automação.

- (2) Um programa de instruções que direcione os processos: as ações do processo necessárias para a manufatura são definidas por um programa de instruções. Mesmo que a operação envolva uma produção baixa, média ou alta, cada peça ou cada produto realizado envolve uma ou mais etapas de processamento, que são únicas da peça ou do produto manipulado. Essas etapas de processamento são executadas durante um ciclo de trabalho.
- (3) Um sistema de controle que execute as instruções: o elemento de controle em um sistema automatizado executa o programa de instruções. Essas instruções são responsáveis pelas etapas necessárias para a realização da operação de produção.

#### O controle numérico

Em meados dos anos de 1960, foi desenvolvido o conceito de controle numérico direto (do inglês, direct numerical control - DNC), no qual máquinas-ferramenta individuais eram controladas por um computador de grande porte, distante das máquinas.

O CN (controle numérico) consiste de três componentes básicos: (1) um programa de instruções, (2) uma unidade de controle de máquina e (3) um equipamento de processamento. A relação comum entre os três componentes é ilustrada na Figura 1.4.

Figura 1.4 | Elementos básicos de um sistema de controle numérico



Fonte: elaborada pelo autor.

O programa do processo é o conjunto de comandos detalhados que dirigem as ações do equipamento de processamento. O programa é codificado em um meio adequado para a apresentação à unidade de controle da máquina. O programa transforma as linhas de comando em coordenadas x-y-z, velocidade de rotação do eixo, sentido de rotação e outros comandos relacionados à operação

A unidade de controle da máquina (MCU) (unidade de controle da máquina – *Machine Control Unit*, em inglês) é um microcomputador, e seus periféricos, que armazena as instruções do programa e as executa

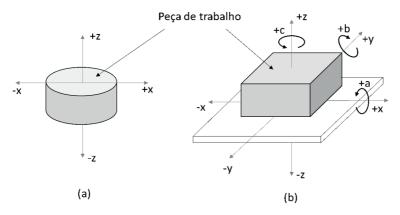
convertendo cada comando em ações mecânicas do equipamento de processamento, um comando por vez. Os periféricos relacionados à MCU incluem componentes de comunicação com o equipamento de processamento e elementos de controle de realimentação (feedback).

O equipamento de processamento executa o real trabalho produtivo (por exemplo, a usinagem). Ele realiza os passos do processamento para transformar a peça inicial em uma peça terminada. Sua operação é dirigida pela MCU que, por sua vez, é dirigida pelas instruções contidas no programa da peça.

#### Sistema de coordenadas do controle numérico

Para realizar a programação do equipamento de processamento do CN, a programação deve ser definida a partir de um sistema de eixos padrão pelo qual a posição do elemento de ação (conhecido como cabeçote) possa ser especificada. Há dois sistemas de eixos usados no CN, um para peças de trabalho rotacionais e outro para peças de trabalho planas e prismáticas. A Figura 1.5 mostra a representação desses eixos no sistema de coordenadas.

Figura 1.5 | Sistemas de coordenadas utilizados em máquinas CN: (a) peça de trabalho rotacional, (b) peça de trabalho prismática



Fonte: elaborada pelo autor.

Os eixos de coordenadas para um sistema de CN rotacional estão ilustrados na Figura 1.5(a). Esses sistemas estão associados com tornos e centros de torneamento de CN. Considerando que o referencial permita que a peça gire, em vez da ferramenta, dois eixos são suficientes para realizar a ação. O caminho de uma ferramenta de corte relativa à peça é definido no plano x-z, em que o eixo x é a localização radial da

ferramenta e o eixo z é paralelo ao eixo de rotação da peça.

Na Figura 1.5b, existem eixos de rotação especificados como a, b e c. Esses eixos são posicionados de forma angular em relação aos eixos x, y e z respectivamente.

Os eixos rotacionais podem ser usados para a orientação da peça, apresentando diferentes superfícies para a usinagem e/ou orientação de ferramenta ou cabeçote em algum ângulo relativo a algum eixo da peça ou alguma superfície dela. Esses eixos adicionais permitem a usinagem de geometrias complexas.

O sistema de coordenadas é um ponto fundamental para a realização dos movimentos de ferramenta e objeto de trabalho. O posicionamento pode ser absoluto ou incremental.

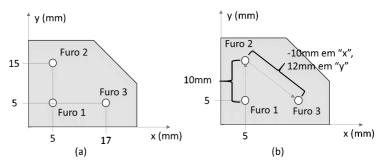
No **posicionamento absoluto**, o posicionamento do cabeçote sempre é definido em relação à origem do sistema de eixos.

No **posicionamento incremental**, a próxima posição do cabeçote é definida em relação à sua posição atual.



Considere uma peça na qual será necessário realizar três furos. A indicação da posição dos furos e do seu posicionamento pode ser esquematizada conforme a figura a seguir.

Figura 1.6 | Diferença entre posicionamento em CN: (a) posicionamento absoluto, (b) posicionamento incremental



Fonte: elaborada pelo autor.

Quando os furos forem realizados utilizando o **posicionamento absoluto**, o programa vai compreender que os furos serão realizados nas posições, considerando os pontos representados por Furo = (coordenada em x, coordenada em y) mm:

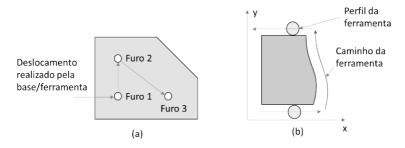
$$Furo1 = (5,5)mm$$
  
 $Furo2 = (5,15)mm$   
 $Furo3 = (17,5)mm$ 

Esses pontos são referenciados pelo plano cartesiano representado na figura.

No **posicionamento incremental**, a máquina partirá para a realização do Furo 1 e, a partir dele, deslocar-se-á 10 mm positivamente (para cima) no eixo y para realização do Furo 2. Depois se deslocará 10 mm negativamente (para baixo) no eixo y e 12 mm positivamente no eixo x.

Além do sistema de coordenadas, o controle da trajetória é um item importante para a programação de CN. Imagine que uma peça precisa ser feita e são necessários três furos nela. Esses furos podem ser programados a partir de seus pontos de referência, seguindo uma sequência de movimentação da máquina para a realização da ação ponto a ponto. Nessa trajetória, não há uma preocupação a respeito do caminho a ser utilizado para que a máquina movimente a ferramenta/ objeto de trabalho até o ponto referenciado. A Figura 1.7a mostra o deslocamento realizado para alcançar o posicionamento dos pontos de perfuração.

Figura 1.7 | Esquema de trajetória: (a) ponto a ponto para realização de furos em uma peça, (b) trajetória contínua para ação em superfície



Fonte: elaborada pelo autor.

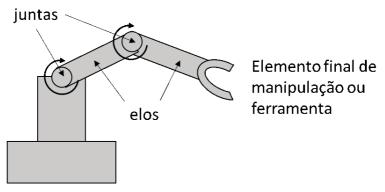
Quando é importante saber a trajetória necessária para a realização de uma ação, a programação deverá considerar um controle de trajetória contínuo. Esse controle considera a trajetória, pois a ferramenta fará uma ação durante o percurso da trajetória. A Figura 1.7b mostra um exemplo em que uma ferramenta de tratamento superficial pode percorrer uma trajetória realizando uma ação por toda a superfície da peça.

#### Manipuladores robóticos

Um robô industrial é uma máquina programável de aplicação geral. Alguns robôs possuem determinadas características antropomórficas. Uma dessas características mais utilizadas em um robô industrial é o braço mecânico, com desempenhos múltiplos em tarefas industriais.

O manipulador de um robô industrial consiste de uma série de articulações (ou juntas, do inglês, *joints*) e elos (do inglês, *links*). Os eixos aos quais as juntas ficam posicionadas definem os graus de liberdade de um robô, portanto, um robô com 3 graus de liberdade possui 3 juntas (3 eixos) e um robô com 4 graus de liberdade possui 4 juntas (4 eixos). A anatomia de um robô diz respeito aos tipos e tamanhos dessas articulações e elos, além de outros aspectos da construção física do manipulador. A figura a seguir mostra os elementos de juntas e elos de um robô

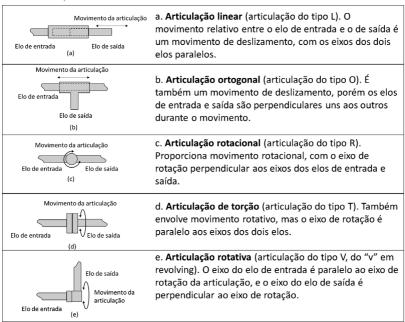
Figura 1.8 | Desenho esquemático do aspecto físico de um robô industrial mostrando suas juntas e seus elos



Fonte: elaborada pelo autor.

As juntas podem ser classificadas de acordo com o tipo de movimento a ser realizado. Os cinco tipos de articulações, bem como suas definições, são apresentados na próxima figura.

Figura 1.9 | Cinco tipos de articulações comumente usadas na construção de robôs industriais: (a) articulação linear (do tipo L), (b) articulação ortogonal (do tipo O), (c) articulação rotacional (do tipo R), (d) articulação de torção (do tipo T) e (e) articulação rotativa (do tipo V)



Fonte: elaborada pelo autor

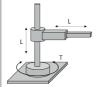


Configurações de corpo e braço. Dados os cinco tipos de articulações definidos acima e sabendo que a combinação entre elas é uma prática comum no projeto de manipuladores robóticos, supondo um robô com três graus de liberdade, existem  $5 \times 5 \times 5 = 125$  combinações de articulações que podem ser usadas para projetar o manipulador robótico. Além disso, há variações de design dentro dos tipos de articulações individuais (por exemplo, tamanho físico da articulação e raio de ação do movimento). Mesmo assim, as configurações básicas de robôs com 3 graus de liberdade possuem 5 tipologias que observam o espaço de trabalho do manipulador. Essas possíveis configurações, para manipuladores de três graus de liberdade, podem ser apresentadas de acordo com a seguinte figura.

Figura 1.10 | Configurações de braços robóticos com 3 graus de liberdade considerando os diferentes tipos de articulação utilizados



1. **Configuração polar**. Essa configuração consiste de uma base que gira em torno de um eixo vertical (articulação T); um eixo horizontal realizando um giro perpendicular ao eixo da base (articulação R) e um braço deslizante (articulação L) acionado em relação ao corpo.



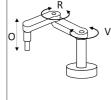
2. **Configuração cilíndrica**. Essa configuração consiste de uma coluna vertical, a qual um conjunto de braço é movido para cima ou para baixo. O braço pode ser movido para dentro e para fora em relação ao eixo da coluna.



3. **Robô de coordenadas cartesianas**. Outros nomes para essa configuração incluem robô retilíneo e robô x-y-z. Este robô é composto de três articulações deslizantes, duas das quais são ortogonais.



4. **Robô articulado**. O braço articulado consiste de uma coluna vertical que gira em torno da base usando uma articulação T. No topo da coluna há uma articulação de ombro (mostrada como uma articulação R na figura), cujo elo de saída conecta-se a uma articulação de cotovelo (outra articulação R).



5. SCARA. Acrônimo para Selective Compliance Assembly Robot Arm (Braço Robótico para Montagem com Flexibilidade Seletiva). Este braço é muito rígido na direção vertical, mas complacente na direção horizontal. Isso permite que o robô realize tarefas de inserção (em montagens) na direção vertical, na qual algum alinhamento na lateral pode ser necessário para casar as duas pecas de maneira apropriada.

Fonte: elaborada pelo autor.

Os elementos finais dos manipuladores robóticos são considerados ferramentas. Eles podem ser garras de manipulação, garras de sucção, bicos de pintura, pontas de solda, entre outros.

# Pesquise mais

A versatilidade de um braço robótico manipulador vai além de seus aspectos construtivos, outros aspectos importantes estão na sua ferramenta, no extremo do manipulador, em que a ação é realizada no processo produtivo. Algumas dessas garras podem ser vistas no vídeo referenciado abaixo em uma linha de produção de motores:

INDUSTRIAL, Accede Automação. **Células de manipulação**. 2015. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=AnYp-T1mZCc">https://www.youtube.com/watch?v=AnYp-T1mZCc</a>. Acesso em: 15 set. 2017.

Outro exemplo, de uma forma específica, pela sua utilização na construção civil.

TECHZONE. **As 10 máquinas de construção mais incríveis.** 2017. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=D5IKHaYz0gs">https://www.youtube.com/watch?v=D5IKHaYz0gs</a>. Acesso em: 15 set. 2017.

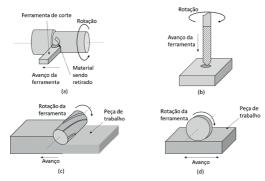
### Aplicações dos sistemas industriais automatizados

As aplicações mais comuns do CN estão no controle de máquinas-ferramenta, cuja primeira aplicação foi em usinagem.

A usinagem é um processo de produção no qual a geometria do trabalho é produzida por meio de remoção de material. O controle do movimento relativo entre uma ferramenta de corte e a peça cria a geometria desejada.

Há quatro tipos comuns de operações de usinagem: (a) torneamento, (b) furação, (c) fresamento e (d) retífica. Essas operações são representadas esquematicamente a seguir.

Figura 1.11 | Operações comuns utilizadas em ferramentas de processo de usinagem: (a) torneamento, (b) furação, (c) fresamento e (d) retifica



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao longo dos anos, certas características de manufatura de peças foram identificadas como mais adequadas à aplicação do CN.

**Produção em lote**: o CN é mais apropriado para peças sendo produzidas em lotes de tamanho pequeno ou médio. A automação dedicada não seria viável economicamente para essas quantidades devido ao alto custo fixo. A produção manual necessitaria de muitas preparações separadas de máquinas e resultaria em alto custo de trabalho, maior tempo de produção e maior taxa de refugos.

Geometria complexa de peças: peças com geometria que demandam mais elaboração para sua manufatura, como superfícies definidas de forma matemática em projetos precisos que necessitam de peças únicas. Algumas dessas geometrias seriam difíceis, de serem produzidas de forma precisa com as máquinas-ferramenta convencionais.

**Muito material a ser removido da peça**: devido à geometria da peça, muitos projetos são manufaturados a partir de blocos de material para que as ferramentas existentes nas máquinas possam retirar material para formar a peça. Essas peças são comuns na indústria de aviação na fabricação de seções estruturais grandes com baixo peso.

Muitas operações de usinagem diferenciadas na peça: conforme a complexidade da peça, maior é a necessidade de operações diferenciadas de usinagem. Se essas operações fossem usinadas por uma série de operações manuais, muitas preparações seriam necessárias. O número de preparações pode ser reduzido com o uso do CN.

A precisão atingida pelo CN: normalmente, a precisão obtida utilizando máquinas comandadas por CN tende a atingir bons resultados para a qualidade. No trabalho repetitivo, um erro pode ser propagado para um lote todo, por isso a vantagem atingida.



Sabendo agora dos detalhes do CN e principalmente suas operações básicas, a quantidade de operações a serem realizadas em uma peça depende da forma com que a peça deverá ser concebida. A função principal da máquina CN pode definir o tempo e a parte do processo a ser realizado em uma peça? Do que depende o layout final do processo produtivo quando consideradas as máquinas CN como máquinas importantes nesses processos? Além dos tempos de processo, o que a programação nas máquinas CN devem abordar?

Os manipuladores robóticos também possuem atividades comumente atribuídas a eles:

Ciclo de trabalho repetitivo: caso a sequência de elementos no ciclo seja a mesma e os elementos consistam de movimentos relativamente simples, um robô normalmente é capaz de desempenhar o ciclo de trabalho mais consistente e repetitivo de forma melhor e mais rápida que um trabalhador, por esse motivo, alcançar mais qualidade é um ponto comum quando comparado ao trabalho realizado manualmente.

Atividades de difícil manuseio: o manuseio de peças ou ferramentas pesadas é complicado e limitante para um trabalhador, então um robô industrial pode ser disponibilizado para que ele realize essa operação, uma vez que o robô pode suportar movimentos diferentes e força maior que as exigidas de um ser humano.

**Operação em vários turnos**: em operações manuais que exigem mais turnos de trabalho, quando substituídos por robô, proporciona-se retorno financeiro mais rápido do que a operação de turno único.

Os manipuladores robóticos podem ser empregados em aplicações típicas, como manuseio de materiais. Esse manuseio pode compreender a transferência de materiais dentro da planta fabril e as atividades de carga e descarga.

Na transferência de materiais, o manipulador tem a finalidade de pegar peças em uma posição e descarregá-las em outra. Normalmente, ocorre uma reorientação da peça para facilitar o próximo processo.

A transferência de peças de um transportador também é um tipo de tarefa comumente utilizado. As exigências da aplicação não requerem complexidade, um robô de baixa tecnologia pode realizá-la normalmente.

Um exemplo de transferência de materiais é a paletização, na qual o robô busca peças, caixas de papelão ou outros objetos de uma localização e os deposita em um palete ou em contêineres em posições distintas do sistema produtivo.

Ainda no manuseio de materiais, as aplicações de carga e/ou descarga são caracterizadas quando o robô transfere peças para alimentação de uma máquina de produção. Esses manuseios podem ocorrer de três formas: (1) carga de máquinas, na qual o robô carrega peças para dentro da máquina de produção; (2) descarga de máquinas, na qual o robô descarrega as peças terminadas; e (3) carga e descarga de máquinas, que envolve tanto a carga da peça bruta como a descarga da peça concluída pelo robô.

Em aplicações de processamento, o robô realiza alguma operação de processamento em uma peça, como retífica ou pintura. Para realização dessa função, o robô deve ser equipado com alguma ferramenta no seu efetuador (efetuador é o elemento final de um braço robótico que realiza uma tarefa, como solda, pintura, garra etc.). Em algumas aplicações de processamento, mais de uma ferramenta pode ser usada durante o ciclo de trabalho. Nesses casos, um mandril porta-ferramenta de troca rápida é usado para substituir as ferramentas durante o ciclo.

Exemplos de aplicações de robôs industriais na categoria de processamento incluem soldagem a ponto, soldagem a arco, pintura, diversas usinagens e outros processos que usam eixos rotativos.

Aplicações de montagem e inspeção em que se utilizam braços robóticos podem envolver o manuseio de materiais ou a manipulação de uma ferramenta. Por exemplo, operações de montagem podem envolver a adição de componentes para a fabricação de um produto, sendo necessária a movimentação de peças de um local de suprimento para outro em que a montagem é realizada. Em alguns casos, a adição de componentes exige que o robô utilize alguma ferramenta de fixação (para parafusar ou soldar). Do mesmo modo, quando é realizada uma inspeção de algum componente produzido, o robô, além de manusear materiais, pode até mesmo utilizar ferramentas de inspeção.

## Controle dos sistemas industriais automatizados: robôs e comandos numéricos

O controle dos sistemas automatizados referenciados nesta seção (controle numérico e robôs) tem uma similaridade por possuir uma necessidade de processamento central, sendo a MCU das máquinas de controle numérico ou sendo o sistema central de controle dos manipuladores robóticos.

Basicamente, o controle se dá quando a central de processamento fornece os blocos de instrução para a máquina-ferramenta/robô por demanda; quando a máquina necessita de comandos de controle, eles são comunicados imediatamente. À medida que cada bloco de instruções é executado pela máquina, o próximo bloco de instruções é transmitido.

Esse tipo de funcionamento realiza as tarefas apenas para cada máquina em questão. Quando várias máquinas estão disponíveis para operação em uma linha, a comunicação e um controle central

para organização das operações são necessários. Dessa necessidade surgiu a rede de comunicação de dados utilizada industrialmente. Essa rede tem o objetivo de compartilhar os dados entre os componentes automatizados e auxiliar o processamento de uma central para verificação da operação da planta fabril.

Além de transmitir dados para as máquinas, o processamento central também recebe dessas máquinas os dados que indicam o desempenho operacional da fábrica (por exemplo, o número de ciclos completos de usinagem, utilização de máquinas e falhas).

#### Sem medo de errar

Lembre-se de que você verificou, ao realizar a análise prévia de um sistema de produção em que se deseja aumentar a produção com automação do processo produtivo, que as máquinas de comando numérico realizam apenas a programação de etapas predefinidas. Agora você sabe que as máquinas que utilizam CN podem funcionar com transmissão e recebimento de dados, podendo realizar mais de um tipo de programação, permitindo que se realize, assim, mais de um tipo de operação. Portanto, o uso de uma central de processamento interligando essas máquinas pode flexibilizar a produção, reduzindo tempos de setup e pré-processamentos.

Outro ponto é a alimentação das máquinas de CN realizada por trabalhadores. Sabendo que a manipulação de materiais é uma das principais atividades atribuídas aos manipuladores robóticos. Para a diminuição da intermitência de fluxo produtivo, a implementação de um manipulador robótico na alimentação da máquina de comando numérico é o primeiro passo.

Outro passo é analisar a programação das máquinas de comando numérico para verificar se estão realizando todas as funções que poderiam ser realizadas para otimizar o tempo de processo. Se alguma atividade realizada por trabalhadores, como furação ou desbaste, poderia ser implementada em uma máquina CNC, então, a otimização desse processo fará com que o tempo de processamento possa ser reduzido.

Quanto mais manipulação de materiais for necessária para a realização do processo, maior é a quantidade de dados e comandos que um manipulador robótico precisará para realizar essa função. Além da necessidade de realizar movimentos com mais graus de liberdade,

o que aumenta o preço do manipulador, a programação demandará muitas linhas de comando para a execução de tarefas manuais sensíveis e que necessitam de uma percepção humana para sua realização. Diante dessas tarefas, você deverá analisar se vale a pena investir em um manipulador robótico ou manter a linha com o trabalho manual.

Caso a escolha seja pelo manipulador robótico, os tempos de processamento deverão ser otimizados a partir de um processamento central. Se, em vez do manipulador, a escolha for pela permanência dos trabalhadores, então, os tempos produtivos deverão respeitar os tempos dessas operações com humanos para não os sobrecarregar e manter um fluxo constante na linha de produção.

Dessa forma, concluímos esta seção verificando pontos práticos a serem observados na implementação de elementos de automação, portanto, vamos exercitar um pouco mais.

### Avançando na prática

### Despaletização de depósito de bebidas

### Descrição da situação-problema

Vamos observar o caso de uma empresa que produz milhares de litros de bebidas por semana. Essa empresa levantou alguns dados e percebeu que a operação que demanda mais funcionários e tempo é a despaletização das garrafas que serão utilizadas para armazenar as bebidas. Sabe-se que a variedade é grande, com garrafas de 600 ml, 1 litro, 2 litros e 2,5 litros. O trabalho a ser realizado pelos funcionários é de abrir o palete e separar cada garrafa em esteiras distintas que abastecem a linha de produção para cada capacidade em volume. Nesse contexto, é perguntado a um especialista na área de automação como poderia ser automatizado esse processo. O que deve ser considerado? Quais são as limitações?

### Resolução da situação-problema

Para o caso de manipulação de garrafas, um braço robótico pode ser utilizado. O braço robótico pode ser programado para realizar o descarregamento de cada palete suprindo as variações de cada embalagem. A programação do braço robótico envolve também a necessidade de separar cada embalagem de bebida de acordo com a esteira representativa de seu volume. As considerações para

a realização dessa tarefa devem ser o posicionamento do braço, um sensor de pressão para, quando manipuladas as garrafas, não realizar a manipulação com uma força que possa danificar as embalagens ou as garrafas. Esse sensor também pode distinguir se as garrafas são de vidro ou de plástico, mesmo não sendo especificado no enunciado.

As limitações para a implementação são de espaço, um manipulador pode operar abastecendo todas as 4 esteiras, dependendo do tempo necessário para alimentar as esteiras. Outra limitação é o espaço físico, pois os manipuladores têm um volume de trabalho que limita a atuação. Outros tipos de manipuladores, como guindastes ou pontes rolantes automatizadas podem ser uma alternativa, pois trabalham com um espaço vertical acima do chão da fábrica.

### Faça valer a pena

**1.** O controle numérico é uma forma de automatizar uma máquina para a realização de tarefas repetitivas.

Quais os elementos necessários para a composição de um sistema com controle numérico?

- a) Os sensores, a unidade de controle de máquina e os atuadores.
- b) O programa de instruções, a unidade de controle de máquina e as ferramentas de atuação.
- c) O programa de instruções, a unidade de controle de máquina e o equipamento de processamento.
- d) O braço robótico, a unidade de controle de máquina e o equipamento de processamento.
- e) O braço robótico, os sensores e o equipamento de processamento
- **2.** Considere as afirmações a respeito do sistema de posicionamento de máquinas de controle numérico:
- I No **posicionamento absoluto**, o posicionamento do elemento de ação sempre é definido em relação à origem do sistema de eixos.
- II No **posicionamento incremental**, a próxima posição do elemento de ação é definida em relação a posição do sistema de eixos.
- III O **volume de trabalho** de um CNC é considerado esférico, independentemente do número de eixos de trabalho.

Qual(is) a(s) alternativa(s) CORRETA(S)?

- a) Apenas a I.
- b) Apenas a II.
- c) Apenas a III.
- d) Alternativas I e II.
- e) Alternativas I e III.

**3.** Os manipuladores robóticos podem ser empregados em aplicações como as atividades de carga e descarga e aplicações de processamento de materiais.

São atividades de carga e descarga e aplicações de processamento de materiais, nesta ordem, as atividades:

- a) Transporte de matéria-prima e cálculo de dados.
- b) Alocação de componentes de um alimentador para uma esteira e solda de peças metálicas.
- c) Pintura de peças e despaletização.
- d) Despaletização e a transferência de um componente de uma esteira para uma furadeira.
- e) Transferência de um material entre esteiras e carregamento de caminhão

## Seção 1.3

# Sistemas industriais automatizados: sistemas de transporte e de manipulação

### Diálogo aberto

Nesta seção, trataremos do transporte no sistema produtivo, especificamente sobre o transporte interno.

Diante dessa perspectiva, vamos retomar nosso contexto, no qual uma empresa de fabricação de eletrônicos percebeu um aumento da demanda de um componente utilizado em produtos infantis, e, portanto, foi realizada uma análise do seu sistema produtivo.

Tópicos básicos sobre sistemas produtivos foram estudados, suas classificações e modos de automação.

Foram observados também os equipamentos comumente utilizados em automação e suas interações com o sistema produtivo.

No estudo realizado nas seções anteriores, você percebeu que grande parte dos recursos gastos em todo o sistema produtivo vem do transporte de materiais. Mesmo que os maquinários tenham baixo tempo de processo, os materiais ainda precisam chegar até as máquinas para serem processados.

Quais tipos de transporte de materiais podem ser implantados dado que esse tipo de transporte é executado de diferentes modos dentro dos processos analisados, considerando ainda que a maioria apresenta reduzida eficiência quanto à capacidade?

Como os sistemas de transporte e manipulação poderão auxiliar nessa estratégia?

Quais os principais pontos a serem verificados quanto à implementação desses tipos de transporte?

Nesta seção, vamos, então, compreender os requisitos para os sistemas de transporte.

### Não pode faltar

O manuseio de materiais pode ser definido como o controle, o deslocamento, o armazenamento e a proteção de materiais por meio de processos de manufatura (GROOVER, 2013). É desejável que

o manuseio de materiais seja realizado com um baixo custo, com a melhor eficiência e segurança. O foco principal desta seção será o manuseio de materiais dentro de um sistema produtivo. Primeiramente, nós veremos os principais requisitos para o manuseio de materiais e, então, identificaremos algumas das considerações exigidas no projeto e aplicação de sistemas de manuseio de materiais que é a função básica dos sistemas de transporte.

No que se refere ao sistema produtivo, o manuseio de materiais é uma das atividades mais importantes. Nesse sentido, logística pode ser aplicada como o termo mais usual para sistema de transporte, referindo-se desde a aquisição até a distribuição de materiais e produtos, passando pelas etapas de deslocamento e armazenamento e abrangendo o planejamento e o controle dessas operações até atingir a demanda do cliente.

Dessa forma, entende-se que logística interna e logística externa são subcategorias de operações logísticas. Quando queremos nos referir ao transporte e às atividades externas a uma instalação industrial, então consideramos o conceito de **logística externa**, envolvendo, em muitos casos, o deslocamento de materiais entre distintos pontos geográficos.

A **logística interna**, descrita até então como manuseio de materiais, envolve deslocamento e armazenamento de materiais dentro de uma determinada instalação industrial. A Figura 1.12 mostra esquematicamente a relação da logística externa com a logística interna.

Estoque

| Clientes |

Figura 1.12 | Relação da logística interna com a externa considerando um sistema produtivo simplificado

Fonte: elaborada pelo autor.

As atividades de manuseio de materiais e carregamento ocorre dentro da empresa nos seguintes locais:

- Entradas e saídas de estações de trabalho ou centros de trabalho mais sofisticados, automatizados, que desempenham operações produtivas.
- Instalações de carga e descarga, frequentemente realizadas por robôs, que movem peças para as estações de trabalho.
- Instalações de transporte/manuseio de materiais, que movem peças entre estações de trabalho.

Para a realização do transporte de materiais, as características de manuseio devem ser os primeiros requisitos a serem considerados. Os materiais podem ser classificados pelas características físicas apresentadas na Tabela 1.1, sugerida no esquema de classificação de Muther e Haganäs (1969). O projeto do sistema de manuseio de materiais deve levar em conta esses fatores.

Tabela 1.1 | Classificação das características físicas dos materiais

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

Fonte: elaborada pelo autor.

Além das características dos materiais, para se determinar o sistema de transporte a ser utilizado, outros fatores devem ser considerados, segundo Groover (2013), como:

1. Quantidades e vazões dos materiais que serão deslocados: a quantidade de material que será deslocada afeta o tipo de sistema de manuseio que deve ser instalado. Se grandes quantidades de material devem ser manuseadas, então, é apropriado o uso de um sistema de

manuseio específico para esses itens. Caso a quantidade de um tipo de material em particular seja pequena, mas são diversos tipos de materiais que serão deslocados, então, o sistema de manuseio deve considerar o compartilhamento entre os vários materiais deslocados.

A quantidade de material deslocada deve ser considerada também em relação ao tempo necessário para esse deslocamento. Normalmente, a quantidade de material movida por unidade de tempo é caracterizada como vazão.

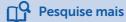
2. **Fatores de roteamento**: o roteamento é a atividade de busca e entrega de materiais, e esta considera distâncias de deslocamento, variações de rota e condições que existem ao longo das rotas.

Variações de roteamento podem ocorrer porque diferentes materiais necessitam de diferentes padrões de fluxo nas células de produção e armazenamento. Com essas diferenças, o sistema de manuseio de materiais deve ser flexível o suficiente para suprir todas as necessidades.

3. **Tempo dos deslocamentos**: é o tempo ou instante de cada entrega individual. Na produção, assim como em outras aplicações de manuseio de materiais, o material deve ser carregado de algum local e entregue em seu destino apropriado, de forma correta, para manter um alto desempenho e eficiência do sistema como um todo. Quando a variável de tempo é considerada nesse requisito, a urgência ou necessidade de diminuição de tempo acaba acarretando custos ao sistema de entrega. De um modo geral, quanto mais urgente mais caro será o sistema de entrega.

Um dos principais elementos que influencia diretamente no tempo de transporte de materiais é o layout das instalações, pois esse é um fator importante no projeto de um sistema de transporte de materiais e sua influência é crucial no tempo de transporte. Para uma nova instalação, o projeto do sistema de transporte de materiais é considerado como uma parte importante do layout, pois, nesse aspecto, existe a oportunidade de otimização do fluxo de materiais.

Quanto mais restrições são impostas ao sistema de transporte, mais comprometida é a vazão dos sistemas de transporte. A área total da instalação e áreas dentro de departamentos específicos na planta (localização relativa dos departamentos, arranjo do equipamento no layout, localizações) são elementos que devem ser obtidos do layout para uso da otimização do sistema de transporte.



O transporte de materiais na indústria é responsável por boa parte dos insumos e tempos da produção, uma introdução aos tipos de transportes pode ser observada no vídeo a seguir, principalmente entre os minutos 1:28 a 4:16.

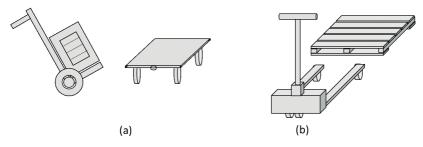
CANAL DA INDÚSTRIA (Paraná). Senai - Paraná. **Transporte, armazenamento e manuseio de materiais**: Construindo o meu Futuro 09 | Senai no Paraná. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwXRvAKGjdM">https://www.youtube.com/watch?v=FwXRvAKGjdM</a>>. Acesso em: 25 set. 2017.

#### Equipamentos de transporte de materiais

Esses equipamentos são utilizados para deslocar materiais dentro de uma fábrica, um armazém ou outra instalação. Os cinco tipos principais de equipamentos são:

1. **Veículos industriais**: os carros industriais podem ser classificados em duas categorias: não motorizados e motorizados. Os tipos não motorizados são, normalmente, carros de movimentação manual, sendo empurrados ou puxados por trabalhadores. Nos carros manuais, as quantidades de materiais movidas e distâncias deslocadas são relativamente baixas, quando utilizado para transporte. Entre os carros manuais, existem também os carros utilizados para movimentação de palete, conforme mostrado na Figura 1.13b, que têm dois garfos que podem ser inseridos por meio das aberturas de um palete e, realizando a elevação do palete, este pode ser transportado.

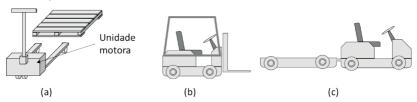
Figura 1.13 | Tipos de carros não motorizados para transporte de materiais: (a) carros de duas ou quatro rodas, (b) carros porta paletes



Fonte: elaborada pelo autor.

Carros motorizados são autopropelidos para auxiliar a função de deslocamento do material. Três tipos comuns são utilizados em fábricas e armazéns, conforme figura a seguir.

Figura 1.14 | Carros motorizados: (a) carrinho manual, (b) empilhadeiras, (c) trator de reboque



Fonte: elaborada pelo autor.

2. **Veículos guiados automaticamente**: sistema de veículos guiados automaticamente (do inglês, automated guided vehicle system — AGVS) são sistemas de transporte de materiais que utilizam veículos autopropelidos, independentes de operadores ao longo de percursos definidos. É uma tecnologia de automação bem utilizada na indústria, em que o veículo pode realizar o transporte de material sem a necessidade de operador. Uma característica 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 podem ter obstáculos. O uso de um AGVS também pode ser apropriado se diferentes materiais precisam ser deslocados de vários pontos de carga para vários pontos de descarga em um mesmo percurso. Um AGVS é, portanto, adequado para automatizar o manuseio de materiais em produção de lotes e produção de modelos mistos.



Veículos guiados automaticamente necessitam de um conceito de carga, descarga e translado. Essas atividades podem ser realizadas apenas uma vez em um percurso, ou realizadas várias vezes em um mesmo percurso. Caso o trabalho do veículo necessite realizar mais cargas e descargas no mesmo translado, a capacidade máxima e a separação dos itens de transporte devem ser variáveis consideradas no projeto.

3. **Veículos guiados por trilhos**: o sistema de trilhos consiste de um trilho (chamado de monovia) ou dois trilhos paralelos. As monovias em fábricas e armazéns são tipicamente suspensas no teto. Os sistemas de veículos guiados por trilhos utilizando trilhos fixos paralelos geralmente possuem trilhos que se projetam do chão. Em qualquer um dos casos, a presença de um percurso de trilho fixo diferencia esse sistema dos sistemas de veículos guiados automaticamente.

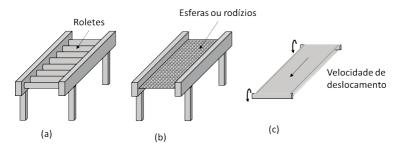
4. **Transportadores**: os equipamentos transportadores possuem uma variedade de modelos disponíveis. Os principais tipos de transportadores, organizados de acordo com o tipo de potência mecânica fornecida no percurso fixo, são brevemente descritos a sequir:

**Transportadores de roletes (***roller conveyors***)** - em transportadores de roletes, o percurso consiste de uma série de tubos (roletes) perpendiculares à direção de deslocamento.

Transportadores de esferas ou rodízios (skate-wheel conveyors) - são similares, em operação, aos transportadores de roletes. Em vez de roletes, utilizam rodas emborrachadas (similares às rodas de patins) ou esferas girando sobre eixos conectados a uma estrutura de paletes dos quais realizam o deslizamento do material, de caixas de peças ou de outros contêineres ao longo do percurso.

**Transportadores de esteira (belt conveyors)** - transportadores de esteira consistem de uma esteira contínua. Metade de seu comprimento é utilizada para a entrega de materiais e a outra metade é a volta de retorno. A figura a seguir mostra um desenho esquemático.

Figura 1.15 | Tipos mais comuns de transportadora: (a) transportadora com roletes, (b) transportadora com esferas ou rodízios, (c) transportadora por esteira

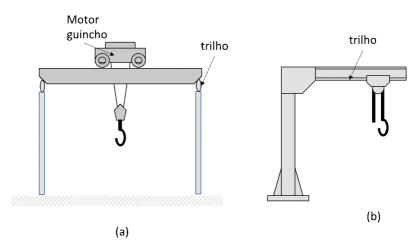


Fonte: elaborada pelo autor.

5. **Guindastes e guinchos**: a última categoria a ser verificada dos equipamentos de transporte 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. A Figura 1.16 mostra os tipos mais comuns desses equipamentos.

Figura 1.16 | Tipos mais comuns de guindaste e guincho: (a) ponte rolante, (b) guindaste de lança



Fonte: elaborada pelo autor.



A aplicação dos sistemas de transporte de materiais pode influenciar muito o fluxo de materiais dos sistemas produtivos, dependendo do seu layout.

Em **layouts de processo**, vários produtos diferentes são manufaturados em tamanhos de lotes pequenos ou médios. Esse sistema de transporte deve ser flexível para lidar com as alterações produtivas necessárias.

Um grande volume de trabalho em andamento é característico da **produção em lotes**, e o sistema de transporte de materiais deve ser capaz de acomodar esse inventário. Carrinhos de mão e empilhadeiras (para movimentação de paletes carregados) são comumente elementos utilizados em layouts de processo.

Aplicações de sistemas de veículos guiados automaticamente são exemplos de uma forma versátil de manusear as diferentes configurações de cargas em volumes médios e baixos de produção.

Um **layout de produto** envolve produção de modelos padronizados de produtos em quantidades relativamente altas. Exemplo dessas plantas podem ser como as de montagem finais para carros, caminhões e utensílios. O sistema de transporte que move o produto é tipicamente caracterizado por rota fixa, mecanizada e com grandes vazões. Para certo

controle do fluxo produtivo, parte das áreas úteis são demarcadas para armazenamento temporário para ajuste de tempo improdutivo. A entrega dos componentes para as várias estações de trabalho de montagem ao longo do percurso é conseguida por meio de veículos de carga similares à quantidade a ser transportada obedecendo o fluxo de produção.

Em um layout de posição fixa, o produto é de grandes proporções e pesado e, portanto, impossibilitado de ser movimentado com facilidade. Os componentes pesados e as submontagens são deslocados para próximo do 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. A Tabela 1.2 faz um resumo dos tipos de layout e a aplicação dos sistemas de transporte para cada tipo.

Tabela 1.2 | Resumo dos tipos de layout e aplicação dos sistemas de transporte de materiais

Tipo de <i>Layout</i>	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 transporte guiados automaticamente.
Produto	Variedade de produtos limitada, alta taxa de produção	Transporte 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
onte: elaborada pelo auto	r.	

### Princípio da unidade de carga

O princípio da unidade de carga é importante e amplamente utilizado em sistemas de transporte. 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 contentores de cargas. Em geral, a unidade de carga deve ser projetada para ser do tamanho mais prático para o sistema de manuseio de materiais que vai deslocá-la ou armazená-la. Essa unidade está sujeita a considerações

de segurança, conveniência e acesso aos materiais que formam a unidade de carga. Unidades de carga alocadas sobre os paletes são colocadas em caminhões, as quais se tornam unidades de carga maiores em si. Então, essas cargas de caminhões são agregadas mais uma vez em trens de carga ou navios, tornando-se unidades de carga ainda maiores



Reflita

O princípio de unidade de carga é utilizado nos sistemas de transporte de materiais. A maioria dos materiais citados é sólida e com a capacidade de contagem unitária. Como poderiam ser contabilizados materiais fluidos de produção contínua? Quais as formas que poderiam constituir uma unidade de carga para esses materiais?

### Sem medo de errar

Voltando à situação-problema apresentada, a empresa de eletrônicos que precisa identificar onde deve realizar investimentos em automação em seus sistemas produtivos. Essa automação tem o objetivo de suprir um aumento na demanda prevista de um componente utilizado em produtos infantis.

Lembrando que você havia percebido que, para realizar a implementação do sistema de automação, foi verificado que o sistema de transporte consome boa parte dos recursos do sistema produtivo, portanto, deverá analisar o sistema de transporte começando pelo tipo de material que será transportado. Essa análise será necessária para verificar, a partir do layout do sistema produtivo e do material a ser transportado, qual o tipo mais apropriado de transporte a ser realizado. Inclusive utilizando a classificação da Tabela 1.2, conforme apresentada no tópico *Exemplificando*.

Os fatores de roteamento, ou seja, onde o material deverá ser recolhido e onde ele deverá ser entregue na planta, serão importantes para entender a demanda interna do transporte. O tempo dos deslocamentos deverá ser avaliado para complementar o projeto do sistema de transporte. A intenção inicial é reduzir esses tempos, porém, eles não podem criar um pequeno estoque interno na entrada de algum processo, caso seja um fluxo maior que o de uma célula de manufatura

Observando a necessidade estratégica de aumento da produção, o sistema de transporte de materiais deverá considerar um fluxo de material que seja o mais contínuo possível. Pois, como anunciado, o transporte pode ser realizado de várias maneiras.

Se o material deve ser transportado por transportadoras, veículos automatizados ou não, guindastes ou guinchos, dependerá também da unidade de carga a ser determinada. A unidade de carga determinará quais os elementos que serão utilizados para o transporte dos materiais.

Esses pontos são primordiais para a implementação de um sistema de transporte eficiente e, agora, você poderá compreendê-lo e realizá-lo com segurança e eficiência.

### Avançando na prática

## Empresa com pouco espaço de chão de fábrica Descrição da situação-problema

Você, como especialista e com o conhecimento na área de sistema de transportes industriais, foi contatado para solucionar o problema de uma empresa que precisa melhorar seu sistema de transporte, porém, todo o chão da fábrica está comprometido, pois o sistema de fabricação foi sendo montado para otimização de espaço e a necessidade de aumentar as linhas cresceu com o tempo. O principal problema é o transporte entre extremos e células de fabricação, que não possuem caminho direto para transporte, sendo necessário realizar o transporte do lado de fora do galpão, o que é bem complicado nos momentos de chuva, molhando parte do material, ou quando ocorre outra adversidade referente ao clima. Sabe-se que o pé direito do galpão é bem alto. Como esse problema poderia ser resolvido? Quais os sistemas de transporte mais recomendados para esses materiais?

### Resolução da situação-problema

Você sabe que, para implementação de veículos automatizados, é necessário obter um caminho sem obstáculos dentro da planta, portanto, essa possibilidade fica descartada. Com a informação de que o pé direito é alto, presume-se que o espaço acima das máquinas é um volume que ainda não foi utilizado, portanto, um transporte que possa realizar a elevação dos materiais é o mais recomendado, podendo ser um sistema de ponte rolante, transportadora acima da altura dos

maquinários da planta. Com essa solução, será otimizado não apenas o espaço do chão de fábrica, como também do ambiente disponível no galpão.

### Faça valer a pena

- **1.** Para estudo do transporte de materiais, é necessário compreender o tipo de logística a ser abordado. A logística pode ser definida como o transporte de materiais em um sistema produtivo, sabendo que a logística se diferencia, dependendo de onde devem ser supridas as necessidades.
- O tipo de logística que trata dos fornecedores e clientes pode ser considerado:
- a) Logística interna.
- b) Logística externa.
- c) Logística de fornecimento.
- d) Logística e distribuição.
- e) Logística do cliente.
- **2.** Para a realização e o projeto do sistema produtivo, é importante considerar o sistema de transporte interno. Sabe-se que as características dos materiais é a primeira característica utilizada para determinar o tipo de transporte a ser realizado.

Além das características dos materiais, para se determinar o sistema de transporte a ser utilizado, quais os outros fatores a serem considerados?

- a) Quantidades a serem deslocadas, tempo de roteamento, fatores de abastecimento.
- b) Quantidades a serem roteadas, fatores de deslocamento, tempo de roteamento.
- c) Quantidades de abastecimento, fatores de roteamento, tempo de roteamento
- d) Quantidades a serem deslocadas, fatores de roteamento, tempo dos deslocamentos.
- e) Tempo de deslocamento, quantidades de abastecimento, fatores a serem roteados.
- **3.** Sabe-se que, em uma empresa, o fluxo de materiais é dado por lotes de  $0.8 \, m^3$  e uma massa de  $200 \, kg$ . Considere ainda que  $200 \, kg$  não podem ser manipulados manualmente para colocação sobre um carro de transporte e que um volume de  $0.8 \, m^3$  pode ser colocado na maioria dos carros de transporte mais comuns.

Qual será a alternativa que contém os prováveis sistemas de transporte e manuseio que podem ser usados a partir dessa informação?

- a) Carrinho manual de palete com um guincho que suporte a massa para colocar o lote no carrinho.
- b) Carro automatizado com torque para suportar o lote e colocando o lote na carreta de forma manual.
- c) Carro de transporte com operador com torque suficiente e guindaste que suporte a massa para colocar o lote sobre o carro.
- d) Ponte rolante que suporte a massa do lote, realizando o transporte acima da planta, utilizando uma corda com capacidade máxima de 100 kg.
- e) Ponte rolante para colocar sobre um carrinho manual e realizar o transporte.

## Referências

ACCEDE Automação Industrial. **Células de manipulação**. 2015. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=AnYp-T1mZCc">https://www.youtube.com/watch?v=AnYp-T1mZCc</a>. Acesso em: 15 set. 2017.

BRASIL. TELECURSO. **Aula 03 - Automação - Profissionalizante - Telecurso**. 2011. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=MT61QLFpVWk">https://www.youtube.com/watch?v=MT61QLFpVWk</a>. Acesso em: 15 set. 2017.

BUONAMICI, V. Saiba as diferenças entre ERP, MRP, MRPII, APS e MES. 2015. Disponível em: <a href="http://www.ppi-multitask.com.br/saiba-as-diferencas-entre-erp-mrp-mrpii-aps-e-mes">http://www.ppi-multitask.com.br/saiba-as-diferencas-entre-erp-mrp-mrpii-aps-e-mes</a>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

CANAL DA INDÚSTRIA (Paraná). Senai - Paraná. **Transporte, armazenamento e manuseio de materiais**: Construindo o meu Futuro 09 | Senai no Paraná. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=FwXRvAKGjdM">https://www.youtube.com/watch?v=FwXRvAKGjdM</a>>. Acesso em: 25 set. 2017.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. São Paulo: Bookman, 2013.

KABERKORN, E. **O que é ERP?** Disponível em: <a href="http://www.ernestohaberkorn.com.br/o-que-e-erp/">http://www.ernestohaberkorn.com.br/o-que-e-erp/</a>. Acesso em: 14 set. 2017.

MUTHER, R.; HAGANÄS, K. **Systematic handling analysis**. Kansas City: Management and Industrial Research Publications, 1969.

SOUZA, J. de; ROYER, R. Implantação de um sistema AGV - veículo guiado automaticamente um estudo de caso: XXX III Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2013. Disponível em: <a href="http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\_TN\_STO\_177\_010\_22461.pdf">http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\_TN\_STO\_177\_010\_22461.pdf</a>>. Acesso em: 28 set. 2017.

TECHZONE. **As 10 máquinas de construção mais incríveis**. 2017. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=D5IKHaYz0gs">https://www.youtube.com/watch?v=D5IKHaYz0gs</a>>. Acesso em: 15 set. 2017.

VANDERHULST Belt Solutions. **Como a indústria moveleira pode aumentar a produtividade com o uso de correias transportadoras certeiras**. 2017. Disponível em: <a href="http://vanderhulst.com.br/blog/2017/03/23/como-a-industria-moveleira-pode-aumentar-a-produtividade-com-o-uso-de-correias-transportadoras-certeiras/">http://vanderhulst.com.br/blog/2017/03/23/como-a-industria-moveleira-pode-aumentar-a-produtividade-com-o-uso-de-correias-transportadoras-certeiras/</a>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

## Planejamento de processo e fabricação industrial, técnicas e ferramentas

#### Convite ao estudo

Prezado aluno, na unidade anterior estudamos o conceito e os elementos básicos dos sistemas de produção e sua automação. Agora, apresentaremos os requisitos de projeto e planejamento para seguirmos com a compreensão dos principais tópicos referentes ao assunto.

Na primeira seção, estudaremos os requisitos de projeto de sistemas produtivos, os elementos a serem considerados e as técnicas que darão apoio à escolha dos processos que compõem os sistemas, bem como o tipo de *layout*.

Na segunda seção, o foco principal se dará no planejamento dos processos que compõem os sistemas produtivos. Nesta fase, abordaremos a definição de quantidades e as destinações dos elementos de manufatura.

A terceira seção leva em consideração as etapas e a fabricação dos produtos para realização e projeto dos sistemas industriais.

Considere que uma empresa, em seu plano estratégico, resolve ampliar sua capacidade produtiva e suprir parte de sua demanda fora de sua região. Assim, diminui custos com transporte rodoviário e acesso aos fornecedores locais. Para isso, ela implementará uma nova planta em outra localidade. Você foi solicitado para realizar os estudos deste plano de expansão a partir de conceitos de projeto de sistemas industriais, considerando os requisitos de fabricação e sistemas produtivos.

Os elementos necessários para os projetos dos sistemas, as variáveis a serem consideradas para a implementação destes sistemas industriais e as metodologias para escolha e integração entre os mesmos deverão ser referenciados, relatados e

justificados no plano considerado.

Neste aspecto, quais serão os tipos de sistemas a serem escolhidos na implementação e quais os métodos deverão ser utilizados para sua construção?

Quais as metodologias que serão escolhidas para o planejamento dos novos sistemas de produção?

Quais as etapas planejadas que serão implementadas na fabricação industrial?

O que será aprendido aqui consolidará os usos da flexibilização e integração entre sistemas, tornando a análise uma etapa natural no processo de estruturação dos conceitos sobre os sistemas industriais.

Então, vamos em frente!

## Seção 2.1

### Projeto dos sistemas industriais

### Diálogo aberto

Prezado aluno, nesta seção veremos os tópicos referentes ao projeto de sistemas industriais. Primeiramente, daremos uma introdução e trataremos das etapas pertinentes à construção de sistemas industriais. Depois nossas atenções se voltarão aos métodos de projeto dos sistemas industriais e, por fim, suas técnicas.

Vamos, então, considerar a situação de uma empresa que, em seu plano estratégico, resolve ampliar sua capacidade produtiva e suprir parte de sua demanda fora da região onde está instalada.

Desta forma, ela diminuirá os custos com transporte rodoviário e translado de fornecedores. Esta diminuição de custo é uma ação bastante rotineira nas empresas, principalmente quando elas estão expandindo os seus mercados e buscando novas demandas.

Para isso, a empresa citada deverá implementar uma nova planta em outra localidade.

Você foi solicitado para realizar os estudos desse plano de expansão a partir de conceitos de projeto de sistemas industriais, considerando os requisitos de fabricação e sistemas produtivos.

Entre suas responsabilidades está a verificação de quais etapas devem ser seguidas e quais metodologias serão utilizadas para a realização do projeto dos sistemas deste plano de expansão. Você deverá observar os objetivos do plano de expansão e os métodos escolhidos. Neste contexto, quais serão os tipos de sistemas a serem escolhidos na implementação e quais os métodos utilizados para tal escolha? Quais as técnicas serão necessárias para o projeto desses sistemas?

Vamos, então, iniciar esta seção para a compreensão desses tópicos de projeto de sistemas industriais.

### Não pode faltar

Para o estudo do projeto de sistemas industriais, o primeiro passo é compreender o que a empresa prioriza em seu plano estratégico. O plano estratégico define o posicionamento da empresa no mercado e quais os próximos passos a serem tomados rumo aos objetivos de médio e longo prazo.

Influências externas, normalmente demandas de mercado, são fatores determinantes para que uma empresa trace planos de atendimento a estas demandas, principalmente quando previstas. A escolha dos locais de instalação das empresas são pontos importantes e comumente consideram seu localização por vantagens coorporativas, como custo de instalação, posicionamento perto de vias de transporte e distância de centros de consumo e distribuição.

Nesta seção, estudaremos sobre elementos voltados aos sistemas produtivos. Ou seja, as variáveis utilizadas para a elaboração do projeto de um sistema produtivo e os principais aspectos que devem ser considerados.

A principal função de um processo produtivo — e, consequentemente, um sistema de produção —, é converter matérias-primas em produtos acabados. As principais operações realizadas em uma fábrica podem ser divididas em: (1) operações de processamento e montagem; (2) manuseio de materiais; (3) inspeção e teste; e (4) coordenação e controle (AMORIM, 2015).

As três primeiras atividades são atividades físicas que interagem diretamente com o produto enquanto ele é realizado. As operações são dispostas a permitir que o produto possa passar entre elas, sequencialmente, resultando em um conjunto de processos para obter o aspecto final do produto.

### Operações de processamento e montagem

As operações a serem realizadas no produto podem ser classificadas em dois tipos básicos: (1) operações de processamento e (2) operações de montagem (AMORIM, 2015).

**Operações de processamento**: uma operação de processamento usa energia para alterar propriedades físicas de uma peça de modo a agregar valor ao material. A energia pode ser mecânica, térmica,

elétrica ou química e é aplicada de modo controlado por meio de máquinas e ferramentas. A energia humana também pode ser necessária. Entretanto, para a garantia do fluxo constante de produção, trabalhadores humanos atuam no controle de máquinas, na fiscalização de operações e no carregamento e descarregamento de peças antes e depois de cada ciclo de operação.

As operações de processamento podem ser consideradas em três catergorias: (1) operações de moldagem; (2) operações de melhoria da propriedade; e (3) operações de processamento da superfície (GROOVER. 2013).

Operações de moldagem: são as operações de peças que podem aplicar força mecânica, calor ou outras formas e combinações de energia para alteração do aspecto geométrico do material de trabalho. Para categorizar o processo utiliza-se do estado inicial do material. Esses processos são de solidificação, de processamento de partículas, de conformação, remoção de material e usinagem.

Operações de melhoria da propriedade: são as operações que aperfeiçoam as propriedades mecânicas ou físicas do material de trabalho. Nessas operações são consideradas as que envolvem tratamentos térmicos, ou processos de enrijecimento térmico, como a têmpera.

Operações de processamento da superfície: são operações que incluem processos de limpeza, tratamentos superficiais, revestimento e deposição da camada metálica. O processo de limpeza utiliza processos químicos e mecânicos para a remoção de qualquer contaminante da superfície. Podem ser inclusos nos tratamentos superficiais o trabalho mecânico e jateamento areia, além de alguns processos físicos, como difusão e implantação de íon. Processos como o de revestimento e deposição de camada fina são processos que aplicam uma quantidade de material no exterior da superfície da peça de trabalho, como, por exemplo, a galvanização (GROOVER, 2013).

**Operações de montagem**: o segundo tipo básico de operação de produção é a montagem, na qual duas ou mais partes separadas são ligadas para formar um novo componente. As partes desse novo componente podem ser ligadas de forma permanente ou semipermanente.

Os processos de junção permanente incluem soldagem, brasagem forte, brasagem fraca e colagem. Os métodos e montagem mecânica

estão disponíveis para fixar duas ou mais peças juntas em uma nova entidade que pode ser convenientemente desmontada. O uso de parafusos é um método tradicional importante nessa categoria. Outras técnicas de montagem mecânica para criação de uma conexão permanente incluem rebites, cravamento (press fitting) e encaixe por expansão (GROOVER, 2013).

#### Manuseio de materiais

Na maioria das fábricas, os materiais passam mais tempo sendo movimentados e armazenados do que sendo processados. Em alguns casos, a maior parte dos custos do trabalho na fábrica é oriunda de manuseio, movimentação e armazenamento de materiais (GROOVER, 2013).

#### Inspeção e testes

O objetivo da inspeção é determinar se o produto fabricado está em conformidade com padrões e especificações do projeto. A inspeção examina, por exemplo, se as atuais dimensões de uma peça mecânica estão dentro da tolerância indicada em seu desenho de engenharia. Os testes, normalmente, se preocupam com as especificações funcionais do produto final, e não com as peças individuais que o compõem (GROOVER. 2013).

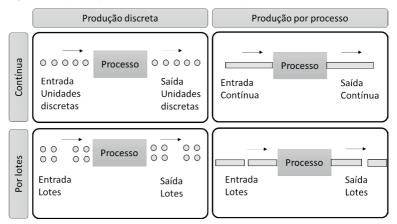
### Coordenação e controle

Na produção, essas atividades incluem tanto a regulamentação do processamento individual como as operações de montagem e o gerenciamento das atividades da fábrica. No nível do processo, o controle envolve o alcance de certos objetivos de desempenho. Esses objetivos podem ser limites dimensionais, quantidades, propriedades, ou qualquer variável que possa ser descrita como importante para ser controlada na saída do processo. O controle desta variável se dá por meio da manipulação correta das entradas e de parâmetros do processo (GROOVER, 2013).



Nas indústrias, quando observado o fluxo do processo, as operações de produção podem ser divididas em produção contínua e produção em lote. As diferenças básicas são mostradas na figura a seguir.

Figura 2.1 | Tipo de processo considerando o fluxo produtivo



Fonte: elaborada pelo autor.

A produção contínua ocorre quando o sistema de produção é utilizado exclusivamente para um determinado produto de produção ininterrupta. Nas indústrias de processo, a produção contínua significa que este é executado sobre uma cadeia contínua de materiais. O material processado pode estar em forma de líquido, gás, pó ou em outro estado.

Nas indústrias de produção discreta, a produção contínua significa dedicação integral do equipamento ao produto ou peça produzida, sem pausas para troca de produto.

A produção em lote ocorre quando os materiais são processados em quantidades finitas, chamados lotes tanto na indústria de processos como na de produção discreta. A produção em lote não é contínua, visto que há interrupções na produção entre eles (AMORIM, 2015).

Quando considerado um projeto de sistema produtivo, um dos principais elementos que deve ser definido é o layout. Este é o formato com que os elementos do processo (máquinas ou estações de trabalho) são dispostos para realizar a produção de itens.

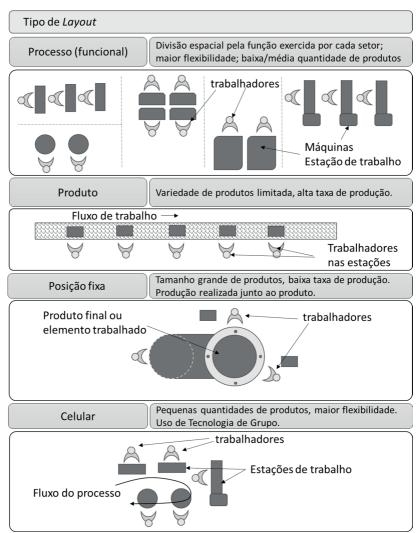
Os tipos de *layout* mais comuns consideram a quantidade de produtos a serem manufaturados e o melhor fluxo (AMORIM, 2015).

No **layout por processo**, o equipamento é disposto de acordo com a função ou tipo de processo a ser realizado. Os tornos posicionados em um departamento, as fresadoras em outro departamento etc.

Se algumas peças diferentes (cada uma com uma sequência de operação específica) trafegam pelos departamentos na ordem necessária ao processamento, então irão demandar mais atividades de transporte e, consequentemente, demandarão mais tempo para os processos.

- O **layout de posição fixa** é utilizado quando o produto é grande e pesado e, portanto, difícil de ser movimentado pela fábrica. O produto costuma ficar em um único local, ao menos durante a montagem final. O trabalhador e o equipamento de processamento são levados até o produto.
- O **layout por produto** ocorre quando este é transportado e processado em estações posicionadas em seu caminho, garantindo, dessa forma, um fluxo mais rápido.
- O **layout celular** é um dos mais flexíveis e muito utilizado para produção em lotes, podendo diminuir o estoque em processo. Quando automatizado, este *layout* permite uma flexibilização enorme do sistema produtivo (AMORIM, 2015). Um diagrama esquemático dos *layouts* mais comuns pode ser visto na Figura 2.2.

Figura 2.2 | Diagrama esquemático dos tipos de *layout* mais comuns utilizados em sistemas industriais



Fonte: elaborada pelo autor.



O *layout* é um ponto muito importante para o funcionamento do sistema produtivo. Mais informações a respeito de sua importância podem ser acessadas nos artigos:

AMORIM, Diego Felipe Borges de. **O conceito e os tipos de layout**. 2015. Disponível em: <a href="https://www.administradores.com.br/artigos/academico/o-conceito-e-os-tipos-de-layout/90808/">https://www.administradores.com.br/artigos/academico/o-conceito-e-os-tipos-de-layout/90808/</a>>. Acesso em: 10 out. 2017

FERNANDES, Giovani; STRAPAZZON, Rafael; CARVALHO, Andriele de Pra. Layout de empresas e seus benefícios. **XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**. 2013. Disponível em: <a href="http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\_tn\_sto\_177\_010\_23292.pdf">http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\_tn\_sto\_177\_010\_23292.pdf</a>>. Acesso em: 10 out. 2017.

Para um projeto do sistema produtivo, alguns pontos devem ser considerados para a sua realização:

**Segurança**: deve-se ter concordância às normas de segurança existentes para prevenção de acidentes e doenças do trabalho, principalmente para os processos produtivos que envolvem produtos pesados ou que provêm de condições insalubres.

**Flexibilidade**: fácil adaptabilidade pelas demandas dadas pelo usuário e possibilidade de automação.

**Confiabilidade**: consistente, repetitivo, boa manutenibilidade, robusto.

**Envolvimento das partes interessadas**: neste requisito, as Partes (tanto de gerência quanto de trabalho), são envolvidas para verificar as melhores práticas para a realização do projeto do sistema produtivo.



### Exemplificando

Como exemplo, vamos tomar uma empresa de motores automotivos multinacional, para verificar seus parâmetros de projeto:

**Segurança**: atingir os padrões de segurança prescritos nas normas internas, tanto para o processo produtivo de montagem de um motor como da fundição e processamento dos elementos que compõem esse motor.

**Flexibilidade**: a automação do sistema tem como objetivo diminuir a carga de transporte e facilitar a montagem dos motores.

**Confiabilidade**: a partir dos conceitos de qualidade total, os níveis de rastreabilidade e qualidade, os fatores para a facilitação da manutenção e a robustez dos planos de manutenção.

**Envolvimento das partes interessadas**: o suporte às técnicas produtivas consideram aos usuários diretos (trabalhadores) requisitos laborais e qualitativos para a melhor prática de montagem, buscando diminuir os tempos de processo.

Para os projetos de sistemas industriais, o produto a ser manufaturado é considerado para determinação do fluxo necessário para o projeto. Neste contexto, o layout deverá ser observado, bem como os tempos necessários para a realização das tarefas.

Conhecendo o processo, pode-se levantar as necessidades funcionais do projeto. Estas necessidades são um conjunto mínimo de ações para alcançar os objetivos de um sistema produtivo.



### Exemplificando

Considere as necessidades funcionais de um sistema em quatro processos básicos: furação, dobra, solda e montagem. Cada elemento deverá ter uma solução física obedecendo as hierarquias. Uma explicação esquemática pode ser observada na figura a seguir.

Figura 2.3 | Diagrama esquemático das necessidades funcionais de um conjunto de processos



Para a realização de furos, uma ferramenta furadeira é necessária. A hierarquia segue nos processos: uma dobradeira para realizar as dobrar e enviar os elementos, que devem ser soldados para depois seguir para a montagem.

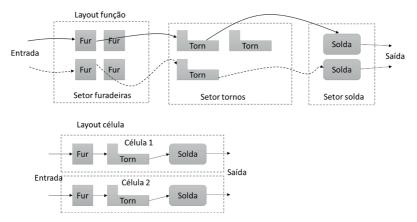
Fonte: elaborada pelo autor



A análise dos processos são a base para o levantamento das necessidades funcionais. Como estas necessidades poderiam auxiliar na escolha do *layout* do processo? Quanto mais flexível, mais fácil é a automatização do processo. Qual é o layout mais indicado para a automatização?

Os processos e caminhos necessários para realizar o processo produtivo são pontos importantes que determinam as necessidades funcionais do *layout* escolhido. Se comparados os *layouts* por função e por célula, pode-se verificar, na Figura 2.4, que a demanda de requisitos de organização e transporte de materiais é maior no *layout* por função do que no *layout* de processo (FENANDES et al., 2013).

Figura 2.4 | Comparativo de layout por função e layout por célula, mostrando a demanda por transporte



Fonte: elaborada pelo autor.

A linha tracejada difere, no *layout* por função, de dois elementos sendo produzidos. No *layout* de célula, essa diferenciação é típica para cada célula utilizada.

Com esta conceituação, os requisitos que devem ser observados para a realização dos projetos de sistemas produtivos são introduzidos, bem como a técnica de verificação das necessidades funcionais.

### Sem medo de errar

Lembrando que você foi escolhido para realizar um estudo sobre a expansão de uma empresa para suprir um aumento da demanda prevista. Você deverá observar, primeiramente, o plano estratégico da organização. O plano estratégico descreve os próximos passos da empresa, quando consideradas as atividades para alcançar tais passos. Desta forma, você compreenderá quais os pontos importantes para a realização da expansão, entendendo os fatores externos que influenciam o novo sistema produtivo.

O fluxo do Sistema Produtivo será um elemento importante para a determinação das necessidades funcionais e, para cada processo, caso ele possua operações de processamento e/ou montagem.

Sabendo cada tipo de processo e classificando-o de acordo com sua operação, o *layout* pode ser escolhido obedecendo as devidas limitações. Mais de um tipo de *layout* pode ser utilizado em um mesmo sistema produtivo.

A principal técnica de projeto é baseada no levantamento das necessidades funcionais dos processos. Avaliando as necessidades e sua hierarquia, será possível obter como resposta dos tipos de *layout* dos processos do sistema.

Os fatores considerados devem abranger o fluxo produtivo e a capacidade de flexibilização do projeto para eventuais alterações futuras.

Como exemplo para compreensão, imagine que a empresa necessitará realizar montagens de peças para instalações industriais de petróleo. A maior parte destas peças são obtidas por layout fixo devido ao seu tamanho e dificuldade de movimentação. Portanto, para esse tipo de cliente, a empresa deverá optar por *layout* fixo de produção.

Com esta análise, o projeto de um sistema produtivo pode ser planejado de acordo com a demanda dada. Agora, a ideia de como correlacionar projetos de sistemas é uma das competências atribuídas a você, prezado aluno.

## Avançando na prática

### Projeto de alteração de layout

### Descrição da situação-problema

Em uma empresa de produtos eletrônicos optou-se inicialmente por um *layout* funcional, onde as funções de solda de componentes, inspeção de placas de circuitos e aplicação de verniz são os principais processos. Você foi chamado para realizar a alteração desse sistema, pois a intenção é torná-lo mais flexível para a manufatura de vários modelos de placas. Como verificação inicial, você percebeu que o sistema funciona com produção em lotes. Portanto, quais os pontos que deverão ser verificados? Quais as principais alterações que deverão ser realizadas no sistema? O que se espera de resultado neste projeto de alteração?

### Resolução da situação-problema

Você sabe que um sistema com *layout* funcional tem a limitação do uso das funções em um determinado local de trabalho. A proposta de flexibilização é utilizar o *layout* de célula. Este é utilizado de acordo com o processo de fabricação e este processo de fabricação pode ser flexível a ponto de produzir diferentes modelos de produtos em uma mesma célula. Para tanto, deverá ser implementada a tecnologia de grupo, que consiste em obter partes em comum de vários modelos de um produto, alterando os elementos que caracterizam aspectos diferenciados entre esses modelos. Com esta flexibilização, será possível realizar a automação dos sistemas produtivos, de forma direta ou escalonada, dando a possibilidade de realizar alterações conforme a necessidade

## Faça valer a pena

**1.** As operações apresentadas em uma fábrica podem ser várias e com muitas derivações específicas de processos, porém, elas podem ser divididas de forma simplificada em dois tipos básicos: operações de processamento e operações de montagem.

São respectivamente atividades de processamento e montagem:

- a) Cromagem e limpeza superficial.
- b) Ajuste dimensional e desbaste superficial.
- c) Moldagem de peças e brasagem.
- d) Desbaste superficial e limpeza de óleo de peças.
- e) Ajuste superficial e moldagem de peças.
- **2.** Considere as definições a respeito de layout apresentadas em I, II e III.
- I O layout fixo é utilizado quando o produto a ser processado é deslocado e os trabalhos são realizados ao redor do produto.
- II O layout funcional utiliza as etapas do processo do produto para criar células de trabalho.
- $\mbox{III} \mbox{O}$  layout por produto possui um ritmo de trabalho intermitente realizando lotes de produção.

Considerando I, II e III, está(ão) correta(s) a(s) alternativa(s):

- a) Le II
- b) I e III.
- c) II e III.
- d) Apenas a II.
- e) Apenas a III.
- **3.** Para a realização de um projeto produtivo, alguns parâmetros devem ser considerados para que o projeto obtenha requisitos mínimos em suas especificações. Considere a abordagem de um projeto de um restaurante que trata os parâmetros de segurança, flexibilidade e confiabilidade.
- Os requisitos a serem observados no projeto que correspondem aos parâmetros mencionados são:
- a) Segurança: garantia de procedência dos alimentos; flexibilidade: especialização apenas em um tipo de massa; confiabilidade: confiança de acordo com a mídia especializada.
- b) Segurança: procedimentos que garantem a segurança dos funcionários para a realização de suas tarefas; flexibilidade: especialização apenas em um tipo de massa; confiabilidade: robustez nos requisitos de apresentação e serviços.
- c) Segurança: procedimentos que garantem a segurança dos funcionários para a realização de suas tarefas; flexibilidade: possibilidade de alteração do menu de acordo com demandas; confiabilidade: qualidade nos alimentos utilizados para os pratos apresentados.
- d) Segurança: diminuição de assaltos e furtos dentro do local; flexibilidade: possibilidade de alteração do menu de acordo com demandas; confiabilidade: qualidade nos alimentos utilizados para os pratos apresentados.
- e) Segurança: garantia de procedência dos alimentos; flexibilidade: especialização apenas em um tipo de prato; confiabilidade: qualidade nos alimentos utilizados para os pratos apresentados.

## Seção 2.2

### Planejamento de processo industrial

### Diálogo aberto

Nesta seção, veremos uma introdução ao processo industrial com os níveis hierárquicos definidos em uma organização. Depois dessa introdução, veremos as etapas para o planejamento de sistemas industriais, bem como a influência de planejamento e controle da produção no tempo de execução da produção. Conheceremos também os tipos de planejamento, de acordo com os prazos envolvidos e o desenvolvimento do planejamento industrial. Esses tópicos são importantes para o planejamento e controle da produção (PCP), que é responsável por determinar o que produzir, quando produzir e como produzir em um sistema industrial.

Considere que uma empresa, em seu plano estratégico, resolva ampliar sua capacidade produtiva e suprir parte de sua demanda fora de sua região. Assim, diminuirá custos com transporte rodoviário e acesso aos fornecedores locais. Para isso, ela implementará outra planta em outra localidade. Você foi solicitado para realizar os estudos desse plano de expansão, a partir de conceitos de projeto de sistemas industriais, considerando os requisitos de fabricação e os sistemas produtivos.

Na seção anterior, foram avaliados e apresentados os pontos importantes para os projetos de sistemas industriais, bem como sua concepção, operações e *layout*.

O planejamento desses sistemas é o que dará a continuidade na implementação da expansão da empresa. O planejamento da produção desse sistema produtivo deverá considerar as variáveis de capacidade, demanda e recursos para suprir a demanda inicial. Neste ponto você deverá observar os planos para os sistemas projetados e analisar criticamente se eles vão suprir as condições de solicitações e a realização dos planos dos sistemas que foram projetados. Neste contexto, quais as metodologias utilizadas para o planejamento dos novos sistemas de produção? Quais as etapas para a realização desses planejamentos? Como desenvolver o plano de forma que atinja o menor consumo de recursos?

Responder a estas questões trará a compreensão da importância do planejamento estratégico e sua principal influência no planejamento dos sistemas industriais

Portanto, vamos lá!

#### Não pode faltar

Para começarmos a realizar o planejamento dos sistemas produtivos, vamos conhecer as funções e abrangência de um conceito muito importante que é: Programação, Planejamento e Controle da Produção.

Na seção anterior, as atividades de projeto determinaram a forma e a natureza do sistema e os seus recursos. Esse é o propósito do planejamento e controle: garantir que os processos da produção ocorram de forma eficaz e eficiente para produtos e serviços: que atendam às necessidades dos consumidores. Neste contexto, serão estudadas as tecnologias de processo, as etapas e os tipos de planejamento considerados nos sistemas de produção.

As **tecnologias de processos** são as máquinas, equipamentos e dispositivos que ajudam a produção a transformar materiais e informações de forma a agregar valor e atingir os objetivos estratégicos da produção. Todos os processos produtivos utilizam tecnologia, desde planilhas para anotar dados de processos, como os processadores integrados de Comandos Numéricos para máquinas de células de produção.

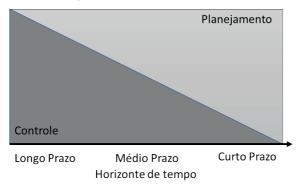
Em manufatura, as tecnologias de processo são máquinasferramentas, normalmente computadorizadas, que dão forma ao material, montam componentes, manipulam materiais prontos. Algumas tecnologias são periféricas para a criação real de bens e serviços, mas desempenham papel central, facilitando o processo. Por exemplo, sistemas de computador que planejam e controlam sistemas de estoque, que podem ser usados para ajudar os gerentes e operadores a melhorar os processos de armazenagem. Essas tecnologias de processo são fundamentais para compreender a dosagem entre planejamento e controle da produção.

Segundo Slack et al. (2002), a divisão entre planejamento e controle não é clara, porém, há algumas definições genéricas que auxiliam a distinguir os dois.

- O **Planejamento** é a formalização dos acontecimentos em um futuro previsto. Um plano não é garantia de ocorrência de um evento, é uma intenção de que aconteça.
- O **Controle** é o processo de lidar com as variações existentes entre o plano e as adversidades da execução. Pode significar que os planejamentos tenham a necessidade de serem alterados a curto prazo. Entretanto, também pode significar que será preciso fazer uma "intervenção" na operação direta de produção para ajustá-la aos requisitos estabelecidos no planejamento.

Quando observada a necessidade de atribuições e atividades referentes ao plano ou controle de um sistema produtivo, a Figura 2.5 representa o equilíbrio necessário, ou tempo gasto, entre as atividades de controle e planejamento no decorrer do horizonte de tempo.

Figura 2.5 | Equilíbrio entre as atividades de controle e planejamento considerando o horizonte de tempo de longo, médio e curto prazo



Fonte: elaborada pelo autor.



Quando for considerado o quanto aplicar de tempo em planejamento ou controle, normalmente dependerá do prazo para a execução da produção, resultando em três tipos de planejamento e controle:

Planejamento e controle de longo prazo: caracterizado pelo emprego de previsões de demanda agregada e pela identificação de recursos de modo agregado. Os objetivos são estabelecidos sendo pautados principalmente em termos financeiros. A forma agregada é a verificação geral da demanda em termos de previsão sazonal, baseado nas saídas que ocorreram em períodos anteriores equivalentes.

Planejamento e controle de médio prazo: caracterizado pelo emprego de previsões de demanda agregada, pela identificação de recursos e contingência. Os objetivos estabelecidos são pautados em termos financeiros e operacionais. Os recursos são restritos de acordo com as restrições colocadas a partir da contingência estabelecida.

**Planejamento e controle de curto prazo**: caracterizado pelo emprego de previsões de demanda desagregada ou real. Realiza intervenções nos recursos a fim de arrumar os desvios dos planos. Atua de modo direto no planejamento e execução da produção.

Os tipos de PCP (planejamento e controle da produção) tratam de três níveis hierárquicos:

**Nível estratégico**: definição de políticas estratégicas, considerando um prazo mais longo, de forma que o PCP atue no Planejamento Estratégico da Produção.

**Nível tático**: são implementados os planos mais de médio prazo para a produção, desenvolvendo-se o Planejamento Mestre da Produção (PMP). O enfoque deste refere-se à operacionalização da produção, decidindo quanto às necessidades de produtos acabados para cada período de tempo avaliado.

**Nível operacional**: com base no curto prazo, são desenvolvidos, de modo que o PCP prepara a Programação da Produção e atua no Acompanhamento e Controle da Produção.

Quando os níveis hierárquicos do PCP são comparados com os níveis hierárquicos da pirâmide de automação (Figura 2.6), tem-se a influência dos elementos de automação nos níveis hierárquicos do PCP.

Figura 2.6 | Comparativo entre os elementos de automação da pirâmide de automação e os níveis hierárquicos do PCP



Fonte: elaborada pelo autor.



Ao considerarmos uma empresa **automotiva** para compreensão dos requisitos existentes na pirâmide da automação, estruturalmente ela tem seus níveis de automação contendo grande parte dos elementos da pirâmide.

Nos primeiros níveis podem ser encontrados os elementos mais próximos ao processo produtivo, então podemos atribuir os elementos dos níveis 1, 2 e 3 ao nível operacional, onde a produção e realização do sistema produtivo é caracterizada. Estes elementos são usados no curto prazo do planejamento, pois são praticamente a execução do sistema produtivo e sua supervisão direta. Nestes níveis estão as máquinas de produção, os robôs utilizados, o transporte interno e toda a parte de automação física no chão de fábrica.

Os elementos do nível 4 da pirâmide de automação são os elementos de controle e gestão das plantas. Algumas funções de gerenciamento de máquinas também podem ser atribuídas ao controle de gestão, por isso, a chave tracejada chegando ao nível 3. Este controle de gestão tem a representatividade na hierarquia do PCP como sendo o nível tático. Neste nível são realizados o plano mestre de produção e parte do planejamento agregado. Estes elementos dão suporte ao planejamento a médio prazo e utilizam o gerenciamento de planta para as necessidades de produto junto com a integração ao MRP (*Material Requirement Planning* — Planejamento de requisição de material).

O MRP é basicamente uma metodologia utilizada para auxiliar no planejamento dos materiais necessários para a produção de um item. A partir dele sabe-se, então, quantos elementos serão necessários para determinado número de itens, como chapas, partes da carroceria, motores, componentes de interligação e acabamento necessários para a montagem do automóvel. O MRP é uma metodologia base de controle de materiais. Ele pode ser automatizado a partir de softwares usados para sistemas de controle de materiais.

O nível 5 é ligado ao ERP (Enterprise Resourcing Planning - Planejamento de recurso corporativo) da empresa, tomando como importante o planejamento estratégico. O ERP é um sistema de automatização baseado na produção que engloba vários módulos de controle de vários setores de uma organização. Cada setor possui, geralmente, um módulo próprio, como Recursos Humanos, Produção, Desenvolvimento de Produto etc. Dessa forma, o ERP compreende e abrange a empresa como um todo. Ele cuida para que o plano estratégico da organização possa ser alcançado integrando todos os sistemas produtivos e de gestão. A ideia principal do nível estratégico é elaborar as políticas de longo prazo e o ERP deve dar suporte, garantindo que os sistemas produtivos realizem suas tarefas com foco na estratégia geral adotada pela organização, como o automóvel que será lançado daqui a cinco anos e se a empresa investirá em automóveis diferenciados com novas tecnologias.

Para um planejamento de sistemas industriais é necessário compreender os fatores restritivos dos sistemas existentes. Com certeza haverá um planejamento estratégico indicando a direção necessária a ser tomada para alcançar determinadas metas da empresa. O planejamento estratégico é integrado e suportado pelo ERP. Para que este planejamento ocorra, o tempo médio deve estar alinhado com sistemas de supervisão da planta, para garantir os planos produtivos e alocação de materiais para determinadas demandas e, assim, realizar os planos programados. O chão de fábrica, propriamente dito, realizará a programação dos equipamentos, se importando diretamente com o carregamento das máguinas.

O planejamento e o controle requerem a conciliação do suprimento e da demanda em termos de volume, tempo e qualidade. A demanda pode ser observada a partir de dados de venda e sua possibilidade de ser repetida de acordo com a sazonalidade do mercado.

Dentro do planejamento e controle da produção existem etapas a serem consideradas para a realização do planejamento e execução. Essas etapas são apresentadas a seguir:

#### Carregamento

O carregamento é a quantidade de trabalho alocado para uma certa tarefa. Por exemplo, uma máquina numa fábrica está disponível, em teoria, 168 horas por semana (7 dias x 24 horas). Contudo, isso não pode alocar trabalho para todas as 168 horas de uma máquina. Por alguns períodos a máquina não pode trabalhar, como nos feriados e finais de semana. Portanto, a carga sobre a máquina deve considerar estes períodos de tempo em que a máquina está disponível para trabalho. Outras tarefas que não são de produção, como manutenção, precisam ser realizadas, as quais reduzem mais ainda o tempo de disponibilidade. O tempo com a máquina indisponível pode ser considerado o tempo perdido na troca de ferramentas, entre fazer um componente e outro diferente; tempo de limpeza da máquina entre as operações; quebra de máquina. A Figura 2.7 apresenta um diagrama de barra mostrando o tempo disponível de uma máquina.

Figura 2.7 | Tempo disponível de uma máquina considerando possíveis tarefas que diminuem o tempo total

Máximo tempo disponível						
Tempo real de operação	Tempo máquina parada	Trocas	Tempo não trabalhado			

Fonte: elaborada pelo autor.

Portanto, o carregamento deve considerar apenas o tempo disponível de um recurso. Quando é considerada a etapa de carregamento, podemos defini-lo como dois tipos:

- Carregamento finito: atribui trabalho a um centro de trabalho (como uma máquina ou pessoal por exemplo), atingindo um limite estabelecido. Esse limite refere-se à capacidade de trabalho estimada do centro, com base nos tempos de carga, sendo que, ao superar essa capacidade, o trabalho não é realizado. Comumente utiliza-se essa abordagem quando é possível e necessário limitar a capacidade do centro de trabalho.

- Carregamento infinito: diferentemente, o carregamento, nesta abordagem, não limita a quantidade de trabalho, tentando executar todo ele. Em operações em que não é possível ou ou não é importante a limitação do carregamento, o carregamento infinito é relevante.

#### Sequenciamento

O sequenciamento pode ser definido como as decisões que devem ser tomadas com relação à ordem em que as tarefas devem ser executadas. As prioridades dadas ao trabalho em uma operação são estabelecidas por um conjunto predefinido de regras.

Algumas dessas regras requerem várias informações, mas podem ser úteis quando o sequenciamento de tarefas pretende diminuir o tempo de processo nos centros de trabalho. Quando consideradas as regras de sequenciamento, busca-se a utilização máxima da máquina para evitar a ociosidade. Os processos nas máquinas de um sistema de produção não têm o mesmo tempo. A base das estratégias é aproveitar os tempos ociosos, que ocorrem pela disparidade dos tempos das máquinas, para atividades independentes. Dessa forma, ocupando todo o tempo disponível na máquina e reduzindo o tempo total de processamento de um produto.



As regras de sequenciamento podem ser utilizadas para otimizar o tempo disponível de um recurso. Para se ter uma ideia das regras de sequenciamento existentes, verifique o seguinte artigo: PIMENTA, João. Primeiros passos para implantação da programação da produção industrial (PPCP). Nomus: Blog Industrial, 17 set. 2015. Disponível em: <a href="http://www.nomus.com.br/blog-industrial/2015/09/primeiros-passos-para-implantacao-da-programacao-da-producao-industrial-ppcp/">http://www.nomus.com.br/blog-industrial/2015/09/primeiros-passos-para-implantacao-da-programacao-da-producao-industrial-ppcp/</a>>. Acesso em: 20 out. 2017.

#### Programação

Ao determinar a sequência de desenvolvimento do trabalho, algumas operações requerem um cronograma detalhado, mostrando em que momento os trabalhos devem começar e quando eles deveriam terminar, definindo, dessa forma, uma programação. Programação são declarações de volume e horários (ou datas) utilizadas em vários locais. Por exemplo, um horário (ou

programação) fixo de ônibus, que pode estar colocado no próprio ponto de ônibus, mostra que mais ônibus (volume) são colocados nas rotas em intervalos mais frequentes durante as horas de pico. O horário dos ônibus mostra também o momento (tempo) em que cada ônibus deve chegar a cada estágio da rota. Programas de trabalho são usados em operações quando algum planejamento é requerido para certificar-se de que a demanda do consumidor seja atendida. Outras operações, como operações de serviços de resposta rápida em que os consumidores chegam de forma não planejada, não podem ser programadas a curto prazo só podem responder no momento em que a demanda lhes seja apresentada.

Pensando no gerenciamento da produção, temos que a atividade de programação refere-se a uma das atividades mais complexas, sendo necessário relacionar uma gama de recursos e restrições. Além disso, tem-se ainda as capacidades diferentes das máquinas, e capacitação dos recursos humanos que atuarão nestes dispositivos, demandando, também, um número crescente de programas relativos aos processos.



Caro aluno, vale citar que por meio da equação abaixo conseguimos obter o número de programações em uma determinada situação:

Número de programações possíveis = (n!)m,

em que:

**n** é a quantidade de trabalhos.

**m** é a quantidade de máquinas.

Programação para frente e para trás – refere-se ao fato de começar o trabalho logo que este chega, impedindo a ocorrência de atrasos.

Programando padrões de trabalho - Em operações em que a maioria dos recursos tem origem na mão de obra, a programação dos tempos de trabalho efetivamente determina a capacidade da operação. A principal tarefa da programação é garantir que um número suficiente de pessoas possa dar suporte ao sistema produtivo, para proporcionar uma capacidade adequada para o nível de demanda.

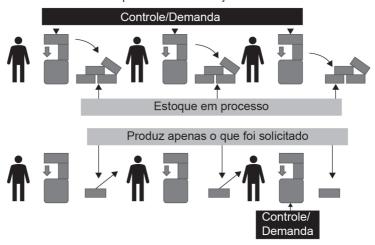
#### Monitorando e controlando a operação

Ao criar um plano para a operação por meio de carregamento, sequenciamento e programação, cada parte da operação precisa ser monitorada para assegurar que as atividades planejadas realmente estejam ocorrendo. Qualquer desvio dos planos pode ser corrigido por alguma intervenção na operação, que por si só envolverá algum replanejamento. Eventualmente algum outro desvio da atividade planejada pode ser detectado e o ciclo, repetido.

Controle empurrado e puxado – uma intervenção com periodicidade determinada pode ser entendida como um elemento de controle, de modo que definir como a intervenção pode ser realizada é de extrema importância. Assim, tem-se que os elementos de controle podem tanto empurrar (um sistema central programa as atividades, desconsiderando o centro de trabalho seguinte) o trabalho quanto puxar o trabalho quando este for demandado pelo cliente. A figura a seguir mostra a diferença entre os sistemas puxado e empurrado.

Figura 2.8 | Diferença entre os sistemas puxado e empurrado

No sistema empurrado os materiais são transferidos para a próxima etapa assim que são processados e o controle é feito para todas as estações de trabalho



No sistema puxado, os materiais são transferidos para a próxima etapa apenas quando requerido e o controle é feito pela estação predecessora na linha de produção

Fonte: elaborada pelo autor.

As consequências das programações empurrada e puxada sobre o estoque - Compreender os diferentes princípios das programações empurrada e puxada é importante, porque eles têm diferentes efeitos com relação a acumular estoque na operação. Os sistemas puxados são melhores para não criar estoque e são, portanto, favorecidos pelas operações Just In Time (JIT), que tem como premissa a redução de estoques parciais na produção.



Os sistemas JIT são responsáveis por realizar a chamada produção enxuta, sem desperdícios. Mais informações podem ser obtidas a partir da leitura do artigo:

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. Just in time: conceito, definição e objetivos. **Citisystems**, 2017. Disponível em: <a href="https://www.citisystems.com.br/just-in-time-conceito-significado/#>. Acesso em: 20 set. 2017.">Acesso em: 20 set. 2017.</a>



Reflita

O Sistema JIT tem como principal objetivo refrear os desperdícios reduzindo o estoque em produção. Qual poderia ser o tipo de sistema produtivo que auxiliaria na implementação de um Sistema Just In Time?

#### Sem medo de errar

Lembramos que você foi contratado para a ampliação da capacidade produtiva de uma empresa que percebeu a necessidade de aumentar sua produção. Para isso, ela decidiu implementar uma nova fábrica. Sabendo disso, vamos verificar o conteúdo obtido para o planejamento do sistema produtivo.

O planejamento deverá apresentar as metodologias utilizadas junto com o estudo da hierarquia e as decisões que serão tomadas de acordo com o planejamento estratégico proposto. Este planejamento tem como objetivo suprir uma demanda futura em local determinado. Neste ponto, podemos, para cada nível hierárquico, verificar os elementos de automação para dar o devido suporte.

Primeiramente, o planejamento estratégico nos mostra uma necessidade de ampliar os recursos da empresa, pois o avanço futuro da demanda da organização determina a necessidade de uma nova fábrica. Esta é uma ação de longo prazo e as decisões a esse respeito serão tomadas em nível de direção (Nível Estratégico). O apoio tecnológico para este nível será realizado pelo ERP, que monitora todos os setores ligados ao sistema produtivo.

Pensando nos recursos em nível de gerenciamento (Nível Tático), os programas de gerenciamento devem ser pensados para darem suporte à produção agregada (aquela baseada e elaborada em previsões e histórico de mercado). A produção agregada é a base para a realização da produção no curto prazo e levantamento das necessidades de materiais. Neste nível, o auxílio dos programas supervisórios de produção e MRP são necessários para automação das tarefas e acesso aos dados do sistema.

Os recursos de Nível Operacional, próximos ao chão de fábrica, e que atuam diretamente na produção, tratam da execução dos planos de produção. Para apoio a estes recursos os elementos de sensoriamento e atuadores, bem como CLPs, são os elementos de apoio para automação no nível operacional.

Neste Nível Operacional, as tarefas devem seguir os conceitos de trabalho com produção enxuta. Esses conceitos, quando aplicados, reduzem os estoques em processo. Para que o consumo seja mínimo na implementação do novo sistema, deve-se observar as metodologias de carregamento, sequenciamento e programação, para evitar ao máximo o desperdício.

Com estes conceitos e auxiliado pela automação, os novos sistemas produtivos a serem implementados serão direcionados e planejados para a melhor otimização. Assim, verificamos a utilização e classificação dos níveis de planejamento e sua interação com o controle de processos.

#### Avançando na prática

#### Planejamento de aumento de produtividade Descrição da situação-problema

Considere uma empresa de peças automotivas que recebe a notícia de que o seu principal cliente vai aumentar sua produção em 50%, em três anos. Sabe-se que essa companhia de autopeças precisa realizar alterações em seus processos produtivos para acompanhar a demanda do seu principal cliente. Pensando nisso, a empresa contrata você para avaliar a possibilidade de criar um planejamento para atingir tal meta. Algumas informações importantes são de que a organização tem a utilização de 70% de sua capacidade máxima de produção e a produção trabalha de forma empurrada, formando lotes entre as células de manufatura. Qual o tipo de planejamento a ser implementado? Como aumentar o fluxo produtivo?

#### Resolução da situação-problema

A partir do que foi estudado, você pode perceber que o planejamento é de longo prazo, porém, deverá constar no planejamento estratégico a necessidade de aumentar a produção para atender esse cliente. Um estudo a ser realizado para verificar o aumento da capacidade indica a implementação da produção puxada, uma vez que ela reduz os estoques parciais da produção, que dará um ganho na produtividade. Porém, este ganho poderá ser insuficiente. Num segundo passo, poderá ser verificado o aumento do fluxo produtivo das máquinas. Se mesmo assim as alterações não surtirem o efeito esperado, pode-se começar a pensar no aumento da capacidade produtiva a partir do aumento do número de máquinas.

O mais importante é colocar esses passos no planejamento estratégico e, com a integração da automação dos elementos produtivos, mapear o desenvolvimento no nível tático. E, em seguida, implementar as solicitações de alteração produtiva e de máquina no nível operacional.

#### Faça valer a pena

- **1.** Os tipos de planejamentos existentes nos sistemas produtivos são de longo prazo: onde o planejamento tem mais espaço que o controle; médio prazo: quando o planejamento e o controle estão equilibrados; planejamento e controle de curto prazo: quando a priorização é para o controle.
- Assinale a alternativa que consiste em características de planejamento de curto, médio e longo prazo, respectivamente.
- a) Previsões de demanda agregada; plano de curto prazo; planejamento e execução da produção.
- b) Previsões de demanda; plano agregado e planejamento longo.
- c) Previsões de demanda desagregada; previsões de demanda agregada; plano de longo prazo na produção.

- d) Previsões de demanda agregada; previsões de demanda desagregada; planejamento e execução da produção.
- e) Previsão de demanda.
- **2.** Considere as afirmações a respeito do carregamento:
- I. Carregamento é a quantidade de trabalho alocado para uma determinada tarefa
- II. Carregamento finito: aloca trabalho a um centro de até um limite determinado.
- III. Carregamento infinito: normalmente utilizado quando é possível e necessário limitar a capacidade do centro de trabalho.

Está(ão) CORRETA(S) a(s) afirmativa(s):

- a) I, apenas.
- b) II, apenas.
- c) I e II, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) III, apenas.
- **3.** Considere as características do tipo de produção puxada e empurrada.
- I. A produção puxada depende de uma demanda inicial para realizar a produção.
- II. A produção empurrada diminui os estoques entre os postos de produção. III. Os sistemas empurrados são favorecidos pelas operações *Just In Time* (JIT)

Está(ão) CORRETA(S) a(s) afirmativa(s):

- a) I, apenas
- b) I e II, apenas.
- c) II e III, apenas.
- d) II, apenas.
- e) I e III, apenas.

# Seção 2.3

# Fabricação industrial: etapas de fabricação do projeto de sistema industrial

#### Diálogo aberto

Nesta seção teremos conceitos introdutórios referentes à fabricação industrial. Veremos as etapas e os conceitos a respeito da fabricação industrial e seu planejamento. Por fim, será apresentado o conceito de integração referente à manufatura.

O plano estratégico de uma empresa é um componente muito importante para determinar o seu posicionamento futuro, bem como as ações táticas para a realização das ações destes planejamentos.

Neste contexto, considere uma empresa que resolve ampliar sua capacidade produtiva para suprir um aumento de sua demanda. Para isso, essa empresa resolveu, em seu planejamento estratégico, que abriria uma nova filial fora de sua região. Dessa forma, ela diminuiria custos com transporte rodoviário e facilitaria o acesso aos fornecedores locais. Diante disso, você foi solicitado a realizar os estudos desse plano de expansão a partir de conceitos de projeto de sistemas industriais, considerando os requisitos de fabricação e sistemas produtivos.

Conforme visto na seção anterior, o plano do sistema industrial foi determinado. De acordo com esse plano, alguns pontos da produção devem ser observados, sendo eles o layout a ser definido, o plano de carregamento e integração do sistema. Estes pontos devem ser considerados para o próximo passo, neste caso, a fabricação industrial. Pontos importantes a serem observados são: a verificação dos sistemas que estarão disponíveis para a alocação de carga, como realizar esta alocação de carga e os tempos necessários para o sequenciamento das atividades de fabricação.

Portanto, quais as etapas planejadas que serão implementadas da fabricação industrial?

Quais os tipos de integração podem ser realizados e a quantidade de automação necessária para a realização da fabricação? O quanto a integração dos sistemas pode influenciar na fabricação e nos planos de produção?

Estas questões serão as guias para a verificação dos próximos passos para a implementação desta nova filial.

Portanto, vamos começar!

#### Não pode faltar

Observamos em seções anteriores, de uma forma resumida, os princípios básicos de construção de sistemas de produção. São, segundo Antunes et al. (2008), as normas de concorrência, o mecanismo da função produção e as perdas.

Baseado no Sistema Toyota de Produção (SHINGO, 2007), os sistemas produtivos podem ser analisados e construídos a partir de três etapas básicas:

- 1. Interpretação dos sistemas produtivos a partir de uma base de informações previamente conhecidas de conceitos para a construção destes sistemas.
- 2. Construção dos sistemas produtivos levando em consideração as condições socioeconômicas nas quais as organizações estão inseridas.
- 3. Utilização de técnicas que possam propor as melhorias necessárias do sistema produtivo.

Com relação às análises dos fenômenos que ocorrem na produção, podemos classificá-los em duas visões:

- a) Observação do fluxo do objeto de trabalho, ou seja, os materiais, serviços e ideias no tempo e no espaço. Esta visão verifica a situação nos diferentes estágios de produção, observando a gradativa transformação das matérias-primas. Essa visão pode ser ligada ao conceito de função de processo.
- b) Observação do fluxo do sujeito de trabalho, ou seja, homem, máquinas e equipamentos, no tempo e no espaço. Esta visão referese à situação dos diversos estágios nos quais uma máquina ou um trabalhador encontra-se no decorrer de uma jornada de trabalho. Este item está mais ligado à função de operação.

Quando consideramos a função produção e, mais especificamente, o processo de fabricação temos quatro categorias em que o processo poderia ser dividido, ou que poderiam descrever a função processo (ANTUNES et al., 2008).

**Processamento ou fabricação**: significa a transformação do objeto de trabalho no tempo e no espaço. Por exemplo, pintura, usinagem, montagens, alteração da qualidade do produto etc.

**Inspeção**: é a comparação do objeto de trabalho com padrões previamente definidos, podendo ser dimensional, composição química, estrutura superficial etc.

**Transporte**: basicamente, consiste em mudança de posição ou localização do objeto de trabalho. Como visto na Seção 1.3, o transporte é um ponto importante quando se trata de tempo no sistema produtivo. Ao falarmos em transporte vamos considerar como o transporte interno.

**Estoque ou espera**: são os períodos de tempo em que não ocorre nenhum tipo de processamento, transporte ou inspeção sobre o objeto de trabalho.

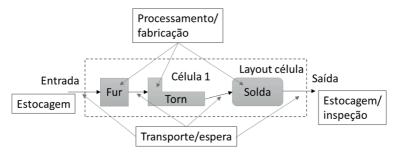


#### Exemplificando

Quando consideramos as categorias nas quais os processos podem ser divididos, podemos exemplificar essas categorias utilizando uma célula de produção.

A Figura 2.9 mostra uma célula de fabricação na qual podemos dividir as atividades existentes de acordo com a classificação apresentada.

Figura 2.9 | Exemplo de classificação das atividades de processo em uma célula de fabricação



Fonte: elaborada pelo autor

**Processamento/fabricação**: trata-se dos processos de furação, torneamento e solda que transformam o objeto de trabalho.

**Inspeção**: são processos realizados na saída da célula de trabalho para verificação de variáveis de processos importantes que possam demonstrar desvios no sistema produtivo.

**Transporte**: são os transportes para chegar até a célula de fabricação, os transportes entre os processamentos e o transporte na saída da célula.

Estocagem ou espera: no começo e no final do processo, quando a matéria prima precisa vir do estoque ou ser colocada no estoque. Outro instante é quando o objeto de trabalho é colocado entre os processos, onde pode ocorrer uma espera para o próximo processo ou um micro estoque para controle do fluxo de processamento.

Alguns requisitos são importantes para análise e realização da **função de operação**. Dentre os elementos desta função, a preparação ou tempo de *setup* é um dos pontos mais relevantes.

O tempo de setup é o tempo que se leva para realizar a preparação de uma máquina ou processo. Esse tempo pode incluir a troca de moldes, ajustes nos equipamentos, troca de ferramentas, alimentação de processos com apenas uma peça de trabalho etc. Essas operações podem ser essenciais ou auxiliares. Como exemplo de operações essenciais, citamos as operações de processamento e montagem, já as operações auxiliares podem ser exemplificadas como operações de alimentação, carregamento e descarregamento. Essas operações auxiliares demandam tempo e, na maioria das vezes, envolvem trabalhadores ou máquinas.

Além das operações auxiliares, outros elementos que consomem tempo são as folgas. Elas podem ser classificadas em folgas com ou sem a participação do trabalhador. As folgas na operação por fadiga da máquina ou necessidades fisiológicas dos trabalhadores são as folgas nas quais o trabalhador e as máquinas são os principais responsáveis, por exemplo. As folgas que não dependem de trabalhadores e máquinas são aquelas não previsíveis e podem aparecer em casos de manutenção, falta de suprimento ou paradas não programadas.

Como visto, o planejamento e controle dos sistemas de produção é composto por carregamento, sequenciamento, programação e controle.

Agora, vamos retomar esses conceitos para a implementação da fabricação industrial.

**Carregamento**: é a quantidade de trabalho alocada para um centro de trabalho. O tempo de utilização real da máquina, sem perdas e tempos de folga, é utilizado para realização da fabricação.

Os carregamentos precisam ser considerados para saber com quais recursos a fabricação poderá ser realizada. Eles podem ser **finitos**: que consideram um número fixo de elementos para serem fabricados ou **infinitos**: que consideram uma alocação constante de trabalho. Em atividades com múltiplas etapas, com várias capacidades por etapa e um mix variável de produtos, o uso de carregamento finito acaba criando muitas restrições. Essas restrições fazem com que as máquinas utilizadas no carregamento fiquem com trechos de tempos ociosos, criando uma dificuldade muito grande para ajuste dos equipamentos com o objetivo de uma produção com fluxo constante.

**Sequenciamento**: o sequenciamento consiste na ordem em que as tarefas serão executadas. Esta atividade é desenvolvida após a verificação da disponibilidade de recursos (carregamento) para verificar quais as atividades e em quais sequências serão realizadas na utilização dos recursos.

A natureza física dos materiais pode determinar como o trabalho pode ser priorizado. Por exemplo, a utilização de tingimentos, na indústria têxtil, pode ficar para última atividade na produção de tecido. A natureza do equipamento também pode ser um fator limitante no sequenciamento. Por exemplo, na indústria de papel, o equipamento de corte é regulado pela largura do papel empregado. É mais fácil e mais rápido preparar o equipamento de corte para um tamanho adjacente (para baixo ou para cima), do que prepará-lo para um tamanho totalmente diferente.

As operações algumas vezes permitem que um consumidor prioritário tenha seu pedido processado antes de outros, independentemente da ordem de chegada do pedido.

Algumas técnicas de sequenciamento, segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), são comumente utilizadas e veremos suas características a seguir.

#### Data de entrega

A priorização pela data de entrega significa que o trabalho é sequenciado conforme a data de entrega determinada. O sequenciamento baseado na data de entrega normalmente melhora a confiabilidade de entrega de uma operação e a rapidez desta. Entretanto, pode não proporcionar a melhor produtividade como um sequenciamento do trabalho voltado para a eficiência. Esse sequenciamento é pouco flexível quando novas tarefas urgentes chegam ao centro de trabalho.

#### LIFO Last In First Out (Último a Entrar, Primeiro a Sair)

É um método de sequenciamento usualmente escolhido devido a razões práticas. Por exemplo, um elevador pode realizar este tipo de sequenciamento, pois há somente uma porta para entrada e saída. Este sequenciamento não é um sequenciamento bem qualitativo, pois, em alguns casos, causa espera de elementos que primeiramente entram e acabam tendo um tempo muito grande até a saída deles.

#### FIFO First In First Out (Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair)

Algumas operações podem servir aos consumidores na sequência própria de suas chegadas, que é o formato FIFO. Essa regra é, algumas vezes, denominada "primeira a entrar, primeira a ser servida".

Se consideradas as operações de visualização direta dos consumidores, o momento de chegada é visto como uma forma justa de sequenciamento, o que diminui a possibilidade de reclamações e melhora o desempenho percebido do sistema. Porém, esse tipo de sequenciamento não considera casos em que a urgência é importante ou datas diferenciadas são prometidas. Algumas dessas necessidades podem não ser atendidas tanto quanto as mais comuns ao sistema.

A rapidez e a confiabilidade são os pontos críticos deste tipo de sequenciamento. Devido a clareza na priorização aos olhos dos consumidores, a flexibilização é um ponto muito difícil de se conseguir com esses sistema de sequenciamento.

#### Operação mais longa/MATP (Maior Tempo de Processamento)

Em alguns casos, as tarefas que necessitam de mais tempo para processamento são as que devem ser priorizadas. Isso tem a vantagem de ocupar os centros de trabalho dentro da operação por longos períodos. Esta regra de sequenciamento mantém os centros de trabalho em total utilização no começo dos ciclos e, depois, torna-os mais flexíveis por trabalhar com tempos menores de processo.

#### Operação mais curta/METP (Menor Tempo de Processamento)

As operações podem ser limitadas por disponibilidade de caixa. Nessas situações, as regras de sequenciamento podem ser ajustadas para começar primeiro pelos trabalhos mais curtos. Esses trabalhos podem então ser faturados, facilitando possíveis incertezas com o

fluxo de caixa. Os trabalhos que tomam mais tempo não permitirão um faturamento rápido. Isso tem um efeito no desempenho de entrega, considerando que a unidade de medida da entrega é o número de trabalhos completos. Todavia, ela pode afetar a produtividade prejudicando consumidores maiores.



#### Julgando as regras de operação

Se julgadas as regras de sequenciamento apresentadas, os objetivos de confiabilidade, rapidez e custo são particularmente importantes. Assim, por exemplo, os seguintes objetivos de desempenho são geralmente usados:

- Atender a data prometida ao consumidor (confiabilidade).
- Minimizar o tempo que o trabalho gasto no processo, ou "tempo de fluxo" (rapidez).
- Minimizar o estoque do trabalho em processo (um elemento que contabiliza no custo).
- Minimizar o tempo ocioso dos centros de trabalho (outro elemento influente no custo).

Para um comparativo entre as técnicas apresentadas, a Quadro 2.1 mostra as técnicas, os tipos de priorização e suas desvantagens.

Quadro 2.1 | Comparativo entre os métodos de sequenciamento considerando o tipo de priorização e suas desvantagens

Método de sequenciamento	Priorização	Desvantagem	
Data de entrega	A data de entrega mais próxima é priorizada. Prioriza e atende a data prometida dando confiabilidade.	O sequenciamento é travado para a data de entrega, obtendo pouca flexibilidade.	
LIFO Last In First Out	Utilizado quando o sistema possui um único meio de acesso. Possui uma tendência a ocupar menos espaço.	O tempo do primeiro elemento colocado é maior para sair, o que pode provocar problemas com validade ou rastreamento.	
FIFO First In First Out	Utilizado de forma mais prática de visualizar, transparência implícita no sistema. Traduz agilidade e confiabilidade.	Baixa flexibilidade fazendo com que seja muito difícil realizar uma priorização de entrega.	
Operação mais longa/MATP (Maior Tempo de Processamento)	Prioriza as tarefas com maior tempo de processamento criando assim um maior aproveitamento da disponibilidade dos recursos.	Baixa flexibilização no começo das operações, levando um tempo para que as atividades possam ser flexíveis.	
Operação mais curta/METP (Menor Tempo de Processamento)	Prioriza tarefas com menor tempo de processamento tornando mais flexível no começo das atividades.	Como as atividades com tempos maiores são alocadas posteriormente, se ocorridos atrasos, estes prejudicarão a produção num todo.	

Fonte: elaborada pelo autor.

Além das regras de tempo e alocação para a produção, existe uma regra utilizada para otimização do tempo e carga de máquinas que é a Regra de Johnson.

#### Regra de Johnson

Em alguns casos de sequenciamento existe a necessidade de sequenciar um certo número de tarefas em dois centros de trabalho. A regra de Johnson consiste em, primeiramente, procurar para cada tarefa o menor tempo de processamento (independentemente se esta

tarefa pertence ao primeiro ou ao segundo centro de trabalho). Caso a tarefa do menor tempo seja do primeiro centro de trabalho, programe essa tarefa para o começo da sequência, ou o mais perto possível do primeiro lugar. Se o menor tempo de trabalho estiver associado ao segundo centro de trabalho, programe essa tarefa para o final do sequenciamento, ou o mais perto possível da última posição. Quando um trabalho tiver sido programado, tire-o da lista. Continue alocando as tarefas até terminar a lista.



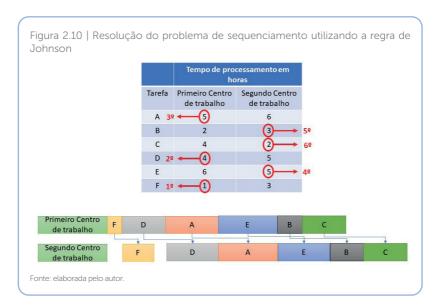
Considere dois centros de trabalho em que foram elencadas as tarefas conforme a Tabela 2.1. Deseja-se realizar o sequenciamento das tarefas segundo a técnica de Johnson. Sabe-se que o segundo centro só poderá realizar a tarefa depois que ela foi realizada no primeiro centro de trabalho.

Tabela 2.1 | Exemplo de tarefas elencadas de acordo com o tempo de processamento de dois centros de trabalho

	Tempo de processamento em horas			
Tarefa	Primeiro Centro de trabalho	Segundo Centro de trabalho		
Α	5	6		
В	2	3		
С	4	2		
D	4	5		
Е	6	5		
F	1	3		

Fonte: elaborada pelo autor.

Para solucionar o problema serão priorizadas as tarefas de acordo com os tempos nos centros de trabalho. A Figura 2.10 mostra a resolução do sequenciamento junto com um gráfico de Gantt (gráfico de barras que mostra o desenvolvimento no tempo das atividades de acordo com cada máquina), mostrando como seria o sequenciamento na linha do tempo.



#### Programação

Por fim, ao determinar a sequência em que o trabalho será desenvolvido, após conhecer o carregamento, algumas operações requerem um cronograma detalhado, mostrando em que momento os trabalhos devem iniciar e terminar. Esta é uma programação.

O diferencial para a programação, objetivando a fabricação industrial, é que os tempos considerados como folgas, *setup* e processamento devem ser contabilizados para a realização de uma programação correta.

#### Ordem de Produção

A execução da fabricação é realizada a partir da Ordem de Produção, que é um documento, arquivo ou meio digital, que trabalha com os dados da programação e realiza o pedido direto de realização da produção.

A ordem de produção precisa conter todos os dados para que se saiba o que deve ser produzido, quando produzir e como produzir. Ela trabalha de forma integrada com os processos de planejamento para realização do controle do processo de fabricação.

Não apenas os requisitos de fabricação, mas os requisitos de necessidades de materiais são solicitados quando é realizada a emissão

da ordem de produção. As necessidades de materiais, como visto anteriormente, é registrada e acompanhada a partir do MRP existente no Sistema de Produção.



A ordem de produção pode ser um elemento automatizado para a obtenção de um controle maior e integração com outros sistemas. Mais informações podem ser obtidas no artigo a seguir:

LOPES, Camila. Ordem de produção: o que é e como fazer. **ERPFlex**, 2017. Disponível em: <a href="https://www.erpflex.com.br/blog/ordem-de-producao">https://www.erpflex.com.br/blog/ordem-de-producao</a>. Acesso em: 28 out. 2017.

#### Integração da fabricação industrial

A estratégia de integração envolve a ligação de diferentes estações de trabalho em um único mecanismo integrado, utilizando dispositivos automatizados para tratamento do trabalho na transferência das peças entre as estações. Com mais de uma estação de trabalho, diferentes peças podem ser processadas simultaneamente, aumentando a produção total do sistema.

Sabemos que a automação envolve um conjunto de técnicas de controle, resultando em um sistema ativo, capaz de fornecer a resposta adequada em função das informações que recebe do processo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Os sistemas de controle de processos têm como objetivo realizar o aumento da produção e diminuição dos custos tratando os riscos da produção. O fato de realizar as tarefas de forma remota é uma das soluções que auxilia a diminuição de riscos laborais da produção.

A gestão da informação industrial é realizada através de *Enterprise Production Systems* (EPS). Dentro desses sistemas são incluídos os *Plant Information Management System* (PIMS) e os *Manufacturing Execution Systems* (MES), que atuam trocando informação na parte intermediária entre a gerência e os níveis mais baixos da produção.

Os Enterprise Resource Planning (ERP), que são sistemas de gestão corporativa, são responsáveis em transformar os dados obtidos pelos EPSs em informações gerenciais, conforme a pirâmide de automação apresentada na Seção 2.2.

Todo o fluxo produtivo é controlado pelo MES, incluindo a parte de estoque e matéria prima, disponibilidade de máquina e produtos em processamento. Por meio desse sistema, os indicadores de desempenho podem ser calculados (*Key Performance Indicators* - KPI). Esses indicadores mostram o desempenho da produção.

Um dos papéis do MES é o de controlar a produção a partir da avaliação do que foi efetivamente produzido, e como foi produzido. A partir do comparativo do que foi produzido com o que foi planejado, pode-se tratar corretamente a informação da produção e auxiliar na realização de ações corretivas, caso forem necessárias.

Outro papel atribuído ao MES é o de enviar as ordens de produção para realização da programação da produção definida pelo MRP (Manufacturing Resources Planning), ou seja, garantir a execução do plano definido pelo MRP.

As empresas se preocupam em responder de forma mais ágil e competitiva às demandas do cliente. Por esse motivo é grande a necessidade de automatizar os processos. Neste contexto, a competitividade é alcançada com a automação focalizada nos negócios e nos resultados a serem alcançados.

Integrar as informações dos níveis mais baixos com os sistemas de tomada de decisão não é uma tarefa fácil e instantânea. Os processos devem ser sistematizados antes de serem automatizados. Por esse motivo, foram estudados os elementos relevantes para a fabricação e execução da manufatura para compreender a integração de suas informações.



Reflita

Considerando os elementos que são responsáveis pela automação dos sistemas industriais, a quantidade de pontos de automação podem crescer muito. Para o tratamento de todos esses dados é comum o uso de redes de comunicação. Como poderiam ser estruturadas estas redes? Quais os elementos importantes para o funcionamento? Necessitaria de protocolos específicos para a comunicação?

#### Sem medo de errar

Lembramos que, devido a um aumento de demanda, uma empresa deseja realizar sua expansão criando uma nova planta produtiva em um novo local. Após o planejamento realizado anteriormente, é chegada a hora de verificar o processo de fabricação.

Para a fabricação devemos verificar os tempos necessários, tanto de folga como de processo e também *setup* para obter a disponibilidade dos equipamentos que serão utilizados.

Após obter essa disponibilidade, deverá ser estudado quais os tipos de sequenciamento serão utilizados e quais as priorizações que deverão ser consideradas. O sequenciamento não precisa, necessariamente, ser apenas um, mas deve ser eficiente para realizar a entrega de acordo com os requisitos de desempenho: rapidez, confiabilidade e redução de custo.

O sequenciamento dependerá do carregamento realizado, pois ele depende da disponibilidade das máquinas e do *layout* escolhido para trabalho, que define o posicionamento e algumas limitações de transporte interno.

Realizado o sequenciamento dá-se o encaminhamento à programação. Ela será responsável por determinar quando, quanto será produzido e como serão realizadas as atividades de produção.

A integração necessária será entre os sistemas de produção e supervisão. Essa integração é realizada por programas que verificam as ordens de produção, que serão emitidas. Tal ordem pode ser obtida diretamente de um sistema de execução, um sistema MES responsável pelo monitoramento dos elementos de fabricação será automatizado tanto quanto o nível de automatização da linha e dos procedimentos de supervisão. O sistema MES não só irá monitorar a produção, mas levará informações importantes para compor dados estratégicos em um ERP para tomadas de decisão gerenciais.

Outro motivo importante para levantar a necessidade dessa integração é que essa empresa terá uma matriz. As informações da nova filial serão importantes para a verificação do desempenho dessa nova unidade e de informações estratégicas importantes para a empresa matriz.

A automatização deverá buscar o aumento da produção, uma vez que o problema principal é suprir demandas e diminuir custos de transporte. Para isso, a implementação de um sistema de gestão de fabricação se faz necessário para aumento da qualidade e confiabilidade na produção.

Com estes conhecimentos você termina a conceitualização da avaliação de sistemas industriais e estará preparado para iniciar os estudos dos tipos de análise dos sistemas industriais.

#### Avançando na prática

#### Sequenciamento de atividades

#### Descrição da situação-problema

Considere que em uma empresa o sistema de produção está apresentando atrasos constantes em vários pedidos realizados. Sabese que essa empresa trabalha com produção em lotes e a maioria dos sequenciamentos utilizados são os sequenciamentos de Data de Entrega e FIFO (*First In First Out*), bem como as principais reclamações são de clientes que detém a maioria dos pedidos realizados. Quais são as características que podem influenciar os atrasos? Como esta reclamação poderia ser resolvida? O que há de errado nos sequenciamentos utilizados?

#### Resolução da situação-problema

No caso descrito, o primeiro tipo de sequenciamento, o de Data de Entrega, pode ser utilizado com uma ponderação de priorização. Sabendo que esta data deverá obedecer a disponibilidade dos recursos para, só a partir do conhecimento desta disponibilidade, realizar o agendamento. Provavelmente o agendamento neste tipo de sequenciamento deve estar com problemas, respeitando, portanto, os tempos de disponibilidade, os atrasos serão reduzidos.

No segundo tipo de sequenciamento (FIFO), por ser muito transparente aos clientes, acaba não tendo uma flexibilização na realização do sequenciamento. Uma alternativa poderia ser o sequenciamento da maior atividade em primeiro lugar. Com este sequenciamento a disponibilidade é utilizada totalmente no início do sequenciamento e uma flexibilização posterior seria possível para alocação de tarefas com menor tempo de trabalho.

#### Faça valer a pena

**1.** A função produção consiste na observação do fluxo do objeto de trabalho, ou seja, os materiais, serviços e ideias no tempo e no espaço. Esta visão verifica a situação nos diferentes estágios de produção observando a

gradativa transformação das matérias-primas. Se considerarmos a função produção, quando falamos na fabricação propriamente dita, temos quatro categorias em que o processo poderia ser dividido, ou que poderiam descrever a função processo.

Qual a alternativa cita todas estas categorias?

- a) Carregamento, sequenciamento, transporte e estoque.
- b) Carregamento, sequenciamento, programação e monitoramento.
- c) Processamento, inspeção, programação e monitoramento.
- d) Processamento, inspeção, transporte e estoque.
- e) Carregamento, processamento, inspeção e transporte.
- **2.** É um método de sequenciamento usualmente escolhido por razões práticas. Por exemplo, um elevador pode realizar este tipo de sequenciamento pois, somente uma porta para entrada e saída. Este sequenciamento, em alguns casos, causa espera de elementos que, primeiramente, entram e acabam tendo um tempo muito maior até a saída.

Qual alternativa representa o tipo de sequenciamento descrito no textobase?

- a) FIFO (First In First Out).
- b) Por Data de Entrega.
- c) Método Johnson.
- d) Priorização do trabalho com a tarefa de maior tempo de execução.
- e) LIFO (Last In First Out).
- **3.** O MES (*Manufacturing Execution System*) cumpre dois papéis: o de controle da produção. Ou seja, considera o que foi efetivamente produzido e como foi produzido, permitindo comparações com o que estava planejado para permitir a informação e realização de ações corretivas. O outro papel é de enviar as ordens de produção, tendo a preocupação de detalhar a decisão de programação da produção definida pelo MRP (*Manufacturing Resources Planning*).

Assinale a alternativa CORRETA a respeito dos sistemas de integração da manufatura:

- a) O MRP é um sistema preocupado com a execução da produção.
- b) Para o controle da produção o MES utiliza as informações das necessidades de materiais (MRP).
- c) O MES é um sistema que controla a produção e é independente do MRP.
- d) O MES realiza o controle da produção baseado em previsões de vendas.
- e) O MRP é um sistema que tem em seu núcleo o MES.

### Referências

AMORIM, Diego Felipe Borges de. **O conceito e os tipos de layout**. 2015. Disponível em: <a href="https://www.administradores.com.br/artigos/academico/oconceito-e-os-tipos-de-layout/90808/">https://www.administradores.com.br/artigos/academico/oconceito-e-os-tipos-de-layout/90808/</a>». Acesso em: 10 out. 2017.

ANTUNES, Junico et al. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. 328 p.

FERNANDES, Giovani; STRAPAZZON, Rafael; CARVALHO, Andriele de Pra. Layout de empresas e seus benefícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 33., 2013. Disponível em: <a href="http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\_tn\_sto\_177\_010\_23292.pdf">http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\_tn\_sto\_177\_010\_23292.pdf</a>>. Acesso em: 10 out. 2017.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. São Paulo. Bookman. 2013.

LOPES, Camila. **Ordem de produção: o que é e como fazer**. 2017. Disponível em: <a href="https://www.erpflex.com.br/blog/ordem-de-producao">https://www.erpflex.com.br/blog/ordem-de-producao</a>. Acesso em: 28 out. 2017.

PESCIO, Paulo Henrique. Análise da integração da tecnologia da automação aplicada ao processo de fabricação de papel. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde.../PauloHenriquePescioOrig16.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2017.

PIMENTA, João. Primeiros passos para implantação da programação da produção industrial (PPCP). **Nomus**: Blog Industrial, 17 set. 2015. Disponível em: <a href="http://www.nomus.com.br/blog-industrial/2015/09/primeiros-passos-para-implantacao-daprogramacao-da-producao-industrial-ppcp/">http://www.nomus.com.br/blog-industrial/2015/09/primeiros-passos-para-implantacao-daprogramacao-da-producao-industrial-ppcp/</a>. Acesso em: 20 out. 2017.

SHINGO, Shigeo. **Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 2007. 280 p.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Just in time**: conceito, definição e objetivos. 2017. Disponível em: <a href="https://www.citisystems.com.br/just-in-time-conceitosignificado/#">https://www.citisystems.com.br/just-in-time-conceitosignificado/#</a>>. Acesso em: 20 set. 2017.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 750 p.

# Avaliação de sistemas industriais

#### Convite ao estudo

Os sistemas produtivos, quando operam dentro do seu planejamento, têm o objetivo de realizar a manufatura de produtos em escala industrial, utilizando a matéria prima de forma otimizada. A verificação dessa produtividade pode mostrar se o sistema realiza a produção corretamente, conforme planejado, ou se alguma inconsistência está impedindo o sistema de operar como programado. Analisar os motivos que impedem o funcionamento planejado de um sistema produtivo é uma prática muito comum na indústria.

Na primeira seção desta unidade serão abordados os temas de análise de sistemas industriais. Começaremos pelo levantamento dos principais objetivos dos sistemas de produção e esses objetivos serão avaliados como principal influência no desempenho do custo dos sistemas produtivos.

Após esses fundamentos, a segunda seção tratará dos tipos de avaliação que podem ser realizadas para os sistemas industriais. Para esta disciplina, o foco estará nas avaliações ambientais, econômicas e técnicas, tornando assim um complemento das principais avaliações a serem realizadas em um sistema industrial.

Já na última seção, serão discutidos os resultados quantitativos e qualitativos pertinentes às avaliações industriais, bem como os critérios para realizá-las.

O resultado dessas discussões trará propostas de alteração dos sistemas industriais, como realizá-las e o que essas alterações influenciam. Por fim, serão descritas as aplicações práticas das avaliações levantadas.

Para isso, considere que uma empresa deseja implementar um novo sistema de produção baseado em manufatura flexível e controle de desperdício, pelos conceitos da metodologia de *Lean Manufacturing*. Para tal, contratou uma consultoria para levantar os parâmetros que possam justificar essa implementação.

Você foi escolhido para auxiliar nesse estudo e realizar, junto aos consultores, uma avaliação dos sistemas industriais existentes na empresa, para servir como uma base comparativa do novo sistema, além de uma forma de verificar a possibilidade de adequação dos sistemas existentes. Para tanto, será necessário realizar uma avaliação dos sistemas, observando os critérios que abrangem requisitos produtivos, econômicos, ambientais e de qualidade.

Um dos primeiros passos para implementar essa avaliação será desenvolver um plano a fim de identificar os critérios a serem utilizados e os processos de avaliação, auxiliando os consultores na verificação dos índices que poderão mostrar a alteração do desempenho do sistema industrial da empresa.

Diante disso, quais serão os critérios abordados? Qual será o procedimento escolhido para realizar a avaliação? Quais resultados devem ser reportados para auxiliar os consultores?

Para responder a essas perguntas você deverá verificar quais critérios serão tratados, quais procedimentos serão escolhidos para a avaliação e o que deverá ser reportado. Ademais, esses pontos serão tratados nesta seção e irão ajudá-lo a realizar a avaliação do sistema. Portanto, vamos começar!

# Seção 3.1

#### Avaliação de sistemas industriais

#### Diálogo aberto

Nesta seção serão observados os fundamentos da avaliação dos sistemas industriais, bem como os principais parâmetros e critérios nessa avaliação e o processo necessário para a sua realização.

Considere uma empresa que deseja implementar um novo sistema de produção baseado em manufatura flexível e controle de desperdício, pelos conceitos da metodologia de *Lean Manufacturing*. Para tal, uma consultoria foi contratada a fim de levantar os parâmetros que possam justificar essa implementação. Ademais, você foi escolhido para auxiliar nesse estudo e realizar, junto aos consultores, uma avaliação dos sistemas industriais existentes na empresa para realizar uma comparação entre o antes e depois da implementação de um novo sistema, bem como a verificação da possibilidade de adequação dos sistemas existentes.

A consultoria contratada para avaliar a implementação das metodologias propostas (controle de desperdício e *Lean Manufacturing*) requisitará parâmetros de avaliação dos sistemas industriais. Assim, você deverá verificar quais parâmetros são importantes para as necessidades da consultoria e terá que avaliar quais critérios serão melhor utilizados para realizar essa avaliação. Além dos critérios, os processos deverão ser relatados e justificados para aceitação e verificação das condições dos sistemas antes e depois das implantações. Diante disso, quais serão os critérios abordados? Quais parâmetros serão melhor utilizados pela consultoria? Qual processo deverá ser definido para a realização da avaliação?

Bons estudos!

#### Não pode faltar

A produção é comumente uma das funções que mais preocupam as empresas e organizações. Ela possui três papéis que determinam essa importância:

- Implementa a estratégia empresarial.
- Apoia a estratégia empresarial.
- Impulsiona a estratégia empresarial.

A produção é influente nos três níveis hierárquicos existentes na empresa:

**Nível estratégico:** neste nível são definidas as estratégias de longo prazo da empresa e a produção segue o que é definido para atingir o plano estratégico da empresa.

**Nível tático:** neste nível são definidos os planos de médio prazo da produção, em especial o desenvolvimento do Planejamento Mestre da Produção (PMP).

**Nível operacional:** neste nível são preparados os programas de curto prazo de produção que realizam o que foi estabelecido nos níveis anteriores. Além disso, tem destaque o Planejamento e Controle da produção (PCP), que prepara a programação da produção e executa o acompanhamento, controlando a produção.

A função produção será considerada, nesse contexto, como uma forma generalizada que abrange o sistema produtivo.

A maioria das empresas possui uma estratégia, porém, a produção é o elemento principal que irá colocá-la em prática. Como visto anteriormente, um plano estratégico de uma empresa depende da execução da produção para a manufatura de produtos em determinada forma, em determinada quantidade e em determinado tempo, a fim de atingir objetivos traçados a longo prazo. O desenvolvimento de recursos para que os objetivos estratégicos possam ser atingidos é o principal apoio dado a essa estratégia.

Para impulsionar a estratégia e dar vantagem competitiva à empresa, as perspectivas de longo prazo são consideradas para diminuição de custo de produção, agilidade na entrega, tempos de entrega e grande possibilidade de escolha (mix de produtos).

A influência da função produção em qualquer empresa deve ser julgada conforme seus propósitos e aspirações. De acordo com Slack (2002), um modelo desenvolvido pela Harvard University em conjunto com a University of Southern California pode traçar a progressão da função produção até sua excelência, passando por quatro estágios:

Estágio 1 - Neutralidade interna: neste nível a função produção contribui pouco. Com a neutralidade interna, a função produção não detém eficácia competitiva da organização. Seu principal objetivo é reagir às mudanças internas e externas da organização, passando despercebida para, ao menos, não contribuir para o insucesso da empresa. O restante da organização não vê a importância da função produção nesse estágio, o que a faz passar como neutra perante requisitos de originalidade, talento ou impulso competitivo.

Estágio 2 - Neutralidade externa: para que a função produção possa sair do primeiro estágio é preciso compará-la a empresas de mesmo porte no mercado. Este estágio não colocará a empresa entre as melhores do mercado, porém, os comparativos de desempenho e práticas produtivas podem ajudar a criar parâmetros para a melhoria. Esses parâmetros podem fazer com que a empresa siga as melhores práticas existentes no mercado, com isso ela será vista como neutra. Ou seja, a empresa não trará nenhum diferencial referente ao mercado, porém estará dentro das normas e práticas esperadas do mercado.

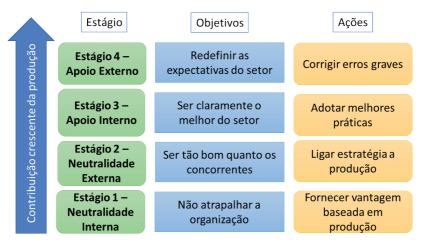
Estágio 3 - Apoio interno: a produção neste terceiro estágio provavelmente atingiu um lugar entre as melhores. Pode não se destacar entre elas, mas será representativa e referenciada no mercado. Neste estágio uma visão da concorrência é obtida e os objetivos estratégicos se tornam claros, podendo assim desenvolver os recursos produtivos para alcançar os objetivos estratégicos da empresa. O apoio interno para o alcance desses pontos estratégicos

é peça fundamental para superar deficiências que possam prejudicar o processo produtivo.

Estágio 4 - Apoio externo: quando uma empresa alcança o estágio 4 ela considera a função produção como provedora principal do seu sucesso competitivo. A produção realiza uma visão a longo prazo e verifica mudanças no mercado, conseguido se adequar a elas, além de ter a capacidade de competir nas condições futuras de mercado. A função produção se torna um elemento principal na estratégia da empresa.

A Figura 3.1 mostra um resumo entre os estágios da função produção, os objetivos de cada estágio e o grau de contribuição da produção para a estratégia da organização. Junto dos estágios estão descritos, também, os seus objetivos e as ações previstas das organizações para atingir tais estágios.

Figura 3.1 | Estágios de contribuição da produção para a estratégia da organização



Fonte: elaborada pelo autor.

#### Desempenho dos sistemas produtivos

O desempenho dos sistemas produtivos é um dos principais elementos para a verificação do seu correto funcionamento e análise. Os principais interessados no desempenho do sistema são os *stakeholders*, nome dado a pessoas ou grupos de pessoas que possuem interesse na operação e que podem ser influenciadas ou

influenciar as atividades da operação produtiva. Os stakeholders podem ser internos, por exemplo os empregados da operação, ou externos, como a sociedade, os grupos comunitários ou acionistas da empresa. Quando considerado o relacionamento comercial da empresa alguns stakeholders externos podem ser os fornecedores da produção e os consumidores que irão receber os produtos ou serviços.

#### Cinco objetivos de desempenho

Para realizar uma análise de desempenho em uma empresa é necessário que a mesma tenha a possibilidade de alcançar os objetivos que satisfaçam os seus *stakeholders*.



Caro aluno, tem-se cinco objetivos de desempenho básicos aplicados a todos os tipos de operações e sistemas produtivos:

**Qualidade** – a percepção de produtos que compreendem normas pré-estabelecidas de manufatura, proporcionam uma vantagem com relação ao que é requisito qualitativo para a empresa.

**Rapidez** – a agilidade com que os sistemas produtivos podem ser analisados, para cada operação ou todas no processo produtivo, aumentando dessa forma a disponibilidade de seus bens e serviços, com isso é proporcionado a seus consumidores uma vantagem no que se refere a rapidez.

**Confiabilidade** – é considerada a certeza da realização de uma produção dentro de um prazo pré-determinado.

**Flexibilidade** – a flexibilidade é a capacidade da empresa de alterar seus produtos para atender uma determinada demanda.

**Custo** – a realização das atividades produtivas com a diminuição dos custos produtivos é decorrente do alcance do mínimo de gastos.

Quando a organização procura fazer isso, está proporcionando vantagem de custo a seus clientes.

## Objetivo qualidade

O conceito de qualidade pode ser definido como o atendimento a certos requisitos e necessidades estabelecidos pela demanda. Esses requisitos normalmente se alteram de acordo com o tipo de operação, por exemplo, em uma montadora automotiva, a qualidade está relacionada aos carros fabricados conforme as especificações de segurança da *Society of Automotive Engineers* (SAE) e à confiabilidade aceitável e requisitada pelo mercado.

#### Qualidade dentro da operação

Quando a operação é observada com suas etapas, o bom desempenho do requisito de qualidade facilita a maioria das operações internas, trazendo satisfação aos consumidores internos. Satisfazer os clientes internos, como processos predecessores, para uma cadeia de manufatura enxuta, pode ser tão importante quanto satisfazer os consumidores externos.

#### Qualidade reduz custos

Quanto mais a qualidade pode ser garantida nos processos de uma unidade produtiva (célula, setor ou até mesmo posto de trabalho), menores serão os erros de processo. Com menos erros, menor será o tempo necessário para realizar a correção e, portanto, haverá menos gastos de recursos.

#### Qualidade aumenta a confiabilidade

Quando o sistema produtivo trabalha dentro de parâmetros definidos pela qualidade, prazos e quantidades produzidas são cumpridos e trazem como consequência o aumento da confiabilidade.

## Objetivo rapidez

A rapidez pode ser definida pelo tempo necessário para um processo ser realizado e o resultado ser entregue ao consumidor ou à demanda requerida. Para a maioria dos bens e serviços quanto mais rápido a sua disponibilização, maior é a confiança depositada.

Para os consumidores finais, quanto mais rápido o produto, maior será a probabilidade de escolha frente a outros similares no mercado.

#### Rapidez da operação interna

As operações internas, quando realizadas com rapidez, retornam uma resposta rápida à demanda e essa resposta aumenta a confiabilidade da operação. A rapidez da operação interna é auxiliada pela rapidez da tomada de decisão, da movimentação de materiais e das informações internas da operação.

#### Rapidez reduz estoques

A filosofia do *Lean Manufacturing* toma como base a redução de estoques entre os postos de trabalho. Para atingir um fluxo constante e rápido, é necessário realizar as operações com o menor tempo de transporte, como visto anteriormente, para que os estoques não se formem entre elas



A metodologia *Lean Manufacturing* baseia-se em combater os desperdícios existentes na produção. De acordo com Lopes (2017) eles podem ser classificados em 8 categorias:

**Processamento impróprio:** este desperdício compreende o processamento excessivo, além do que o cliente pede.

**Produção excessiva:** remete-se a produzir em excesso, ou seja, obter mais saídas de materiais ou informações que o necessário.

Estoque: armazenagem excessiva de insumos.

**Transporte:** realização de transporte sem necessidade.

**Movimentação desnecessária:** realização de movimentação de materiais sem necessidade imediata.

**Retrabalho e defeito:** a realização de um trabalho pela segunda vez sempre é fonte de desperdício e essa necessidade sempre provém de defeitos existentes no produto final.

**Espera:** quando o processo produtivo possui muitas etapas que dependem de esperas, seja de fornecedores, seja de processos antecessores.

**Conhecimento:** quando pessoas capacitadas são subutilizadas e seus conhecimentos, que poderiam agregar muito no processo produtivo, acabam sendo desperdiçados.

#### Rapidez reduz o risco

Quanto mais ágil o processo produtivo, mais contínuo o fluxo de produção. Considerando que um fluxo contínuo de produção pode demonstrar qualquer problema produtivo a partir de qualquer alteração desse fluxo, tem-se uma previsibilidade por parte da produção.

#### Objetivo confiabilidade

Confiabilidade significa realizar as tarefas de acordo com o prazo e com a expectativa da demanda. Por exemplo, uma montadora automotiva considerada confiável irá entregar carros e peças de reposição aos revendedores exatamente como pré-determinado em contrato.

## Confiabilidade na operação interna

Internamente os clientes julgarão o desempenho de acordo com o cumprimento das datas e valores considerados para as entregas internas. Tempos de produção, transporte e reposição, bem como as quantidades desses elementos são pontos perceptíveis para os consumidores internos, determinando que as operações que possuem confiabilidade interna maior são mais eficazes do que as que não possuem.

### Confiabilidade economiza tempo

A confiabilidade exige um plano a ser realizado e esse plano precisa ter como objetivo em comum a rapidez, a fim de garantir as entregas e as devidas quantidades solicitadas. Sabendo o que deverá ser realizado, facilita-se muito a possibilidade de utilizar a disponibilidade de maquinários e transporte para garantir mais tempo.

#### Confiabilidade economiza dinheiro

Quando o sistema produtivo possui confiabilidade em sua entrega há pouco desperdício, tanto de tempo como de insumos, uma vez que será produzido apenas o que a demanda exige. Sendo assim, serão poucas, ou nenhuma, as operações de retrabalho ou gasto desnecessário de insumos.

#### Objetivo flexibilidade

Flexibilidade significa capacidade de realizar mudanças em elementos de uma operação para poder atender variações da demanda. Especificamente, a mudança deve atender a quatro tipos de exigência:

- Flexibilidade de produto/serviço é a habilidade da operação de produzir novos produtos e serviços diferentes dos que já foram realizados.
- Flexibilidade de composto (mix) é a habilidade de alterar a variedade ou composto de produtos e serviços. A maioria das operações pode produzir mais de um produto ou serviço.
- Flexibilidade de volume é a habilidade da operação de alterar seu nível de saída ou de atividade. Todas as operações deverão mudar seus níveis de atividades porque, de alguma forma, deverão trabalhar com demanda flutuante de seus produtos e serviços obtendo como resultado quantidades ou volumes diferentes de produtos e serviços.
- Flexibilidade de entrega é a habilidade de realizar a mudança da programação de entrega do bem ou do serviço. Geralmente, alterase a programação antecipando o fornecimento, muitas vezes por solicitação do cliente, resultando em tempos de entrega diferentes.

#### Flexibilidade mantém confiabilidade

A flexibilidade interna também pode ajudar a manter a operação dentro do programado quando acontecem eventos imprevistos. Por exemplo, se um fluxo repentino de pacientes

também resultar na necessidade de cirurgias de emergência em um hospital, esses pacientes, certamente, serão atendidos antes de outras operações rotineiras.



A flexibilidade é um tema que torna os sistemas de produção mais competitivos e bem mais enxutos, comparando-os a sistemas com pouca flexibilidade. Maiores informações podem ser obtidas a respeito dessas vantagens a partir do artigo:

BUIAR, Denise Rauta. Flexibilidade como vantagem competitiva no novo paradigma tecnológico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 1998. Disponível em: <a href="https://goo.gl/8Qj4N9">https://goo.gl/8Qj4N9</a>>. Acesso em: 7 nov 2017



#### Exemplificando

Segundo Slack (2002), alguns exemplos podem ser considerados para os objetivos da produção, de forma a compreendê-los de melhor.

#### Em uma fábrica automotiva:

*Qualidade:* todos os componentes são fabricados conforme as especificações. A montagem atende às especificações, o produto é confiável, atraente e sem defeitos.

Rapidez: o tempo entre o pedido de um carro específico por um revendedor e sua entrega ao consumidor é mínimo. O tempo de espera pela assistência técnica é mínimo.

Confiabilidade: entrega veículos aos revendedores e peças de reposição aos centros de serviços no tempo previsto.

#### Flexibilidade:

- Flexibilidade de produto introdução de modelos novos.
- Flexibilidade de composto (mix) grande variedade de opções de modelos disponíveis.

- Flexibilidade de volume habilidade de se ajustar ao número de veículos fabricados, normalmente de acordo com a demanda.
- Flexibilidade de entrega habilidade de reprogramar as prioridades dos pedidos da produção.

#### Em uma empresa de ônibus urbanos:

Qualidade: os ônibus são limpos, arrumados, silenciosos e não emitem gases poluentes. O horário é rigoroso e atende às necessidades dos usuários. Os funcionários são corteses, amigáveis e solícitos.

Rapidez: o tempo total da jornada para o usuário atingir seu destino é mínimo.

Confiabilidade: cumpre o horário fixado em todos os pontos do trajeto, além de manter assentos disponíveis para os passageiros.

#### Flexibilidade:

- Flexibilidade de produto/serviço criação de novas rotas ou excursões.
- Flexibilidade de composto (mix) grande número de destinos servidos.
- Flexibilidade de volume habilidade de se ajustar à quantidade de viagens e tipos de serviços.
- Flexibilidade de entrega habilidade de alterar os horários das viagens.

### Objetivo custo

Para as empresas, o custo é um dos objetivos mais importantes pois determina competitividade em um mercado. Quanto menor o custo de produzir seus bens e serviços, menor pode ser o preço repassado aos seus consumidores. Mesmo as empresas que concorrem em outros aspectos têm um interesse em manter seus custos baixos. Os montantes monetários retirados de suas operações são contabilizados diretamente aos seus lucros. O custo baixo torna-se, portanto, um objetivo importante em todas as empresas.

A forma como o gerente de produção pode influenciar nos custos dependerá a que eles são atribuídos. Os principais gastos de uma produção podem ser resumidos em:

- Custo de funcionários (gastos com pessoal empregado).
- Custos de instalações, tecnologia e equipamentos (gastos em aquisição, conservação, operação e substituição de hardware de produção).
- Custos de materiais (gastos nos materiais transformados ou consumidos na produção).

Foram descritos anteriormente os significados e os efeitos de qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade para a produção. Dessa forma, é possível identificar a influência de cada objetivo de desempenho dos sistemas produtivos. Cada objetivo de desempenho possui diferentes efeitos observados de forma externa e todos eles afetam os custos, de modo que:

- Operações de alta qualidade dificilmente desperdiçam tempo ou esforço de retrabalho, como consequência seus clientes internos não são incomodados por serviços problemáticos.
- Operações rápidas conseguem reduzir o nível de estoque em processo, existente entre as tarefas, diminuindo dessa forma os custos administrativos indiretos.
- Operações confiáveis não causam imprevistos, sendo assim, suas entregas serão exatamente de acordo com o planejado. Ou seja, quando não há imprevistos o prejuízo de intermitência é eliminado, o que permite um fluxo contínuo para a produção.
- Operações flexíveis adaptam-se rapidamente às alterações da demanda e não interrompem o restante da operação de forma global. As operações flexíveis podem também trocar rapidamente de tarefas, sem desperdiçar tempo e capacidade.

#### Custos fixos e variáveis

Os custos da produção podem ser classificados em duas categorias principais: (1) custos fixos e (2) custos variáveis.

**Custo fixo** é aquele que se mantém constante para qualquer nível de resultado da produção. Os exemplos incluem o custo das instalações da fábrica e de equipamentos de produção, seguros e impostos de propriedade. Todos os custos fixos podem ser expressos em quantidades anuais.

Custo variável é aquele que varia em proporção ao nível de resultados obtidos da produção. Conforme a produção aumenta, custos variáveis também aumentam. Os exemplos incluem mão de obra direta, matéria-prima e energia elétrica para operar equipamentos de produção.



Foi observado que os principais objetivos do desempenho dos sistemas de produção afetam diretamente o custo. Quais os elementos que descrevem o desempenho de um sistema produtivo além do custo? Como esses outros elementos podem ser afetados por esses objetivos?

### Processo de avaliação

O início do processo de avaliação é baseado na definição dos parâmetros a serem analisados. Quando observamos os objetivos do sistema produtivo, verificamos que parâmetros básicos como qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade influenciam diretamente o custo. Nesse caso, o custo poderia ser o parâmetro de análise para a verificação do desempenho de um sistema produtivo.

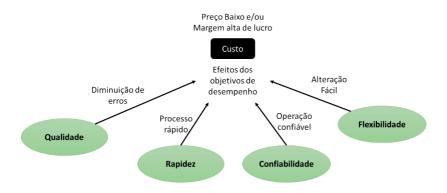
Dessa forma muitos outros objetivos, provenientes dos objetivos apresentados, podem ser considerados para avaliar sua devida influência em parâmetros de interesse.

O custo foi estudado pela sua capacidade de conter em sua base a influência direta de tempo, quantidade e qualidade. Outros parâmetros como capacidade produtiva, variedade de produtos e complexidade da peça tem suas bases nos objetivos apresentados, porém, podem convenientemente alterar suas concepções e a forma como os objetivos compõem o parâmetro analisado de acordo com a necessidade da análise.

A intenção de utilizar a descrição de cada objetivo é setorizar os possíveis problemas para propor soluções mais assertivas.

A Figura 3.2 mostra como o custo, considerado o parâmetro avaliado, pode ser influenciado pelos objetivos da produção.

Figura 3.2 | Esquematização gráfica da influência dos objetivos de produção no parâmetro de custo



Fonte: elaborada pelo autor.

## Sem medo de errar

Após a observação dos parâmetros de análise, a consultoria deve justificar de forma técnica e concisa as soluções propostas. Você deverá, em primeiro lugar, considerar que a empresa terá um objetivo estratégico para se posicionar no mercado. Dentro desse contexto você deverá posicionar a importância do sistema produtivo para a empresa a partir dos seguintes estágios:

Estágio 1 – neutralidade interna.

Estágio 2 – neutralidade externa.

Estágio 3 – apoio interno.

Estágio 4 – apoio externo.

A caracterização desses estágios será responsável pela verificação de quão importante o processo produtivo é para a empresa. Assim,

depois de caracterizá-los, é hora de qualificar os parâmetros de objetivos do sistema produtivo em qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade. Deve-se descrever o que significa para o sistema produtivo cada um desses objetivos e influência que eles exercem nos parâmetros a serem observados (o custo, por exemplo, pode ser um parâmetro genérico que agrega valor a uma análise por traduzir a maior parte dos objetivos gerenciais).

O processo de avaliação pode considerar a influência de cada objetivo no parâmetro considerado e para cada alteração detectada já dará uma direção aos problemas que podem ser observados, principalmente num sistema usado para diminuição de desperdícios como o *Lean Manufacturing*.

Não apenas para esse sistema, mas para outros elementos e sistemas produtivos, outros parâmetros podem ser avaliados. No caso de parâmetros como produtividade, qualidade ou lucro, podem ser afetados pela importância do sistema produtivo. Ademais, a influência desses parâmetros no sistema produtivo pode ser verificada pela metodologia proposta e demonstrada nesta seção.

Portanto, o parâmetro (no caso o custo) foi determinado, com sua ajuda, dando o direcionamento necessário para que a consultoria citada possa continuar suas atividades.

## Avançando na prática

## Aumento de objetivo de qualidade do cliente

## Descrição da situação-problema

Considere que você é o responsável pela gerência de produção de uma fábrica. Um cliente necessita alterar seu processo produtivo para uso de peças com uma limitação dimensional menor que o de costume de sua produção. Segundo esse cliente, ele quer realizar essa alteração, porém, não quer aumentar seu custo. Como você poderá suprir a necessidade desse cliente sem causar aumento dos custos do seu sistema produtivo? Considere que a rapidez e a

qualidade não poderão ser alteradas, porém, o seu processo possui flexibilidade para certas alterações, lembrando que isso acarretará em custo.

#### Resolução da situação-problema

Primeiramente deve-se balancear o fato de que, ao realizar a alteração das variáveis dimensionais, um custo será considerado. Porém a confiabilidade para com o cliente aumentará, o que causará uma certa "fidelização" por parte do cliente. Mantendo-se a qualidade, esse custo adicional pela modificação da limitação dimensional pode ser diluído no tempo, se for considerado que o cliente criará mais demanda. Sendo assim, você poderá mostrar uma estimativa futura de quanto poderá ser as compras desse cliente e mostrar a influência desses objetivos no parâmetro custo.

## Faça valer a pena

**1.** A produção de um certo estágio de importância para a empresa provavelmente atingiu um lugar entre as melhores. Pode não se destacar entre elas, mas será representativa e referenciada no mercado. Nesse estágio uma visão da concorrência é obtida e os objetivos estratégicos se tornam claros podendo assim, desenvolver os recursos produtivos para alcançar os objetivos estratégicos da empresa.

De qual estágio está falando o texto?

- a) Estágio 1 neutralidade interna.
- b) Estágio 2 neutralidade externa.
- c) Estágio 3 apoio interno.
- d) Estágio 4 apoio externo.
- e) Estágio 5 flexibilidade.
- **2.** Flexibilidade significa capacidade de mudar elementos da operação para atender variações da demanda. Especificamente, a mudança deve atender a quatro tipos de exigência:

- I flexibilidade de produto/serviço produtos e serviços iguais.
- II flexibilidade de composto (mix) ampla variedade ou composto de produtos e serviços.
- III *flexibilidade de volume* quantidades ou volumes em lotes de produtos e serviços.
- IV flexibilidade de entrega tempos de entrega diferentes.

#### Está(ão) CORRETA(S) a(s) afirmativas(s):

- a) Apenas as afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas III e IV estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas II, III e IV estão corretas.
- e) Apenas as afirmativas II e IV estão corretas.
- **3.** Considerando os significados e os efeitos de qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade para a produção, é possível identificar a influência de cada objetivo nos sistemas produtivos. Cada objetivo de desempenho possui diferentes efeitos observados de forma externa, porém todos eles afetam os custos.

Nesse contexto, qual alternativa está correta a respeito dessa influência?

- a) Operações de alta qualidade sempre desperdiçam tempo ou esforço de retrabalho, como consequência seus clientes internos não são incomodados por serviços problemáticos.
- b) Operações rápidas conseguem aumentar o nível de estoque em processo, aumentando assim os custos administrativos indiretos.
- c) Operações confiáveis causam imprevistos. Com os imprevistos, suas entregas serão realizadas fora do que foi planejado.
- d) Operações flexíveis adaptam-se rapidamente às alterações da demanda e não interrompem o restante da operação de forma global.
- e) As operações flexíveis podem também trocar rapidamente de tarefas, desperdiçando muito tempo e capacidade.

# Seção 3.2

## Tipos de avaliação de sistemas industriais

## Diálogo aberto

Nesta seção serão abordados temas a respeito das avaliações em sistemas industriais. O primeiro tema abordado será a avaliação ambiental, além disso serão apresentados seus parâmetros e os passos para a sua realização. Depois, estudaremos a avaliação econômica, mais precisamente os requisitos a respeito dos custos gerais envolvidos nos sistemas produtivos. Por fim, veremos a avaliação técnica, levantando os índices de desempenho e tempos dos sistemas de produção.

Na seção anterior foram abordados os temas referentes ao levantamento de parâmetros para a avaliação de um sistema industrial. Esse sistema tinha como objetivo ser implementado com base na manufatura flexível e no controle de desperdício pelos conceitos da metodologia de Lean Manufacturing.

Para isso, contratou-se uma consultoria a fim de levantar os parâmetros que possam justificar essa implementação. Você foi escolhido para auxiliar nesse estudo e realizar, junto aos consultores, uma avaliação dos sistemas industriais existentes na empresa para realizar uma comparação entre o antes e o depois da implementação do novo sistema, além da verificação da possibilidade de adequação dos sistemas existentes.

Dentre os critérios e tipos de avaliação levantados para suprir a necessidade da consultoria, com base na avaliação dos principais parâmetros dos sistemas, a avaliação dos parâmetros técnicos, ambientais e econômicos está no foco do que pode ser utilizado para a verificação comparativa dos sistemas industriais. Nesse contexto você deverá verificar quais os princípios dessas avaliações e o que deve ser observado para realizar a avaliação desses parâmetros no sistema industrial. Os pontos principais de cada parâmetro e o diferencial entre as avaliações deverão ser ponderados para reunir índices representativos das análises realizadas. Qual o procedimento a ser escolhido para realizar a avaliação? Como deverá ser realizada

a avaliação técnica dos sistemas? O que deverá ser levado em conta para as avaliações econômica e ambiental? Como deverão ser ponderados os parâmetros dessas avaliações?

## Não pode faltar

#### O meio ambiente e os sistemas produtivos

Estrategicamente, as empresas buscam melhores práticas de produção, observando as demandas ambientais, não apenas para satisfazer o cliente, mas porque conhecer o impacto que o sistema produtivo causa no ambiente em que ele está inserido é necessário para sua atuação no mercado (BARBIERI, 2010).

Não apenas os consumidores, mas todos os *stakeholders* (partes interessadas na produção) compreendem a importância de se respeitar a natureza no processo industrial, principalmente com relação à preocupação com os resíduos resultantes dos processos de manufatura.

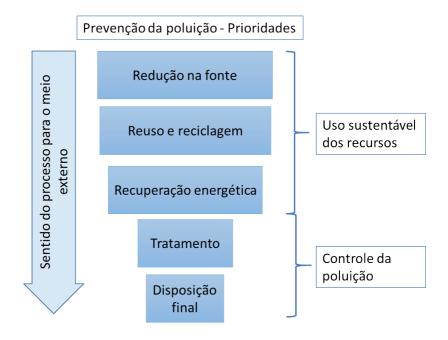
Diante disso, existe uma abordagem que estabelece práticas para promover ações ambientais nas empresas, a fim de controlar os efeitos decorrentes da poluição gerada por um processo produtivo. Essas ações resultam em uma postura reativa da empresa, realizando assim um controle da poluição gerada por seus processos. Essa abordagem possui soluções tecnológicas que buscam controlar a poluição, sem alterar significativamente, os produtos finais e os processos produtivos. As tecnologias utilizadas podem ser consideradas tecnologias de remediação ou tecnologias de controle no final do processo.

As tecnologias de remediação procuram resolver problemas ambientais que já ocorreram, podemos considerar como exemplo as tecnologias utilizadas para descontaminação de solo ou limpeza de praias. Já as tecnologias de controle de processo têm como objetivo capturar e tratar a poluição resultante de um processo de produção, antes que ela possa atingir o meio ambiente. Por exemplo, um incinerador de resíduos tóxicos em que os gases devem ser lavados e, em seguida, os efluentes líquidos devem ser tratados,

retirando elementos pesados e transformando em resíduos secos para a disposição em local apropriado.

A abordagem de prevenção da poluição consiste na adoção de atividades que previnem a geração de poluição nas diferentes fases que compreendem o sistema produtivo da empresa. Essa abordagem requer mudanças em processos e produtos a fim de reduzir ou eliminar os rejeitos diretamente na fonte, antes de serem jogados no meio ambiente. Os rejeitos que sobram dessa captação, uma vez que nenhum processo é 100% eficiente, são tratados e dispostos por meio de tecnologia de controle de processo. Os resultados esperados de um programa de prevenção de poluição são comparáveis aos resultados esperados em programas de redução de custo ou de melhoria da produtividade. Dentre eles, a redução de custos com materiais e energia no processo de tratamento e a diminuição dos passivos ambientais (atividades que visam preservar ou diminuir o impacto do processo produtivo no meio ambiente), e a melhoria geral das condições de trabalho e da imagem da empresa. A Figura 3.3 mostra as considerações a respeito da abordagem de prevenção da poluição e suas ações prioritárias, considerando o sentido de processamento da fonte de poluição até o meio externo.

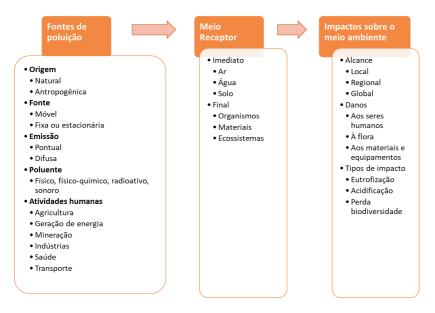
Figura 3.3 | Considerações a respeito da abordagem de prevenção da poluição e suas atividades prioritárias



Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando a poluição existente nos processos produtivos, é preciso classificá-la a fim de compreender o seu impacto e consequentemente realizar a sua avaliação. A Figura 3.4 mostra uma forma simples de como a poluição resultante de um processo produtivo pode ser classificada.

Figura 3.4 | Classificação da poluição decorrente de um processo produtivo



Fonte: elaborada pelo autor.



Se considerarmos a água resultante de um processo de lavagem de peças mecânicas, provavelmente essa água terá uma contaminação de **origem** antropogênica, de uma fonte fixa, com emissão pontual, com um poluente químico (óleo e graxa), a partir de uma atividade industrial. O **meio receptor** será a água. O **impacto sobre o meio ambiente** terá alcance regional com danos aos efluentes hídricos com possível perda de biodiversidade.

Um ponto importante dessa classificação é que, em casos mais específicos, um profissional qualificado na área ambiental deverá auxiliar na classificação para obter melhores meios e técnicas de controle.

## Avaliação ambiental dos sistemas produtivos

A classificação do tipo de poluição, decorrente do processo produtivo industrial, é um dos passos para realizar a avaliação

ambiental dos sistemas produtivos. Dentre os modelos existentes de avaliação, existe um que se destaca pela praticidade e estruturação, esse modelo é o Modelo para Avaliação Ambiental de Sistemas Produtivos Industriais (MAASPI).

Conforme Silva e Amaral (2011), o MAASPI foi desenvolvido com o objetivo de suprir a necessidade de estruturação na realização de uma análise prévia e rápida de processos produtivos industriais considerando o aspecto ambiental.



Caro aluno, observando passo a passo cada uma das etapas do MAASPI, tem-se, como base para aplicação, os tópicos:

**Identificação dos processos produtivos:** o levantamento inicial dos processos produtivos ocorre a fim de obter informações sobre o tipo de processo e a matéria prima com a qual ele trabalha. Verifica-se a existência de avaliações ambientais anteriores e seus resultados.

Mapeamento do processo produtivo: após o levantamento inicial do processo produtivo, no modelo MAASPI, realiza-se o mapeamento das operações efetuadas. Como descrito anteriormente, pode-se utilizar um diagrama de blocos para representar o processo, colocando informações relevantes em cada um deles, como o tipo de resíduo gerado e se há alguma maneira de tratá-lo.

Avaliação ambiental: a avaliação ambiental de um processo produtivo inicia-se com a identificação de todas as suas atividades, selecionando aquelas que podem possuir maior impacto ambiental negativo. É comum obter essas atividades a partir da comparação de indicadores ambientais. Desse modo, a avaliação ambiental pode possuir um índice de poluição atribuído para cada um dos aspectos ambientais que foram identificados no processo produtivo. Esse índice utilizado para a avaliação é o produto de três indicadores: um índice de tempo de duração da poluição, um índice referente à severidade do poluente em questão e um índice de quantidade de poluentes lançados no meio ambiente. Em geral, é comum utilizar-se de índices similares nos trabalhos que visam a avaliação ambiental de processos produtivos.

Identificação e priorização dos impactos ambientais negativos: nessa etapa é realizada uma continuação da avaliação ambiental, sendo

possível identificar quais atividades do processo produtivo apresentam a necessidade de mais intervenções críticas ou significativas e, consequentemente, requerem atenção especial por parte dos responsáveis pelo processo produtivo.

Geração de cenários de melhoria: a ideia principal nesta etapa é propor algumas ações para controle e minimização dos impactos negativos das intervenções ambientais. A priorização para a geração de cenários dependerá das intervenções e atividades classificadas com maior criticidade ou mais significativas.

**Plano de Ação:** o plano de ação é o resultado final das atividades de análise realizadas. Ele deve conter as respostas, de acordo com a filosofia da qualidade:

- O que deve ser feito (*What?*), ou seja, quais aspectos e impactos deverão ser tratados, estabelecendo metas, conforme cada caso?
- Quando deve ser feito (*When?*), isto é, qual será o prazo estabelecido para a implementação de cada atividade que foi planejada?
- Onde serão executadas as ações programadas (*Where?*), ou seja, para quais operações serão programadas e onde serão aplicadas aquelas ações?
- Por que essas ações serão executadas (*Why?*), isto é, o que validará a necessidade dessas ações, que requisitos técnico-legais ou corporativos irão determinar a realização dessas atividades?
- Quem terá a responsabilidade por realizar a ação e certificar a sua eficiência (*Who?*)?
- Como será realizada, e quais os passos, para a ação necessária para a meta estabelecida (*How?*)?
- Qual será o investimento necessário para a adequação ambiental do processo (*How much?*)?

Os passos explicados no quadro acima, sobre o modelo de análise MAASPI, podem ser vistos de forma esquemática na Figura 3.5.

Figura 3.5 | Etapas do modelo de análise ambiental de sistemas produtivos MAASPI



Fonte: elaborada pelo autor.



Para conhecer mais métodos de análise ambiental de sistemas produtivos industriais consulte a obra a seguir:

SILVA, P. R. S.; AMARAL, F. G. MAICAPI – Metodologia para avaliação de impactos e custos ambientais em processos industriais: estudo de caso. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 212-222, 2006.

## Avaliação econômica de sistemas industriais

Economicamente, um sistema produtivo é observado a partir do valor que ele pode produzir e dos custos para mantê-lo. Em análises de desempenho, e em grande parte das empresas, os custos de produção e do produto são os principais temas para enxugar a produção e diminuir gastos desnecessários, aumentando o lucro e consequentemente aumentando o valor agregado do produto, da empresa e do processo produtivo. Vamos então observar os tópicos voltados para os custos da produção.

#### Custos fixos e variáveis

Os custos da produção podem ser classificados em duas categorias principais: custos fixos e custos variáveis. **Custo fixo** é aquele que se mantém constante independente do resultado da produção. Os exemplos incluem custos das instalações da fábrica e dos equipamentos de produção, de impostos de propriedade e de seguros. Todos os custos fixos normalmente são expressos em quantidades anuais.

#### Custo variável

É aquele que varia em proporção ao nível de resultados da produção. Custos variáveis aumentam conforme o aumento da produção. Por exemplo, a mão de obra direta, a matéria-prima e a energia elétrica para operar equipamentos de produção. O valor ideal de custo variável é aquele que é diretamente proporcional aos resultados da produção.

Quando custos fixos e variáveis são adicionados, temos a Equação 3.1 de custo total:

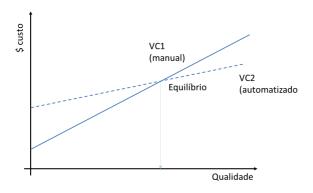
$$TC = FC + VC(Q)$$

(Eq. 3.1)

em que TC é o custo anual total (\$/ano), FC é o custo anual fixo (\$/ano), VC é o custo variável (\$/peça concluída) e Q é o volume anual produzido (peças concluídas/ano).

Quando comparamos os sistemas de produção manuais e automatizados, é típico que o custo fixo do sistema automatizado seja alto em relação ao do sistema manual, e o custo variável da automação seja baixo em relação ao método manual, como mostrado na Figura 3.6. Assim, o método manual tem uma vantagem de custo em uma escala de pequenas quantidades, enquanto a automação tem vantagem para grandes quantidades.

Figura 3.6 | Comparativo entre os custos e qualidade entre os sistemas manuais e automatizados



Fonte: elaborada pelo autor.

### Mão de obra, matéria-prima e gastos gerais

Fixos versus variáveis não são as únicas classificações possíveis dos custos de produção. Uma classificação alternativa separa os custos em (1) mão de obra direta, (2) matéria-prima e (3) gastos gerais. Essa é muitas vezes uma maneira mais conveniente de analisar custos em produção. O **custo da mão de obra direta** é a soma dos salários e benefícios pagos aos trabalhadores que operam os equipamentos de produção e realizam tarefas de processamento e montagem. O custo de matéria-prima é o **custo de toda matéria-prima** utilizada para fazer o produto. No caso de uma estamparia, por exemplo, a matéria-prima consiste no estoque de folhas de aço usadas para fazer a estampagem. Para o laminador que fez as folhas de aço, a matéria-prima é o minério de ferro ou a sucata de ferro dos quais a folha de aço é laminada.

Os gastos gerais são todas as outras despesas associadas ao funcionamento da empresa de produção. São divididos em duas categorias: (1) gastos gerais da fábrica e (2) gastos gerais corporativos. Os gastos gerais da fábrica consistem nos custos operacionais da fábrica que não sejam a mão de obra direta nem a matéria-prima, como as despesas com refrigeração, água, luz e energia para as máquinas. Os gastos gerais corporativos são os custos não relacionados às atividades de produção da companhia, como gastos em pesquisa e desenvolvimento, marketing e equipes de suporte. Fábricas diferentes podem ter gastos gerais significativamente diferentes. Dependerá da alocação dos gastos.

O procedimento de alocação (simplificado) é o seguinte: para o ano mais recente (ou para os anos), todos os custos são unificados e classificados em quatro categorias: (1) mão de obra direta, (2) materiais, (3) gastos gerais da fábrica e (4) gastos gerais corporativos. O objetivo é determinar a taxa de gastos gerais (também chamada de taxa de encargos).

A taxa de gastos gerais da fábrica é calculada (Eq. 3.2) como a razão entre despesas com gastos gerais da fábrica e as da mão de obra direta:

$$FOHR = \frac{FOHC}{DLC}$$

(Eq. 3.2)

em que FOHR é a taxa de gastos gerais da fábrica, FOHC são os custos anuais dos gastos gerais da fábrica (\$/ano) e DLC são os custos anuais da mão de obra direta (\$/ano).

A taxa de gastos gerais corporativos (Eq. 3.3) é a razão entre as despesas com gastos gerais corporativos e as da mão de obra direta:

$$COHR = \frac{COHC}{DLC}$$

(Eq. 3.3)

em que COHR é a taxa de gastos gerais corporativos, COHC são os custos anuais dos gastos gerais corporativos e DLC são os custos anuais da mão de obra direta (\$/ano). As duas taxas são geralmente expressas em porcentagem.

## Custo do uso dos equipamentos

Os gastos gerais da fábrica aplicáveis ao custo da mão de obra direta podem incluir outros impostos, como impostos estaduais, alguns benefícios extras e supervisão do processo produtivo. O custo anual de máquina é o custo inicial repartido ao longo de sua vida útil sob a incidência da taxa de retorno apropriada usada pela empresa. Isso é feito usando o fator de recuperação de capital, como expresso na Equação 3.4:

$$UAC = IC(A/P, i, n)$$
(Eq. 3.4)

em que UAC é o custo anual uniforme equivalente (\$/ano), IC é o custo inicial da máquina (\$) e (A/P, i, n) é o fator de recuperação de capital que converte o custo inicial no ano zero em uma série de valores anuais de fim de ano uniformes e equivalentes, em que

i é a taxa de juros anual e n é o número de anos de vida útil do equipamento. Dados os valores de i e n, (A/P, i, n) pode ser calculado da seguinte forma:

$$(A/P,i,n) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$$

A taxa de custo total (Eq. 3.6) para o centro de trabalho é a soma dos custos de trabalho e de máquina, o que pode ser resumido, para um centro de trabalho com um trabalhador e uma máquina, da seguinte maneira:

$$C_o = C_L(1 + FOHR_L) + C_m(1 + FOHR_m)$$
 (Eq. 3.6)

onde  $C_0$  é a taxa horária para a operação do centro de trabalho (\$/hora),  $C_L$  é a taxa de salários de mão de obra direta (\$/hora), FOHRL é a taxa de gastos gerais da fábrica para o trabalho,  $C_m$  é a taxa horária da máquina (\$/hora) e FOHR $_m$  é a taxa de gastos gerais da fábrica aplicáveis à máquina.

## Avaliação técnica de sistemas industriais

Para a avaliação técnica dos sistemas industriais, alguns parâmetros podem ser determinados a fim de verificar a eficiência do sistema. A taxa de produção, considerada em uma estação que possui um processamento individual ou até mesmo uma operação de montagem, pode ser expressa como taxa horária, considerando unidades trabalhadas e completas por um período de tempo, no caso, uma hora. Será vista a determinação da taxa de produção para os tipos de produção em lote e produção por encomenda. O ponto de partida para a determinação será o tempo de ciclo.

Tempo de ciclo  $(T_{C})$  pode ser definido como o tempo que decorre para o processamento de uma unidade de trabalho.  $T_{C}$  é o tempo que uma peça é processada, mas nem todo o tempo decorrido é totalmente produtivo.

O tempo de ciclo (Eq. 3.7) pode ser expresso da seguinte forma:

$$T_c = T_o + T_h + T_{th}$$
(Fa. 3.7)

onde  $T_{C}$  é o tempo de ciclo (minutos/parte concluída),  $T_{O}$  é o tempo efetivo do processamento ou montagem (minutos/ peça concluída),  $T_{h}$  é o tempo de manuseio (minutos/ peça concluída) e  $T_{th}$  o tempo de manuseio de ferramentas (minutos/peça concluída).

Todos os tempos considerados  $T_O, T_h$  e  $T_{th}$  têm sua importância para os outros tipos de produção discreta. Tem uma parte do ciclo em que a peça está realmente sendo processada ( $T_0$ ), manuseada ( $T_h$ ) e uma parte em que as ferramentas são substituídas ou ajustadas ( $T_{th}$ ).

#### Produção em lote e por encomenda

Considerando uma produção em lote, o tempo de processamento (Eq. 3.8) deve ser baseado em um lote de Q unidades de trabalho. Esse tempo pode ser definido como a soma dos tempos de preparo e de processamento, ou seja,

$$T_b = T_{su} + QT_c$$
(Eq. 3.8)

onde  $T_b$  é o tempo de processamento do lote (minutos),  $T_{SU}$  é o tempo de preparo do lote (minutos), Q é a quantidade de lotes (peças concluídas) e  $T_C$  é o tempo de ciclo por unidade de trabalho (minutos/ciclo).

A determinação do tempo médio de produção (Eq. 3.9) depende da divisão do tempo de lote pela quantidade de lotes, obtendo assim  $T_{\it P}$  para uma dada máquina:

$$T_p = \frac{T_b}{Q}$$

(Eq. 3.9)

Para determinar a taxa média de produção (Eq. 3.10), calcula-se a partir do inverso do tempo médio de produção. A taxa média é expressa, geralmente, como quantidade de peças por hora:

$$R_p = \frac{60}{T_p}$$

(Eq. 3.10)

onde  $R_P$  é a taxa horária de produção (peças concluídas/hora),  $T_P$  é o tempo médio de produção por minuto (minutos/peça concluída) e a constante 60 converte os minutos em horas.

Quando consideramos a produção por encomenda, pode ocorrer que o valor de Q seja igual a 1, neste caso o tempo de produção por unidade de trabalho (Eq. 3.11) é determinado pela soma dos tempos de preparo e de ciclo:

$$T_p = T_{su} + T_c \,$$

(Eq. 3.11)

Caso a quantidade for maior que 1, determinamos a taxa de produção conforme determinado no caso da produção em lote.



Reflita

Considerando os parâmetros de sistemas produtivos analisados, como a influência de cada um pode ser considerada em uma tomada de decisão? Como eles podem interagir entre si? Quando um desses parâmetros pode ser considerado mais importante que outro?

## Sem medo de errar

Vamos lembrar que o objetivo dos nossos estudos é auxiliar uma consultoria para realização de uma produção flexível a fim de implementar o lean manufacturing. Os pontos principais de cada parâmetro e o diferencial entre as avaliações deverá ser ponderado para reunir índices representativos das análises realizadas.

Para a avaliação técnica, o sistema produtivo deverá ser classificado, conforme observado para a análise ambiental, na qual cada processo deverá ser descrito. Após essa descrição será avaliada a taxa de produção de cada parte. Essa taxa dará o parâmetro de produtividade do processo.

Em seguida será feita a análise dos custos – uma vez que os processos estão descritos de forma separada fica mais fácil realizála. Nessa etapa o levantamento dos custos diretos e indiretos será fundamental para a verificação da viabilidade da implantação, e caso o custo for acima do esperado a diminuição de custos de produção é recomendada. Será possível identificar onde realizar essa diminuição dos custos por meio do levantamento dos processos, que mostrará exatamente onde estão os maiores gastos. Essa verificação apontará o que poderá ser diminuído do processo.

Por fim, será realizada a análise ambiental dos resíduos resultantes do processo industrial. A classificação pode considerar as tratativas necessárias para o tratamento dos resíduos e possíveis impactos ao meio ambiente.

Portanto, você pode perceber a importância de levantar os requisitos referentes à avaliação técnica, econômica e ambiental, sendo estas abordagens dentre as mais utilizadas nas indústrias, tanto para diminuição de desperdícios, quanto para correto mapeamento dos processos produtivos.

## Avançando na prática

### Custos simples totais e impacto ambiental do processo

## Descrição da situação-problema

Considere que um processo produtivo realiza a produção de peças metálicas a partir de um torno CNC. Sabe-se que existe uma

demanda de 20.000 peças a serem produzidas em um ano. Sabese, também, que o valor de produção de cada peça é de \$2,00/peça e os custos fixos anuais são de \$18.000,00, segundo histórico de vendas realizadas. Diante disso, deseja-se saber o custo total anual e quais impactos ambientais essa produção poderia causar. Para tal, considere que o processo consiste em um pedaço de metal que é trabalhado até chegar no formato da peça desejada.

#### Resolução da situação-problema

Com os dados obtidos realizaremos os cálculos de custo:

$$TC = FC + VC(Q)$$
  
 $TC = 18.000 + 2,00(20.000) = $58.000,00 / \text{ANO}$ 

Para o impacto ambiental, podemos considerar que o processo terá resíduos sólidos, por conta do material a ser retirado, e contaminação da água utilizada na lavagem das peças. Conforme exemplo dado, uma contaminação de origem antropogênica, de uma fonte fixa, com emissão pontual, com um poluente químico (óleo e graxa) e sólido (restos de metais), a partir de uma atividade industrial. Os meios receptores serão a água e o solo. O impacto sobre o meio ambiente terá alcance regional com danos aos efluentes hídricos, com possível perda de biodiversidade e contaminação do solo por restos de metal.

## Faça valer a pena

**1.** As soluções tecnológicas buscam controlar a poluição sem alterar significativamente os produtos finais e processos produtivos. Essas tecnologias são utilizadas para resolver um problema ambiental que já ocorreu ou capturar e tratar a poluição resultante de um processo de produção antes que ela possa atingir o meio ambiente.

Quais são as tecnologias citadas no texto?

- a) Tecnologia de prevenção e tecnologia de controle de poluentes.
- b) Tecnologia de predição e tecnologia de final de produção.
- c) Tecnologia de predição e tecnologia de controle de processo.
- d) Tecnologia de remediação e tecnologia de controle de processo.
- e) Tecnologia de remediação e tecnologia de final de produção.
- **2.** Uma forma de classificação de custos sem ser custo fixo e custo variável os separa em mão de obra direta, matéria-prima e gastos gerais. Essa forma torna-se, em diversas ocasiões, uma maneira mais conveniente de analisar custos em produção.

Assinale a alternativa que possui custos que podem ser classificados em mão de obra direta, matéria-prima e gastos gerais, respectivamente:

- a) Salários, conta de luz, conta de água.
- b) Plano de saúde, produtos higiênicos de limpeza e polietileno para injetora plástica.
- c) Material de escritório, produtos de limpeza, vale-transporte.
- d) Molde para injetora, produtos de escritório e produtos de limpeza.
- e) Pagamento de férias, metal para processos com CNC e conta de luz.
- **3.** Deseja-se saber a taxa média de produção de uma máquina que possui um tempo de ciclo de 40 segundos. Sabendo que  $T_b$  é o tempo de processamento do lote (minutos),  $T_{SU}$  é o tempo de preparo do lote (0,2 minutos), Q é a quantidade de lotes (250 peças concluídas) e  $T_C$  é o tempo de ciclo por unidade de trabalho (minutos/ciclo).

O valor da taxa média de produção é de:

- a) 166,87 peças/h.
- b) 89,95 peças/h.
- c) 95 peças/h.
- d) 250 peças/h.
- e) 170 peças/h.

## Seção 3.3

## Resultados da avaliação dos sistemas industriais

## Diálogo aberto

Os processos existentes para a análise de sistemas industriais consistem em avaliações que geram resultados, ou dados, referentes aos aspectos que se buscam analisar.

Nas indústrias esses resultados implementam índices que representam características do sistema produtivo e que influenciam diretamente em seu desempenho quantitativo e qualitativo.

Retomando o nosso caso, considere que uma empresa deseja implementar um novo sistema de produção baseado em manufatura flexível e controle de desperdício, pelos conceitos da metodologia de *Lean Manufacturing*. Para isso, contratou uma consultoria para levantar os parâmetros que possam justificar essa implementação.

Você foi escolhido para auxiliar nesse estudo e realizar, junto aos consultores, uma avaliação dos sistemas industriais existentes na empresa para uma base comparativa do novo sistema e verificação de possibilidade de adequação dos sistemas existentes. Assim, será necessário realizar uma avaliação dos sistemas, observando os critérios que abrangem requisitos produtivos, econômicos, ambientais e de qualidade.

As avaliações foram realizadas na situação problema avaliada na seção anterior, e um dos pontos importantes verificados foi a apresentação dos dados ou resultados obtidos. Neste momento você deverá realizar uma análise desses dados e apresentar de forma pertinente os resultados das análises realizadas.

A interpretação de dados quantitativos e qualitativos será importante para que os consultores possam iniciar seu trabalho de verificação da adequação dos sistemas propostos.

Os critérios a serem analisados serão auxiliados por uma ferramenta importante conhecida como *Balanced Score Card* que mostra de forma simples e resumida os resultados obtidos de uma análise

Nesse contexto, quais resultados devem ser reportados para auxiliar os consultores? Quais os resultados possuem teor quantitativo? E qualitativo? Como os dados obtidos das análises podem ajudar, não apenas os consultores, mas na racionalização e otimização dos sistemas industriais?

Vamos então compreender o uso dessas ferramentas e as tratativas desses dados que irão auxiliar nessas análises! Bons estudos!

## Não pode faltar

Quando consideramos elementos de avaliação de sistemas industriais, podemos obter parâmetros responsáveis por mostrar o desempenho desses sistemas. Como estudado na seção anterior, esses parâmetros são, principalmente, voltados para os desempenhos técnico, ambiental e financeiro. Quando eles são analisados e quantificados podem mostrar como está o funcionamento do sistema produtivo, se há alguma demora, ociosidade ou problema que possa alterar sua produtividade (GROOVER, 2013).

Medidas quantitativas de um sistema produtivo devem levar em consideração os parâmetros de avaliação estudados e sua influência na capacidade de produção. Mas antes de falarmos a respeito, vamos definir o que é um centro de trabalho. Um centro de trabalho é um sistema de produção na fábrica que consiste, ao menos, em um trabalhador e uma máquina, podendo ser também uma máquina automática sem trabalhador ou vários trabalhadores atuando juntos em uma linha de produção. Um centro de trabalho é capaz de produzir uma taxa Rp de unidades/hora, como definido na seção anterior, em que cada um destes centros de trabalho funciona por um determinado número de horas por expediente Hsh (na produção e comum um expediente de 8 horas).

Sendo *PC* a capacidade de produção de uma dada fábrica, obtida a partir do seu projeto de instalação, e *n* o número de máquinas ou centros de trabalho na fábrica, a provisão para o tempo de preparo está incluída em *Rp* e, como *Sw* indica o número de expedientes por semana, esses parâmetros podem ser combinados para calcular a capacidade de produção da fábrica, conforme Equação 3.12.

## PC = n.Sw.Hsh.Rp

(Eq. 3.12)

em que *PC* é a capacidade de produção semanal da fábrica (unidades produzidas/semana), *n* é o número de centros de trabalho utilizados na produção, *Sw* é o número de expedientes por período (expediente/semana), *Hsh* é igual a horas/expediente (horas) e *Rp* é a taxa horária de produção de cada centro de trabalho (unidades produzidas/hora). Ainda que tenhamos usado uma semana como o período de tempo de interesse, a Equação 3.12 pode ser facilmente adaptada para outros períodos (meses, anos, etc.). Como nas equações anteriores, nossa suposição é a de que as unidades processadas pelo grupo de centros de trabalho são homogêneas e, portanto, o valor de *Rp* é o mesmo para todas as unidades produzidas.



## Exemplificando

#### Capacidade de produção

A seção de torneamento automático tem seis máquinas, todas dedicadas à produção da mesma peça. A seção funciona com dez turnos/semana. O número de horas por expediente é, em média, oito. A taxa média de produção de cada máquina é de 17 unidades/hora. Como podemos determinar a capacidade de produção semanal da seção do torno automático?

Solução: Usando a Equação 3.12, temos:

PC = n.Sw.Hsh.Rp

 $PC = 6(10)(8,0)(17) = 8.160 \_unidades \_produzidas / semana$ 

Quantitativamente, podemos estabelecer que a capacidade produtiva depende do número de estações de trabalho, portanto, qualquer alteração nesse número alterará a capacidade produtiva de um sistema. Esse tipo de comparação e análise pode ser observado para os requisitos de avaliação técnica, de custos e ambiental.

Qualitativamente, podem ser observados dois aspectos da qualidade em um produto manufaturado: (1) características do produto e (2) livre de defeitos.

As características do produto são as características de um produto que resultam do projeto. Elas são as características funcionais e estéticas, projetadas para interessar e satisfazer o cliente. A soma das características de um produto normalmente define sua categoria, no que diz respeito ao mercado em que o produto é direcionado. Determinados carros proporcionam o básico porque é isso que alguns clientes querem, enquanto outros são mais sofisticados para clientes dispostos a gastar mais, tornando-se proprietários de um "produto melhor". As características são decididas no projeto e geralmente determinam o custo inerente ao produto. Características superiores e sua quantidade traduzem-se em um custo mais alto (GROOVER. 2013).

O produto **livre de defeitos** é aquele que desempenha corretamente a função para a qual foi projetado e que não conta com defeitos e condições fora da tolerância. Esse aspecto da qualidade aplica-se tanto aos componentes individuais do produto como ao produto em si. Alcançar o nível livre de deficiências significa produzir o produto em conformidade com as especificações de projeto, o que é responsabilidade dos departamentos de manufatura.

Os custos das deficiências que podem ser obtidas quando um produto apresenta defeitos, incluem peças sucateadas, tamanhos de lotes maiores para considerar a produção de refugos, retrabalho, reinspeção, separação, devoluções e reclamações de clientes.

Resumindo, as características do produto são os aspectos de qualidade pelos quais o projeto é responsável.

As características do produto determinam, de maneira importante, o preço que uma empresa pode cobrar por ele. A capacidade de minimizar essas deficiências influencia diretamente no custo do produto, e estar livre de deficiências é o aspecto da qualidade sob responsabilidade dos departamentos de manufatura. A responsabilidade pela alta qualidade vai além de parâmetros quantitativos, sendo necessário tomar algumas decisões para sua melhoria.

Essa correlação entre os parâmetros quantitativos estudados na seção anterior e os parâmetros qualitativos que podem ser observados na análise dos sistemas produtivos é mostrada na Figura 3.7.

Figura 3.7 | Associação dos parâmetros quantitativos e sua influência em parâmetros qualitativos

Parâmetros quantitativos da análise	Parâmetros qualitativos da análise
<ul> <li>Avaliação ambiental</li> <li>Quantidade de contaminantes da água.</li> <li>Controle da queima de CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul> <li>Diminuição de poluentes em afluentes</li> <li>Diminuição de CO<sub>2</sub> na atmosfera</li> </ul>
Avaliação econômica - Custos de processo Custos indiretos e diretos	- Diminuição dos custos de processo, direto e indireto.
Avaliação técnica	

- Tempos de produção.
- Produtividade.
- Taxa de produção.

- Diminuição dos tempos de produção.
- Aumento da produtividade.
- Aumento da taxa de produção

Fonte: elaborada pelo autor.

Enquanto os parâmetros de análise quantitativa demonstram certas características de verificação do status do sistema produtivo, os parâmetros correlacionados à mesma atividade, porém voltados à qualidade, mostram uma necessidade de ação.

### Critérios para análise dos resultados

A análise de resultados deve, a princípio, obter os valores dos índices representativos do sistema produtivo e, com isso, realizar um comparativo de valores parametrizados com esses índices.

De forma a realizar um controle ou mesmo para determinar quais parâmetros influenciam as saídas dos sistemas produtivos, alguns critérios de análise são considerados comuns, como o comparativo direto citado anteriormente.

Procedimentos de ponderação dos índices são necessários para reduzir as variações dos dados reais de fábrica para valores parametrizados usados na análise. Essa ponderação deve ser considerada quando um índice é avaliado. Algumas equações e ferramentas podem auxiliar na realização dessa avaliação, como planilhas eletrônicas ou ferramentas gráficas que ajudam a resumir e interpretar a análise dos dados obtidos.

Várias formas podem ser utilizadas para processar esses resultados. Uma das técnicas aplicadas, por exemplo, consiste em utilizar um *Balanced Score Card* (BSC) (NOGUEIRA, 2007). Segundo Nogueira (2007), o BSC é uma ferramenta que foi desenvolvida no início da década de 1990 por Robert Kaplan da Harvard Business School e por David Norton, sendo este o fundador de uma empresa de consultoria de TI. Essa ferramenta de gestão foi amplamente aplicado em muitas organizações e indústrias com grande sucesso.

O BSC é utilizado como uma métrica de medida de desempenho, pois ele permite a elaboração de mensuração de fatores organizacionais e suas influências para cada processo, obtendo assim avaliação e controle para a empresa que o adota. As medidas de desempenho, além de alinhadas ao plano estratégico, devem ser simples e objetivas. Ademais, elas também devem prover respostas rápidas, ser relevantes e claras, ter impactos visuais, focar em melhoramento e tendências, ter propósito específico e ser global.



As etapas a seguir descrevem como realizar a implementação do *Balanced Score Card*, podendo ser implementado da seguinte forma:

### Etapa 1: implementação

Essa primeira etapa trata os pontos estratégicos e necessidades de tratamento dos dados e ponderação dos índices utilizados para a

avaliação do sistema produtivo. Verifica-se também a necessidade e o que será avaliado.

#### Passo 2: mudança e adequação de ferramentas

Uma vez que foi decidida a abordagem a ser utilizada pelo *Balanced Score Card*, será necessário um plano de adequação das ferramentas existentes e a implementação do BCS como uma nova ferramenta. Isso comumente levará muito trabalho para a gerência em todos os níveis.

#### Passo 3: desenvolver medições de desempenho

Os índices utilizados para medir os parâmetros de desempenho dos sistemas produtivos são utilizados a partir de parâmetros de controle. Esses parâmetros de controle definem as metas a serem atingidas. Essas metas são distribuídas de acordo com o planejamento estratégico e os valores necessários para alcançá-lo. Ademais, podemos dividir as medicões de desempenho em algumas áreas de atuação:

#### A perspectiva financeira

Nessa perspectiva são inclusos os indicadores financeiros tradicionais que medem o progresso em direção à realização do plano estratégico e que dão aos acionistas e interessados as informações de que precisam.

# A perspectiva do cliente

As metas relacionadas à percepção dos clientes sobre a empresa são os pontos principais nessa perspectiva, podendo incluir algumas medidas como níveis de satisfação do cliente, número de referências de clientes ou penetração no mercado. A maioria dos índices existentes nessa perspectiva costumam ser índices de caráter qualitativo.

# A perspectiva dos processos de negócios internos

Nessa perspectiva são analisados processos de negócios tais como produção, logística ou vendas e são estabelecidas metas correlacionadas à qualidade, tempo/eficiência e redução dos custos. Além disso, também são exploradas formas de melhoria de seus sistemas e funções internas.

#### A perspectiva de inovação e aprendizagem

Nessa perspectiva, examina-se as medidas relacionadas ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de habilidades dos funcionários. Também são analisadas as medidas de pesquisa e desenvolvimento. O foco nessa perspectiva é o tratamento da melhoria contínua e a criação de valor, usando os recursos em processos e formas mais eficazes.

#### Passo 4: acompanhamento e avaliação

Compreende o acompanhamento, a avaliação e a verificação dos índices no decorrer do funcionamento do BSC. Os índices escolhidos devem portar-se dentro do previsto ou desenvolver o comportamento previamente planejado para validação do uso do BSC.

O Quadro 3.1 mostra um exemplo de como o BSC pode ser utilizado no caso da análise de um sistema de vendas de automóveis. Esse sistema tem o objetivo de aumentar a receita a partir de melhorias em uma loja virtual de uma empresa de vendas de automóveis.

Quadro 3.1 | Exemplo de BSC para o caso de uma empresa de venda de automóveis

Perspectivas	Financeira	Cliente	Processos Internos	Aprendizado e crescimento
Objetivos	Aumento da receita	Aumentar novidades e conforto	Aumentar o atendimento em canais virtuais	Treinamento da equipe em novos canais e novos modelos
Metas	Aumentar a Receita líquida em 12%	Mais lançamentos do próximo ano	Aumentar 5% das vendas nos canais virtuais	Certificação de treinamento interno de toda a equipe
Indicadores	Demonstrativos financeiros	Índices de atendimento e satisfação	Percentual de vendas nos canais virtuais	Percentual de treinados na equipe
Iniciativas	Desenvolver tratativas financeiras (crédito) em novos canais	Melhorar o mix de produtos e divulgar lançamentos	Implementar telemarketing e atendimento de loja virtual.	Desenvolver cursos de treinamento para a equipe

Fonte: elaborado pelo autor.

No BSC apresentado tem-se, em um mesmo elemento gráfico, as informações dos objetivos, metas, os indicadores a serem observados e as iniciativas necessárias para a realização dos planos propostos.



Para maiores informações e aplicações a respeito do *Balanced Score*Card consulte:

LOUZADA, Paula. **O que é Balanced Scorecard? Como utilizar no seu planejamento estratégico?** 2017. Disponível em: <a href="https://goo.gl/KgQKBQ">https://goo.gl/KgQKBQ</a>>. Acesso em: 1 dez. 2017.

VENKI. **Exemplo de Balanced Scorecard: definindo as 4 perspectivas.** 2016. Disponível em: <a href="https://goo.gl/wf6qCj">https://goo.gl/wf6qCj</a>. Acesso em: 29 nov. 2017.

# Proposta de alteração dos sistemas industriais

Para a maioria das ferramentas utilizadas na análise dos resultados da avaliação de sistemas de produção, constata-se a necessidade de melhorias ou propostas para melhorias dos sistemas, com base nos dados obtidos da análise.

Como visto no exemplo do Quadro 3.1, para toda perspectiva há uma iniciativa a fim de realizar cada meta de acordo com um determinado objetivo. Cada iniciativa irá propor uma alteração do sistema produtivo.

Alguns passos devem ser considerados para a realização da proposta de alteração dos sistemas produtivos.

• **Objetivo:** o principal objetivo da proposta de mudança deve ser descrito de forma clara dentro do contexto resultante da análise realizada. Algumas vezes, os objetivos devem ser aplicados de forma a serem formados por objetivos menores que, ao serem atingidos, representam o objetivo principal.

- Metas: as metas podem ser consideradas fatores quantitativos que demonstram se um índice ou variável de produção, alcançou ou não os valores determinados para um certo desempenho.
- Indicadores: são os fatores quantitativos que descrevem o desempenho de certas condições de um processo, procedimento ou sistema de industrial.
- Iniciativas: são as tarefas que deverão ser realizadas com o objetivo de atingir os valores ou condições propostas pelas alterações.
- Impactos: são os impactos da alteração a ser proposta, cujo conhecimento é importante para avaliar o custo, não apenas financeiros, mas de recursos, que deverão ser considerados para a implementação da proposta. Os impactos podem descrever alterações nos índices, sejam eles técnicos (como tempos de processamento), econômicos (como custos) ou ambientais (como impacto de resíduos no meio ambiente propriamente dito).
- **Custos**: na parte de custos podem ser observados o quanto de recurso será necessário para a implementação da proposta. Esses recursos incluem pessoal, tempos de máquinas e processos, alterações de fluxos e procedimentos de adequação.
- **Prazos:** outro ponto importante com relação às propostas de alteração é o tempo em que elas demorarão para serem implementadas. Como resultado, já é apresentado um cronograma que, em alguns casos, já contém as etapas e o tempo necessários para a realização de cada uma das mudancas.

Esses pontos devem ser considerados e relatados quando a proposta de alteração tiver que ser reportada. Ademais, para o levantamento desses pontos, a utilização de ferramentas, como o BSC, é importante para documentação e futura pesquisa das situações e soluções obtidas.

# Aplicações práticas de Avaliação de Sistemas Industriais

As aplicações da Avaliação dos Sistemas industriais podem ser úteis em várias situações, desde a automação de um processo em uma linha de produção conhecida, como a implementação de um novo modelo produtivo.

A avaliação conforme visto até o momento, verifica primeiramente a necessidade de certas mudanças e quais os parâmetros a serem observados nessas mudanças.



# Exemplificando

Considere a aplicação de uma análise de um sistema produtivo que precisa ser automatizado.

Os parâmetros iniciais a serem observados são o custo e a necessidade técnica. A necessidade técnica pode se referir a um aumento de demanda e à necessidade de aumentar a produção, dessa forma é preciso automatizar operações que demandam mais tempo e que poderiam fazer o fluxo da produção se tornar constante. O aumento da produção acarreta na diminuição de seu custo, apesar da necessidade de um capital para a automação, que será amortizado num determinado período de tempo.

Para essa análise, primeiramente deve-se verificar os parâmetros que vão ser observados para analisar a mudança. Podemos então considerar os índices de produtividade, para tecnicamente verificar aumento ou diminuição da produção e de custo por peça.

O BSC pode ser utilizada para esse comparativo. Nessa ferramenta serão colocados os parâmetros de perspectivas a serem avaliadas no projeto de automação. O Quadro 3.2 mostra o BSC para o caso exemplificado.

Quadro 3.2 | BSC para o caso de automatização de sistemas de produção e os principais pontos a serem observados

Perspectiva Financeira	Perspectiva Cliente	Perspectiva Processos Internos	Aprendizado e crescimento
O objetivo dessa perspectiva é analisar a diminuição de custos da produção	O objetivo dessa perspectiva é analisar o possível aumento de qualidade dos produtos	O objetivo dessa perspectiva é analisar as necessidades de alteração dos processos que serão automatizados	O objetivo dessa perspectiva é analisar o aumento da produtividade
As metas podem ser diminuição percentual do custo.	A meta pode ser o aumento do percentual de qualidade percebida.	A meta pode ser o tempo de processamento.	A meta pode ser o aumento percentual do índice de produtividade.
As iniciativas podem ser a automação e avaliação dos tempos de produção.  As iniciativas podem aumentar os questionamentos a respeitos da qualidade percebida pelos clientes.		A iniciativa pode ser a cronoanálise dos principais processos produtivos que serão automatizados.	A iniciativa pode ser a medição frequente da produtividade

Fonte: elaborado pelo autor.

O acompanhamento e as propostas de alteração dos processos produtivos seguem os pontos a serem considerados:

Objetivos: verificar o aumento de produtividade com a automatização.

Metas: obter aumento da produção para suprir demanda futura.

**Indicadores:** índice de produtividade e custo de produção por produto.

**Iniciativas:** a automação dos processos mais críticos e mais favoráveis a essa automação.

**Impactos:** o quanto irá impactar nos custos para implementar e as perdas de adequação dos processos.

**Custos**: os recursos necessários para a implementação dessa automação.

Prazos: quando será realizado.



As análises de sistemas produtivos podem considerar os parâmetros apresentados nesta seção, ou outros parâmetros mais significativos referentes a análise a ser realizada. Quais seriam os parâmetros a serem observados no caso da logística de uma empresa? E quais parâmetros poderiam afetar diretamente um fornecedor?

# Sem medo de errar

Podemos então considerar o nosso caso – de uma consultoria que levantou dados a respeito de um processo produtivo – para avaliar os impactos da implementação de um sistema *Lean manufacturing* (produção enxuta). Esse tipo de análise, muito comum para verificação da necessidade da implementação do sistema de *Lean*, precisa indicar de forma confiante se há ou não necessidade de sua implementação.

Primeiramente deve-se verificar quais dados gerados têm caráter qualitativo ou de parâmetros quantitativos e podem ser mais representativos. Geralmente no que diz respeito aos requisitos de *Lean Manufacturing*, a produtividade é um índice interessante e representativo do sistema de produção. Quantitativamente esse índice pode mostrar as possíveis melhorias da redução de desperdícios na produção (necessidade primordial para implementação do *Lean Manufacturing*).

Qualitativamente os índices de qualidade percebidos pelo cliente e os tempos de processamento e entrega de produção podem ser os índices utilizados para a verificação da implementação do sistema *l ean* 

A interpretação de dados quantitativos e qualitativos será importante para que os consultores possam iniciar seu trabalho de verificação da adequação dos sistemas propostos. Obviamente, o acompanhamento por sua parte se torna essencial pelo levantamento realizado. Os critérios a serem analisados serão auxiliados por um *Balanced Score Card* que mostra de forma simples e resumida os resultados obtidos da análise.

No BSC podem constar as perspectivas financeira de clientes, de processos internos e de aprendizado e crescimento. Todos eles sendo descritos a partir de sua influência sobre a implementação do sistema *Lean*.

Por fim, os dados obtidos na análise podem ajudar na verificação da necessidade de alterações e onde elas deverão ser realizadas. As propostas geradas deverão conter os termos de objetivos, metas, indicadores, iniciativas, impactos, custos e prazos. Esses dados se tornam importantes se um dos objetivos consistir em otimizar o sistema produtivo com a implementação do sistema *Lean*. Essas condições de implementação são análises comumente realizadas na indústria para implementação em boa parte dos processos. Os comparativos dos índices antes e depois da implementação são práticas comuns na maioria dos processos e sistemas produtivos e agora faz parte de seu conhecimento.

# Avançando na prática

# Nova máquina de injeção de plástico

# Descrição da situação-problema

Um processo produtivo de injeção de plásticos decide realizar a compra de uma nova máquina moderna para substituir uma máquina considerada o gargalo de produção devido ao seu tempo de processo ser o maior da linha. Após realizar a compra da máquina, antes de sua instalação, deseja-se justificar esse investimento. Quais os índices a serem considerados nesse comparativo? O que eles indicarão quantitativa e qualitativamente?

# Resolução da situação-problema

Como o principal problema observado era a questão de existência de um gargalo, devemos saber que o gargalo é o elemento de uma linha de produção que mais consome recursos, sendo o tempo ou insumos. Para um comparativo representativo, os índices de tempo de produção e produtividade (quantidade de elementos produzidos) são os mais recomendados por representar os tempos, ou demoras, da produção e a produtividade propriamente dita. A expectativa a respeito dessa análise é que a nova máquina realize seu ciclo de trabalho em um tempo menor que a anterior e produza mais.

# Faça valer a pena

**1.** Quantitativamente podemos estabelecer que a capacidade produtiva é dependente do número de estações e tempos de trabalho, portanto, alterações no número de estações de trabalho modificarão a capacidade produtiva de um sistema.

Esse tipo de comparação e análise pode ser observado para quais requisitos?

- a) Requisitos de avaliação técnica, de custos e ambiental.
- b) Requisitos de avaliação simplificada, financeira e de ambiente.
- c) Requisitos de avaliação de custos, técnica e pagamentos.
- d) Requisitos de observação técnica, pagamentos e de interação do desemprego.
- e) Requisitos de avaliação técnica de custo.
- **2.** Os índices utilizados para medir os parâmetros de desempenho dos sistemas produtivos são usados a partir de parâmetros de controle. Esses parâmetros de controle definem as metas a serem atingidas. Essas metas são distribuídas de acordo com o planejamento estratégico e valores necessários para alcançá-lo.

Podemos dividir as medições de desempenho em algumas áreas de atuação, sendo:

- a) Perspectiva, cliente, externa e aprendizado.
- b) Perspectiva, cliente, processos internos e financeira.
- c) Financeira, cliente, processos internos, aprendizado e crescimento.
- d) Financeira, perspectiva, cliente, processo interno.
- e) Financeira, cliente, perspectiva, processo e cliente.
- **3.** A necessidade técnica pode se referir a um aumento de demanda e, consequentemente, à necessidade de aumentar a produção, dessa forma é preciso automatizar operações que demandam mais tempo e que poderiam fazer o fluxo da produção se tornar constante.

Para a frase acima, quais seriam os índices significativos referentes à análise que pode ser realizada?

- a) Confiabilidade e operacionabilidade.
- b) Utilização e capacidade de automatizar.
- c) Fluxo e capacidade de automatizar.
- d) Produtividade e tempos de produção.
- e) Utilização e tempos de produção.

# Referências

ANTUNES, J. et al. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. 328 p.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

BUIAR, D. R. Flexibilidade como vantagem competitiva no novo paradigma tecnológico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 1998. Disponível em: <a href="https://goo.gl/8Qj4N9">https://goo.gl/8Qj4N9</a> > Acesso em: 7 nov. 2017.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. São Paulo: Bookman, 2013.

LERÍPIO, A. A. **Gaia**: um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais. 2001. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) –Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LOPES, Luís L. Fernando. **Conheça os 8 desperdícios Lean Manufacturing**. 2017. Disponível em: <a href="https://goo.ql/kxMGmw">https://goo.ql/kxMGmw</a>>. Acesso em: 3 dez. 2017.

LOUZADA, P. O que é Balanced Scorecard? Como utilizar no seu planejamento estratégico? 2017. Disponível em: <a href="https://goo.gl/VKV2hp">https://goo.gl/VKV2hp</a>. Acesso em: 1 dez. 2017.

NOGUEIRA, N. F.; OLIVEIRA, A. P. V. D. Análise do sistema produtivo de uma empresa metalúrgica de pequeno porte. **SynThesis**, Pará de Minas, v. 1, n. 1, p. 231-260, out. 2009. Disponível em: <a href="https://goo.gl/uQ3jfV">https://goo.gl/uQ3jfV</a>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

SILVA, P. R. S.; AMARAL, F. G. MAICAPI – Metodologia para avaliação de impactos e custos ambientais em processos industriais: estudo de caso. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 212-222, 2006.

\_\_\_\_\_. Modelo para Avaliação Ambiental em Sistemas Produtivos Industriais – MAASPI – aplicação em uma fábrica de esquadrias metálicas. **Gest. Prod.**, v. 18, n. 1, p. 41-54, 2011. Disponível em: <a href="https://goo.gl/DjCD6L">https://goo.gl/DjCD6L</a>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 750 p.

VENKI. **Exemplo de Balanced Scorecard**: definindo as 4 perspectivas. 2016. Disponível em: <a href="https://goo.gl/Aykm7K">https://goo.gl/Aykm7K</a>. Acesso em: 29 nov. 2017.

# Tipos e análises de avaliação de sistemas industriais

#### Convite ao estudo

Prezado aluno, nesta última unidade de ensino, serão estudadas as técnicas e ferramentas de avaliação de sistemas industriais, assim como serão vistas as formas com que são realizadas as avaliações industriais. Nestas formas estão os cálculos de desempenho, e seus resultados serão utilizados para avaliação e ponderação dos efeitos do desempenho dos sistemas produtivos.

O controle e a integração de sistemas industriais mostrarão a importância da integração desses sistemas e como ela pode influenciar no desempenho deles, pois ela flexibiliza a produção, realizando uma produção mais enxuta e com melhor produtividade.

Por fim, será mostrada a parte de otimização dos sistemas industriais, uma vez que, com a análise realizada, alguns fatores demonstram a necessidade de melhoria nos processos produtivos. Essas melhorias levam o processo à otimização. Assim, ao final desta unidade, espera-se que você seja capaz de desenvolver o controle e a otimização de sistemas industriais.

Considere que, após a implementação de um sistema automatizado industrial, verificou-se que o desempenho do sistema não proporcionou o que era esperado no projeto dele. Para resolver esse problema, você foi convocado para realizar a análise de todos os componentes dos sistemas ativos na empresa. Portanto, as análises para cada tipo de sistema, de forma separada, deverão ser realizadas, e os elementos que proporcionam a disparidade entre a diferença do projeto e do que está sendo executado deverão ter uma

análise mais crítica de seu funcionamento. O controle dos sistemas, a integração e a gestão deverão identificar os possíveis gargalos e realizar otimizações para reduzir o efeito deles ou até mesmo eliminá-los.

Para isso ser possível, deverão ser utilizadas técnicas de avaliação, de forma a obter os valores quantitativos e adequar os elementos do sistema para garantir o fluxo mais contínuo possível.

Nesta situação, quais são os elementos mais críticos (ou que podem gerar um gargalo produtivo) com relação aos sistemas industriais? Como a integração entre sistemas pode ajudar a manter o fluxo mais contínuo? Como o controle dos sistemas industriais pode auxiliar para reduzir problemas de possíveis gargalos produtivos?

Vamos buscar esse conhecimento para saber o potencial de utilização nos sistemas industriais. Bons estudos!

# Seção 4.1

# Técnicas e ferramentas de auxílio de avaliação de sistemas industriais

# Diálogo aberto

Caro aluno, nesta seção, serão vistas as técnicas responsáveis pela análise de elementos de transporte e de elementos de sistemas produtivos automatizados, manuais e mistos.

Após a implementação de um sistema automatizado industrial, verificou-se que o desempenho do sistema não proporcionou o resultado esperado no projeto. Para resolver esse problema, você foi convocado para realizar a análise de todos os componentes dos sistemas ativos na empresa. Portanto, deverão ser realizadas as análises para cada tipo de sistema de forma separada, e os elementos que proporcionam a disparidade entre a diferença do projeto e do que está sendo executado deverão ter uma análise mais crítica de seu funcionamento. O controle dos sistemas, a integração e a gestão deverão identificar os possíveis gargalos e realizar otimizações para reduzir o efeito deles ou até mesmo eliminá-los. Para que isso seja possível, técnicas de avaliação deverão ser utilizadas para obter os valores quantitativos e adequar os elementos do sistema, a fim de garantir um fluxo mais contínuo possível.

Desta forma, serão utilizadas técnicas de análise dos sistemas produtivos, as quais podem ser realizadas de forma separada para cada elemento do sistema ou em conjunto. Você deverá realizar as análises para cada tipo de elemento existente, tanto elemento de transporte como tipo de célula de manufatura. Cada um deverá ser observado de acordo com sua função no processo produtivo, para que sua integração também possa ser analisada. Neste aspecto, quais são os elementos mais críticos (ou que podem gerar um gargalo produtivo) com relação aos sistemas industriais? E as células manuais de manufatura? E as células automatizadas? Como deve ser realizada a análise dos sistemas quando há partes diferentes, como manual e automatizada?

# Não pode faltar

A base para a análise dos sistemas industriais é o levantamento de modelos quantitativos referentes ao funcionamento do elemento do sistema em questão. Esses elementos podem ser definidos como de transporte ou de manufatura.

#### Avaliação de sistemas de transporte

Os veículos utilizados nas análises de sistemas de transporte podem ser considerados veículos industriais, manuais ou motorizados, ou veículos guiados automaticamente. Esses sistemas são utilizados para entrega de cargas internas aos sistemas de produção (GROOVER, 2013).

O tempo utilizado para o transporte desses veículos pode ser dividido em quatro etapas: (1) carregamento na estação de carga, (2) tempo de deslocamento para a estação de descarga, (3) descarregamento 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:

$$T_{C} = T_{L} + \frac{L_{d}}{v_{c}} + T_{U} + \frac{L_{e}}{v_{c}} \tag{Eq. 4.1} \label{eq:T_C}$$

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 veículo se desloca vazio até o começo do próximo ciclo de entrega (metros, pés).

O valor obtido com o tempo de ciclo calculado pela Equação 4.1 pode ser considerado ideal, isso significa que não são consideradas perdas com confiabilidade, congestionamento de tráfego e fatores que podem atrasar uma entrega.

Em alguns casos, a origem e o destino podem ser diferentes, alterando o caminho percorrido com o carro carregado ou descarregado. Em outros casos, as velocidades do veículo carregado e descarregado são diferentes. Neste caso, para a Equação 4.1 continuar valendo, deve-se considerar uma velocidade média entre carga e descarga que represente a velocidade para as condições de movimentação do veículo (GROOVER, 2013).

O tempo de ciclo é o primeiro passo para determinar certos parâmetros de interesse do sistema de transporte. Os parâmetros de interesse são a taxa de entregas por veículo e o número de veículos necessários para uma entrega total. As análises apresentadas serão consideradas em taxas de entrega por hora, porém o período pode ser em minuto e dependerá das aplicações da análise.

Antes dos parâmetros de taxa de entrega e do número de veículos, devemos saber qual é a disponibilidade de entrega. Significaria que, em uma hora, qual é o período que as entregas podem ser realizadas. Parte do tempo é desperdiçado com tráfego, eficiência do trabalhador que manipula o veículo e disponibilidade para operação. O tempo disponível, então, é dado por:

$$AT = 60.A.F_t.E_W$$
 (Eq. 4.2)

Em que AT é o tempo disponível (min/hora por veículo); A é a disponibilidade;  $F_t$  é o fator de tráfego; e  $E_{\it W}$  é a eficiência do trabalhador.

Os parâmetros A,  $F_t$  e  $E_{\it W}$  não levam em consideração escolhas equivocadas de rotas de veículos, layout de percurso ruim ou mau gerenciamento de veículos no sistema. Esses fatores devem ser minimizados, mas, se presentes, são levados em consideração nos valores de  $L_d$  e  $L_e$ . Portanto, a taxa de entrega do sistema é dada, de acordo com Groover (2013), por:

$$R_{dv} = \frac{AT}{T_C}$$
 (Eq. 4.3)

Em que  $R_{d\! v}$  é a taxa de entrega por hora por veículo (entrega/hora por veículo);  $T_C$  é o tempo de ciclo de entrega calculado pela

Equação 4.1 (min/entrega); e AT é o tempo disponível em uma hora com ajustes para perdas de tempo (min/hora).

A carga de trabalho é definida como a quantidade de trabalho, descrito em termos de tempo, que deve ser realizada pelo sistema de transporte de materiais em uma hora. Isso pode ser expresso como:

$$WL = R_f.T_C \qquad \text{(Eq. 4.4)}$$

Em que  $W\!L$  é a carga de trabalho (min/hora);  $R_f$  é a vazão especificada do total de entregas por hora para o sistema (entregas/hora); e  $T_C$  é o tempo do ciclo de entrega (min/entrega). Agora, o número de veículos exigidos para realizar essa carga de trabalho pode ser escrito como:

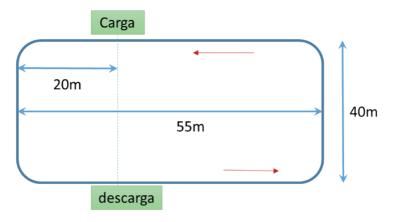
$$nc = \frac{WL}{AT}$$
 (Eq. 4.5)

Em que nc é o número de carregadores (veículos) necessários; WL é a carga de trabalho (min/horas); e AT é o tempo disponível por veículo (min/hora por veículo) (GROOVER, 2013).

# **Exemplificando**

Dado o layout de veículos de transporte da Figura 4.1, o sentido de translado é contrário ao relógio (anti-horário), o tempo de carga na estação de carregamento é igual a 0,75 min e o tempo de descarregamento na estação é de 0,50 min. Deve-se determinar quantos veículos serão necessários para satisfazer a demanda para este layout de 40 entregas/hora para veículos automatizados. Os parâmetros de performance são dados: velocidade média do veículo = 50 m/min; disponibilidade de 0,95; o fator de tráfego = 0,90; e a

Figura 4.1 | Layout de exemplo de problema de cálculo de quantidade de veículos de transporte em um circuito de carga e descarga



Fonte: elaborada pelo autor.

eficiência do operador não aplicada.

A Figura 4.2 mostra a resolução do problema de número de veículos de transporte, considerando os perímetros de carga e descarga e o cálculo de veículos para atender as entregas.

Figura 4.2 | Solução do problema proposto de veículos necessários a uma certa demanda de transporte interno

#### Solução

Ignorando os efeitos das curvas os valores de  $L_{\rm D}$  e  $L_{\rm e}$  são determinados pelo layout, sendo  $L_{\rm D}$  = 110 m e  $L_{\rm e}$  = 80 m.

Le = 80 m 
$$_{\text{Carps}}$$
  $_{\text{55m}}$   $_{\text{55m}}$   $_{\text{40m}}$   $T_C = 0.75 + \frac{110}{50} + 0.5 + \frac{80}{50} = 5.05 \text{ min}$ 

Para determinar a quantidade de veículos para fazer 40 entregas/h:

$$WL = 40(5,05) = 202 \text{ min/h}$$
  
 $AT = 60(0,95)(0,9)(1,0) = 51,3 \frac{\text{min}}{\text{h}} / \text{veículo}$   $n_C = \frac{202}{51,3} = 3,94 \text{ veículos}$ 

Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando os cálculos realizados, pode-se perceber que melhorias de desempenho (aumento de entregas com poucos veículos) se dão com a diminuição do tempo de ciclo. Essa diminuição, em uma primeira análise, pode ser conseguida melhorando a rota dos veículos, diminuindo as distâncias, aumentando a velocidade média ou melhorando os tempos de carga e descarga. Essa alteração do tempo de ciclo acaba influenciando os tempos de disponibilidade, pois altera os fatores de tráfego e disponibilidade.

# Avaliação de sistemas manuais

Na manufatura das empresas, os produtos, geralmente, passam pelo processo de montagem. O layout comumente utilizado para essas montagens é o layout por produto, como visto anteriormente (GROOVER, 2013). Esse tipo de layout é justificado pelos seguintes fatores:

- 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.

A linha de montagem precisa ser projetada para obter uma taxa de produção  $R_{P}$  suficiente para satisfazer à demanda de produto. Essa demanda é apresentada como uma quantidade anual, que pode ser reduzida a uma taxa de peças por hora. Considerando que a fábrica funciona, em média, 50 semanas por ano, a taxa de produção horária necessária é dada por:

$$R_P = \frac{D_a}{50.S_W.H_{SH}}$$
 (Eq. 4.6)

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  $H_{\it SH}$ 

é o número de horas por turno. Se a linha funcionar 52 semanas em vez de 50, então:

$$R_P = \frac{D_a}{52.S_W.H_{SH}}$$
 (Eq. 4.7)

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.

A taxa de produção pode sofrer perdas por imprevistos, como problemas com máquinas ou falta de energia. Como consequência dessas perdas, a linha estará em plena operação apenas pelo tempo total do turno; essa proporção de tempo ativo é chamada de eficiência de linha. O tempo de ciclo pode ser determinado como:

$$T_C = \frac{60E}{R_P}$$
 (Eq. 4.8)

Em que  $T_{\scriptscriptstyle C}$  é o tempo de ciclo da linha;  $R_{\scriptscriptstyle P}$  é a taxa de produção exigida, como determinado pela Equação (4.6) (unidades/ hora); a constante 60 converte a taxa de produção horária em um tempo de ciclo em minutos; e  $\it E$  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  $T_{\scriptscriptstyle C}$  estabelece a taxa de ciclo ideal para a linha (GROOVER, 2013):

$$R_C = \frac{60}{T_C}$$
 (Eq. 4.9)

Em que  $R_{\scriptscriptstyle C}$  é a taxa de ciclo para a linha (ciclos/hora) e  $T_{\scriptscriptstyle C}$  é minutos/ciclo, como na Equação (4.8). Essa taxa  $R_{\rm C}$  deve ser maior que a taxa de produção exigida  $R_{\scriptscriptstyle P}$ , porque a eficiência da linha E é menor que cem por cento. Logo, a eficiência da linha E é definida como:

$$E = \frac{R_P}{R_C} = \frac{T_C}{T_P}$$
 (Eq. 4.10)

 $E=\frac{R_P}{R_C}=\frac{T_C}{T_P} \qquad \text{(Eq. 4.10)}$  Em que  $T_C$  é o tempo de ciclo de produção médio — 60/R )  $(T_p = 60 / R_p)$ .

A montagem de um produto requer um tempo total para ser construído, o qual é chamado tempo total de trabalho ( $T_{wc}$ ), que é o tempo de todas as tarefas que precisam ser executadas

na linha para produzir uma unidade do produto. Ele é útil para calcular um número mínimo teórico de trabalhadores que será necessário na linha de montagem para produzir um produto com um  $T_{WC}$  conhecido e uma taxa de produção  $R_P$  especificada (GROOVER, 2013).

Para saber o número de trabalhadores na linha, podemos começar por:

$$w = \frac{WL}{AT}$$
 (Eq. 4.11)

Em que  $\boldsymbol{w}$  é o número de trabalhadores na linha; WL é a carga de trabalho a ser atingida em determinado período de tempo; e AT é o tempo disponível no período. O período de tempo de interesse será 60 minutos e a carga de trabalho nesse período será a taxa de produção horária multiplicada pelo tempo de trabalho no produto, ou seja:

$$WL = R_P T_{WC}$$
 (Eq. 4.12)

Em que  $R_{P}$  é a taxa de produção (peças/hora) e  $T_{WC}$  é o tempo de trabalho (minutos/peça).

Sabendo que  $R_{\rm P}=60E\,/\,T_{\rm C}$  e que AT=60E , pode-se substituir esses termos na Equação 4.11.

O número de trabalhadores pode ser dado pela Equação 4.13, obtendo um número inteiro; podemos, então, escrever:

$$w^* = Inteiro\_mínimo \ge \frac{T_{WC}}{T_C}$$
 (Eq. 4.13)

Em que  $w^*$  é o número mínimo teórico de trabalhadores.

O conteúdo de trabalho realizado em uma linha de montagem é composto de muitas tarefas distintas e separadas. Invariavelmente, a sequência em que essas tarefas podem ser realizadas é restrita, pelo menos até certo ponto, e a linha deverá operar em uma taxa de produção especificada, que se reduz a um tempo de ciclo necessário. Dadas essas condições, o problema do balanceamento de linha preocupa-se com a atribuição de cada tarefa às estações de trabalho, de modo que todos os trabalhadores tenham uma quantidade igual de trabalho.

Além de todas as técnicas de análise utilizadas para linhas manuais, existem problemas existentes de balanceamento de linhas que podem ser analisados com as fórmulas apresentadas.

Um aparelho elétrico deve ser produzido em uma linha de montagem de modelo único. O conteúdo de trabalho da montagem do produto foi reduzido às tarefas listadas na Tabela 4.1 (GROOVER, 2013).

Tabela 4.1 | Tarefas de montagem de produto eletrônico, tempo e predecessores

Número	Tarefa	Tempo (min)	Precedido por
1	Colocar base no dispositivo de fixação	0,2	
2	Montar plugue e anel do cabo de força	0,4	
3	Montar braçadeiras da base	0,7	1
4	Ligar o cabo de força no motor	0,1	1, 2
5	Ligar o cabo de força na chave	0,3	2
6	Montar a placa do mecanismo na braçadeira	0,11	3
7	Montar lâmina da braçadeira	0,32	3
8	Montar o motor da braçadeira	0,6	3, 4
9	Alinhar a lâmina e fixar o motor	0,27	6, 7, 8
10	Montar chave do suporte do motor	0,38	5, 8
11	Fixar tampa, inspecionar e testar	0,5	9, 10
12	Embalar	0,12	11

Fonte: elaborada pelo autor.

A tabela também relaciona os tempos para cada tarefa e a ordem de precedência em que devem ser realizadas. A linha deve ser balanceada para uma demanda anual de cem mil unidades. A linha funcionará 50 semanas por ano, cinco turnos por semana e 7,5 horas por turno. O apoio humano será de um trabalhador por estação. A experiência anterior sugere que a eficiência da atividade para a linha será de 96 por cento e o tempo de reposicionamento perdido por ciclo será de 0,08 minuto. Determine:

- (a) o tempo total de trabalho  $\mathit{T_{WC}}$  ;
- (b) a taxa de produção horária  $R_{P}$  necessária para atender à demanda anual;

- (c) o tempo de ciclo  $T_{\!\scriptscriptstyle C}$  ;
- (d) o número mínimo teórico de trabalhadores necessário na linha;
- (e) o tempo de serviço  $T_{\scriptscriptstyle S}$  para o qual a linha deve ser balanceada.

#### Solução:

(a) O tempo total de trabalho é a soma dos tempos das tarefas na Tabela 4.1.

$$T_{WC} = 0, 2+0, 4+0, 7+0, 1+0, 3+0, 11+0, 32+0, 6+0, 27+0, 38+0, 5+0, 12$$

$$T_{WC} = 4 \min$$

(b) Dada a demanda anual, a taxa de produção horária é:

$$R_F = \frac{100.000}{50(5)(7,5)} = 53,33 \text{\_unidades / horas}$$

(c) O tempo de ciclo correspondente Tc com uma eficiência de atividade de 96 por cento é:

$$T_C = \frac{60(0,96)}{53,33} = 1,08 \,\text{min}$$

(d) O número mínimo teórico de trabalhadores é dado pela Equação 4.13:

$$w^* = Inteiro\_mínimo \ge \frac{4}{1,08} (=3,7) = 4 trabalhadores$$

(e) O tempo de serviço disponível com o qual a linha precisa ser balanceada é:

$$T_S = T_c - T_R = 1,08 - 0,08 = 1 \text{ min}$$

A análise realizada para avaliar tecnicamente um sistema produtivo manual é a base de análise para os outros tipos básicos de sistemas produtivos. Os conceitos e as equações são considerados e utilizados na avaliação.

# Avaliação de sistemas automatizados

Os sistemas de manufatura automatizados utilizados para montagem têm como princípio a automação rígida. Em sua maioria, o projeto é focado em montagem de produtos específicos (GROOVER, 2013). Algumas características são consideradas para a adoção desse tipo de sistema:

- Alta demanda de produto: produtos fabricados em milhões de unidades (ou próximo dessa faixa).
- Projeto de produto estável: em geral, qualquer mudança no projeto do produto significa uma mudança no ferramental da estação de trabalho e, possivelmente, na sequência das operações de montagem, o que pode ser extremamente caro.
- Número limitado de componentes na montagem: recomendase um máximo em torno de uma dúzia de peças.
- Produto projetado para montagem automatizada: os fatores no projeto de produto que permitem a montagem automatizada devem ser examinados.



Um sistema de montagem automatizado típico consiste nos seguintes subsistemas: (1) uma ou mais estações de trabalho em que as etapas de montagem são realizadas; (2) dispositivos de alimentação de peças que distribuem os componentes individuais para as estações de trabalho; (3) e um sistema de manuseio para a entidade montada.

Nos sistemas de montagem com uma estação de trabalho, o sistema de manuseio move a peça-base para dentro e para fora da estação. Nos sistemas com várias estações, o sistema de manuseio transfere a peça-base parcialmente montada entre as estações.

Na operação de uma estação de trabalho de montagem automatizada, q é a probabilidade de que o componente a ser acrescentado durante o ciclo atual é defeituoso. Quando é feita uma tentativa de alimentar e montar um componente defeituoso, o defeito pode ou não causar travamento da estação. Considere

*m* como a probabilidade de um defeito resultar em travamento na estação e consequente paralisação da linha.

Em um sistema com *n* estações de trabalho, em determinada estação de trabalho, por exemplo a estação *i*, existem três eventos que podem ocorrer quando o mecanismo tenta alimentar o próximo componente, e o dispositivo de montagem tenta uni-lo à montagem na estação.

- 1. O componente é defeituoso e causa travamento da estação. A probabilidade desse evento é a taxa de defeito das peças na estação  $(q_i)$  multiplicada pela probabilidade de que um defeito causará o travamento da estação  $(m_i)$ .
- 2. O componente é defeituoso, mas não causa travamento da estação. Isso tem probabilidade de  $(1-m_i)q_i$ . Nessa situação, uma peça ruim é unida à montagem existente, talvez resultando no defeito da montagem inteira.
- 3. O componente não é defeituoso. Essa é a condição mais desejável e, definitivamente, a mais provável (esperamos). A probabilidade de que uma peça adicionada à estação não seja defeituosa é igual à proporção de peças boas  $(1-q_i)$  (GROOVER, 2013).

Dessas condições, a equação que significa a probabilidade de peças boas produzidas pode ser representada conforme segue:

$$P_{ap} = \prod_{i=1}^{n} (1 - q_i + m_i q_i)$$
 (Eq. 4.14)

Porém, em alguns casos em que os valores de possíveis defeitos entre as estações podem ser considerados com um valor médio, a Equação 4.14 pode ser simplificada por:

$$P_{qp} = (1 - q + mq)^n$$
 (Eq. 4.15)

A eficiência de linha é calculada como a razão entre o tempo de ciclo ideal e o tempo de produção real médio, a mesma Equação 4.10 definida anteriormente (GROOVER, 2013).

Quando considerada a eficiência da máquina de montagem, consequentemente tratamos da qualidade das unidades produzidas como aspecto separado. De outro lado, o custo por produto montado precisa levar em conta a qualidade da produção. Portanto, a fórmula do custo geral é dada como:

$$C_{PC} = \frac{C_{m} + C_{o}T_{p} + C_{t}}{P_{ap}}$$
 (Eq. 4.16)

Em que  $C_{pc}$  é o custo por montagem boa (\$/item);  $C_m$  é o custo dos materiais, que inclui o custo da peça-base mais os componentes acrescentados a ela (\$/item);  $C_o$  é o custo operacional do sistema de montagem (\$/min);  $T_p$  é o tempo médio de produção real (min/item);  $C_t$  é o custo do ferramental descartável (\$/item); e  $P_{ap}$  é fornecido da Equação 4.15.

O efeito do denominador da Equação 4.16 é aumentar o custo por montagem; conforme a qualidade dos componentes individuais diminui, o custo médio por montagem de boa qualidade aumenta (GROOVER, 2013).

# Pesquise mais

O percentual de peças defeituosas é um parâmetro muito utilizado para verificação e análise de desempenho de processos produtivos. Mais informações podem ser obtidas em:

JACQUES NETO, Mário Vieira. **Perdas de produtividade devido à produção de peças defeituosas:** um estudo de caso no setor de montagem em uma indústria fabricante de máquinas têxteis. 2006. Disponível em: <a href="https://www.uninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/viewFile/91/65">https://www.uninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/viewFile/91/65</a>>. Acesso em: 1º dez. 2017.



Considerando os requisitos e as técnicas de análise utilizados nesta seção, quantidades e necessidades para atendimento à demanda são essenciais para obter os valores de desempenho dos sistemas industriais. Quais seriam os índices que demonstrariam o desempenho dos sistemas? O que eles podem representar?

# Algumas conclusões sobre as avaliações

As equações obtidas nesta seção e sua aplicação nos exemplos apresentados revelam várias diretrizes práticas para o projeto, a análise e a operação dos sistemas de montagem automatizados e os produtos fabricados nesses sistemas.

O sistema de distribuição de peças em cada estação precisa ser projetado para distribuir componentes à operação de montagem a uma taxa maior ou igual à taxa de ciclo do dispositivo de montagem.

A qualidade dos componentes acrescentados em um sistema de montagem automatizado possui efeito significativo sobre o desempenho do sistema.

Como o número de estações de trabalho aumenta em um sistema de montagem automatizado, a eficiência de atividade e a taxa de produção tendem a diminuir devido à qualidade das peças e aos efeitos de estabilidade das estações.

O tempo de ciclo de um sistema de montagem multiestação é determinado pela estação mais lenta (a tarefa de montagem mais demorada) no sistema. O número de tarefas de montagem realizado é importante apenas enquanto ela afetar a estabilidade do sistema de montagem.

Os sistemas de montagem multiestação são apropriados para aplicações de alta produção e períodos de longa produção.

Uma estação automatizada deve ser substituída por uma estação manual apenas se esta reduzir suficientemente o tempo de ciclo para compensar quaisquer efeitos negativos da menor estabilidade.

Quando existe a utilização de parte do sistema com operação automatizada e parte do sistema com operação manual, este é denominado um **sistema misto**. Apesar das tratativas diferenciadas com relação à operação, as análises podem ser realizadas considerando as estações de trabalho de forma igualitária (em tempos e processos realizados), independentemente de serem automatizadas ou manuais.

As taxas de produção e a quantidade de montagens são fatores considerados para os dois tipos de estação de trabalho (manual ou automatizada).

#### Sem medo de errar

Sabendo que as técnicas de análise são elementos que auxiliam e definem a utilização dos dados referentes ao desempenho dos sistemas produtivos, conforme considerado e visto durante a seção, as técnicas de análise mostram a necessidade de realizar as análises nos elementos produtivos de forma separada.

Portanto, o primeiro passo para a resolução da análise é realizar a distinção e a separação dos elementos da manufatura entre elementos de processamento e elementos de transporte.

Os elementos de transporte serão analisados de acordo com as técnicas de transporte, se são realizados através de veículos ou sem veículos. Para o caso do uso de veículos, os cálculos apresentados são úteis para verificação do atendimento da demanda de produção. A quantidade de veículos e a taxa de entregas são os fatores a serem observados e avaliados. Conforme descrito nas conclusões das análises, a qualidade do processo realizado, no caso do transporte, depende da otimização dele. Essa otimização consiste na realização das entregas no menor tempo possível. Esse objetivo pode ser alcançado se obtida a melhor rota de transporte e verificando a velocidade média mais representativa dessas rotas, lembrando que a velocidade do veículo pode variar com ele carregado ou descarregado.

Quando observados os elementos de processamento, eles podem ser classificados entre manual e automatizado. Cada elemento deverá ser observado e os cálculos de desempenho podem mostrar qual o elemento que acaba demandando mais recurso do sistema. Quando verificado esse tipo de elemento, ele se torna um elemento **crítico** para o sistema, no caso, conhecido como "gargalo". Esse elemento realizará a demanda do ritmo de trabalho das estações dependentes desse elemento.

Com a identificação do elemento que consome mais recurso, fica mais fácil compreender as principais operações desse elemento e propor possíveis soluções para diminuição desse "gasto" de recurso. Os Tempos de Ciclo (TC) são os indicadores que mostram os elementos que se comportam como "gargalos" do sistema produtivo.

A identificação dos gargalos é utilizada da mesma forma, tanto para elementos classificados como manuais quanto para elementos classificados como automatizados. Os elementos classificados como automatizados têm como diferencial de análise a possibilidade de trabalhar com a análise de montagem ou a utilização de peças defeituosas. Essa possibilidade pode ajudar a compreender algumas análises estatísticas, as quais podem ser obtidas para a verificação da probabilidade de produção de peças em bom estado ou que podem apresentar algum defeito.

Os elementos de processamento, sejam manuais ou automatizados, utilizam o conceito de eficiência baseado nos tempos de produção. Essa eficiência é um fator importante para verificar o quanto o sistema pode estar longe do que seria seu tempo ideal de processamento. Esse fator pode se tornar um índice de trabalho que mostra o quão contínuo pode estar o fluxo produtivo. Essa continuidade é a base do bom funcionamento do sistema produtivo em análise, mesmo quando o sistema apresenta elementos mistos, **manuais e automatizados**.

Diante dessa possibilidade de analisar de forma mais profunda um sistema de produção, você já detém um conhecimento de processos produtivos que permite avaliar pontos que diminuem a efetividade do processo. Dentro da indústria, esses parâmetros têm uma grande relevância quando realizada a análise dos processos produtivos.

# Avançando na prática

#### Análise da eficiência de sistema produtivo

#### Descrição da situação-problema

Considere que a análise de um processo produtivo resultou em uma eficiência de 60%, lembrando que a eficiência é dada pela relação do tempo de ciclo ideal com o tempo de ciclo real,

ou conforme Equação 4.10 (
$$E=\frac{R_P}{R_C}=\frac{T_C}{T_P}$$
). Deseja-se realizar um

aumento dessa eficiência. Quais seriam os passos a serem tomados para conseguir esse aumento?

# Resolução da situação-problema

Primeiramente, sabe-se que o principal fator que auxilia no aumento da eficiência de um sistema produtivo é o tempo de ciclo médio  $(T_p)$ . Portanto, uma análise dos tempos necessários para a realização das tarefas de determinada linha de produção é necessária. A intenção principal dessa primeira abordagem é verificar as tarefas que consomem mais tempo, quando reduzido o  $T_p$ , maior é a eficiência do sistema, o que significa que pode realizar mais tarefas produzindo mais elementos e aumentando a taxa  $R_p$ , o que também aumenta a eficiência.

Outro ponto a ser analisado é a possibilidade de elementos "gargalos". Como esses elementos consomem mais recurso e tempo do sistema, uma vez que o tempo de ciclo médio depende, principalmente, do tempo desse tipo de elemento, quanto melhor detectá-lo e tratá-lo, maior tenderá a ficar a eficiência do sistema.

# Faça valer a pena

**1.** Os veículos utilizados nas análises de sistemas de transporte podem ser considerados veículos industriais, manuais ou motorizados, ou veículos guiados automaticamente. Esses sistemas são utilizados para entrega de cargas internas aos sistemas de produção.

O tempo utilizado para o transporte desses carrinhos pode ser dividido em quatro etapas. Escolha a alternativa que corresponde a elas.

- a) Tempo de carga, tempo de transporte interno, tempo de descarga e tempo de transporte externo.
- b) Tempo de carregamento na estação de carga, tempo de deslocamento até a estação de descarga, tempo de descarregamento na estação de descarga e tempo de deslocamento até a estação de carga.
- c) Tempo de carregamento na estação de carga, tempo de deslocamento externo e tempo de descarregamento na estação de descarga.
- d) Tempo de carregamento de materiais, tempo de deslocamento interno, tempo de descarregamento na estação de carregamento e tempo de deslocamento até a estação de carga.
- e) Tempo de carregamento na estação de carga, tempo de deslocamento interno, tempo de descarregamento na estação de carregamento e tempo de deslocamento até a estação de carga.
- **2.** Na manufatura das empresas, os produtos comumente passam pelo processo de montagem. O layout comumente utilizado para essas montagens é o layout por produto. Esse tipo de layout é justificado pelos seguintes fatores:
- I- A demanda pelo produto é baixa.
- II- Os produtos fabricados na linha são semelhantes ou idênticos.
- III- O trabalho para montar o produto não pode ser dividido.
- IV- É tecnologicamente impossível ou economicamente inviável automatizar as operações de montagem.

Considerando as afirmações I, II, III e IV, é correto afirmar que:

- a) As afirmações I, II e III estão corretas.
- b) As afirmações I e III estão corretas.
- c) Apenas a afirmação IV está correta.
- d) As afirmações II e IV estão corretas.
- e) As afirmações II, III e IV estão corretas.

**3.** Uma máquina de montagem em linha com dez estações possui tempo de ciclo ideal de seis segundos. A peça-base é automaticamente carregada antes da primeira estação, e os componentes são acrescentados em cada uma das estações. A taxa de defeito em cada uma das dez estações é igual a 0,01, e a probabilidade de que um defeito trave a estação é igual a 0,5. Quando um travamento ocorre, a inatividade média é de dois minutos. O custo para operar a máquina de montagem é de \$42/h. Outros custos são ignorados.

Determine: a taxa de produção média de todas as montagens, o fornecimento das montagens boas, a taxa de produção média de produtos bons, a eficiência de atividade da máquina de montagem e o custo por unidade.

```
a) R_{p} = 285, 3\_montagens\_totais/h; P_{ap} = 0,95; R_{ap} = 300\_montagens\_boas/h; E = 60\%; C_{pc} = \$0,714/item \ b) R_{p} = 285, 3\_montagens\_totais/h; P_{ap} = 0,9511; R_{ap} = 300\_montagens\_boas/h; E = 65\%; C_{pc} = \$0,7/item \ c) R_{p} = 300\_montagens\_totais/h; P_{ap} = 0,9511; R_{ap} = 300\_montagens\_boas/h; E = 65\%; C_{pc} = \$0,7/item \ d) R_{p} = 300\_montagens\_totais/h; P_{ap} = 0,9511; R_{ap} = 285, 3\_montagens\_boas/h; E = 50\%; C_{pc} = \$0,147/item \ e) R_{p} = 285, 3\_montagens\_totais/h; P_{ap} = 0,9511; R_{ap} = 300\_montagens\_boas/h; E = 50\%; C_{pc} = \$0,147/item \ e)
```

# Seção 4.2

# Controle e integração de sistemas industriais

# Diálogo aberto

Nesta seção, serão observados tópicos de controle dos sistemas industriais e a sua integração. Eles abordarão o enfoque de realização da análise ao sistema produtivo.

Após a implementação de um sistema automatizado industrial, verificou-se que o desempenho do sistema não proporcionou o que era esperado no projeto inicial. A diferença entre o que é projetado e o que é efetivamente implementado depende de um ajuste nos parâmetros que envolvem o processo, de forma a diminuir essa diferença e obter o comportamento mais próximo possível do projeto. Esse tipo de ajuste é comumente realizado para a verificação da adaptabilidade do sistema produtivo aos fatores reais da linha de produção.

Para resolver esse problema de diferença entre o projeto e o real desempenho, você foi convocado para realizar a análise de todos os componentes dos sistemas que operam na empresa. Portanto, as análises para cada tipo de sistema, de forma separada, deverão ser realizadas, e os elementos que proporcionam a disparidade entre a diferença do projeto e do que está sendo executado deverão ter uma análise mais crítica de seu funcionamento. Para auxiliar nessa análise, você deverá utilizar conceitos de controle de sistemas de produção, integração entre sistemas e gerenciamento dos controles e dos sistemas.

O controle dos sistemas, a integração e a sua gestão deverão ser os pontos principais para a análise a ser realizada, com a finalidade de identificar os possíveis elementos que consomem mais recursos e, assim, realizar otimizações para reduzir o efeito desses elementos ou até mesmo eliminá-los. Você deverá analisar o controle do sistema e observar quais são os principais pontos a serem avaliados que podem interferir no seu desempenho. Você deverá compreender o papel da integração dos sistemas produtivos

para a melhoria dessas diferenças entre o projeto e a resposta real do sistema.

Para este tópico, como a integração entre sistemas pode ajudar a manter o fluxo mais contínuo? O que o controle pode proporcionar para atenuar as diferenças entre projeto e execução dos sistemas industriais? Como deve ser realizada a análise quando mais de um sistema é considerado?

Diante desses questionamentos, vamos compreender o controle e a sua importância no sistema produtivo! Bons estudos!

# Não pode faltar

Anteriormente, foram discutidos os tipos de produção com relação ao fluxo de processo. Para esses tipos, são considerados dois tipos principais de indústria, a de processo e a de produção discreta. As indústrias de processos executam suas operações de produção baseadas em quantidades variáveis de materiais, não havendo uma quantidade fixa de produtos. Normalmente, esses materiais tendem a ser líquidos, gases, grãos e similares.

Já as indústrias de produção discreta possuem suas operações baseadas em quantidades fixas de materiais, e estes tendem a ser peças discretas e produtos finalizados. Os tipos de operações de unidade executados nos materiais são diferentes na indústria de processo e na indústria de produção discreta. Quando comparados aos níveis existentes da pirâmide de automação, pode-se observar que a indústria de produção discreta é mais voltada para o controle das unidades de manufatura, neste caso, as células de manufatura.

Figura 4.3 | Comparativo entre os níveis correlatos da pirâmide de automação, comparados entre indústrias de processo e indústrias de produção discreta

Nível de automação em indústrias de processo		Nível de automação em indústrias de produção discreta
<b>Corporativo:</b> sistema de gerenciamento de informações; planejamento estratégico	Nível 5	Corporativo: sistema de gerenciamento de informações; planejamento estratégico
<b>Fábrica:</b> agendamento; rastreamento; monitoramento de equipamentos	Nível 4	Fábrica: agendamento; rastreamento; monitoramento de equipamentos
Supervisório: controle de várias operações interconectadas compondo o processo total	Nível 3	Célula de Manufatura: controle e coordenação de modo sincronizado.
Controle regulatório: controle das operações da unidade, fluxo produtivo	Nível 2	<b>Máquina:</b> máquinas de produção; estações de trabalho; produção discreta
<b>Dispositivo:</b> sensores e atuadores de controle das malhas da unidade	Nível 1	<b>Dispositivo:</b> sensores e atuadores de controle das ações das máquinas

Fonte: elaborada pelo autor.



A pirâmide da automação é uma demonstração gráfica dos níveis existentes em uma rede corporativa desde o menor nível (1), próximo às máquinas e ao chão de fábrica, até o maior nível (5), próximo à direção da empresa com os softwares de gerenciamento. Mais detalhes podem ser observados nas referências a seguir:

SANTOS, Guilherme. **A pirâmide da Automação Industrial**. 2013. Disponível em: <a href="https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/">https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/</a>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ANDRADE, Gabryella et al. A Pirâmide da Automação Industrial, seus níveis hierárquicos de controle e trabalho, tipos de propagação de erros e malhas de controle. 2016. Disponível em: <a href="http://jomar.pro.br/wp/wp-content/uploads/2016/09/Artigo-Pirâmide-da-Automação-Industrial-Tipos-de-erros-e-Malhas-de-controle.pdf">http://jomar.pro.br/wp/wp-content/uploads/2016/09/Artigo-Pirâmide-da-Automação-Industrial-Tipos-de-erros-e-Malhas-de-controle.pdf</a>>. Acesso em: 19 dez 2017

Os dois sistemas citados anteriormente possuem suas características distintas com relação ao seu controle. A indústria de processos utiliza variáveis e controles contínuos, e a indústria de produção possui variáveis e controles discretos.

As variáveis e os parâmetros discretos são os que assumem valores determinados, como quantidade de peça ou condição (aberta ou fechada) da porta de um compartimento. Já as variáveis e os parâmetros contínuos podem assumir infinitos valores dentro de uma faixa predeterminada.

Para compreender melhor esse conceito e sua aplicação, a Figura 4.4 mostra um diagrama com os comparativos de alguns parâmetros dos dois processos.

Figura 4.4 | Diferença entre os parâmetros e as variáveis observados na indústria de processo e na indústria de produção discreta



Fonte: elaborada pelo autor.

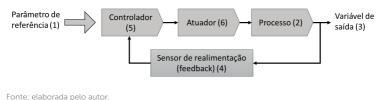
### Controle por computador

O controle por computador exige alguns requisitos para a utilização de sistemas e o auxílio nos processos. A automação dos processos produtivos já exige alguns computadores voltados para a confiabilidade necessária exigida pelo chão de fábrica. Os controladores são conhecidos como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), os quais são mais robustos ao ambiente fabril e são responsáveis pela automação direta no chão de fábrica ou processo. Esses elementos são comumente encontrados no Nível 1 e 2 da pirâmide da automação. Em níveis superiores da pirâmide da automação, são utilizados computadores com uma capacidade de processamento maior, pois eles precisam lidar com mais dados a serem processados e mais células de processamento. Tais células podem ser coordenadas por CLPs, e a conexão entre estes e um grau de processamento maior (um computador que possa lidar com mais dados) é realizada via rede de dados com protocolos específicos de comunicação.



Os controles de um sistema automatizado podem ser tanto de malha fechada como de malha aberta. Um sistema de controle de malha fechada, também conhecido como sistema de controle por realimentação, é aquele no qual a variável de saída (que pode vir a ser obtido por um sensor de realimentação ou feedback) se compara a um parâmetro obtido da entrada, e a diferença entre eles é utilizada para ajustar a saída, a partir de atuadores, para que esta fique o mais próximo possível do parâmetro de referência. Um controle de malha fechada é mostrado na Figura 4.5, e é formado por seis elementos básicos: (1) parâmetro de referência, (2) processo, (3) variável de saída, (4) sensor por realimentação, (5) controlador e (6) atuador.

Figura 4.5 | Elementos básicos de um controle de malha fechada



O sistema de controle de malha aberta opera em uma malha sem realimentação, conforme mostra a Figura 4.6. Nesse caso, os controles operam sem usar a variável de saída e, portanto, não há comparação entre o valor de saída e o parâmetro de entrada desejado.

Figura 4.6 | Elementos básicos de um controle de malha aberta



Fonte: elaborada pelo autor.

Com o conhecimento do efeito do atuador sobre a variável de processo, o controle pode determinar estados que serão assumidos de acordo com os parâmetros de referência. Para este tipo de controle, deve-se conhecer muito bem as características do processo.

Se for considerado que as ações do sistema de controle são simples de serem executadas, a função do atuador é bastante confiável; se essas características não se aplicam, então um sistema de controle de malha fechada se torna mais adequado. Como exemplo, podemos imaginar o caso de uma dobradeira automatizada, na qual os locais de dobra são calculados e ajustados com antecedência e, a partir do parâmetro de posicionamento, as dobras são realizadas.

A necessidade de evolução do controle de processos se deu devido ao aumento de demanda pelo controle industrial. O aumento de máquinas acabou trazendo algumas vantagens em se utilizar o controle digital e, consequentemente, sua integração.

O controle digital, ou por computador, pode suprir grande parte das opções de controle analógico tradicional. Com o controle digital por computador, é possível executar algoritmos de controle mais complexos, quando comparados aos executados nos modos de controle proporcional-integral-derivativos (PIDs) convencionais,

usados por controladores analógicos. Dessa forma, o controle digital se torna mais versátil e, devido à capacidade de ter vários canais de controle e realizá-lo com apenas dois estados, é capaz de suprir vários controles PIDs.

Outra vantagem dos controles digitais é a possibilidade de editar os programas de controle, uma vez que os controles utilizam processadores digitais, que necessitam de algoritmos programados para a realização das tarefas e o acionamento de atuadores no processo.

### Integração entre os sistemas

A integração de várias malhas de controle é a primeira solução encontrada para aumentar o desempenho do controle dos sistemas produtivos. A habilidade de integrar medidas de realimentação de várias malhas é a forma de otimização do controle dos sistemas. Porém, como visto anteriormente, o uso de controles digitais traz mais vantagens do que os sistemas de controle analógico.

Os elementos básicos dos sistemas produtivos responsáveis pelo controle e explicados na Seção 1.2 podem ser:

Controle numérico: o controle numérico, conforme visto na Seção 1.2, é uma forma de controle por computador. Envolve a utilização do computador (aqui, também microcomputador) para dirigir uma ferramenta de usinagem por meio de uma sequência de etapas de processamento, definida por um programa de instruções que especifica os detalhes de cada etapa produtiva e sua ordem de realização.

Controladores lógicos programáveis: podemos definir um controlador lógico programável como um controlador baseado em microprocessador que usa instruções guardadas na memória programável para implementar funções lógicas, sequenciamento, tempo, contagem e controle aritmético, a fim de controlar as máquinas e os processos. Os CLPs são usados tanto para as aplicações de controle contínuo como para as de controle discreto, tanto nas indústrias de processo como nas de produção discreta.

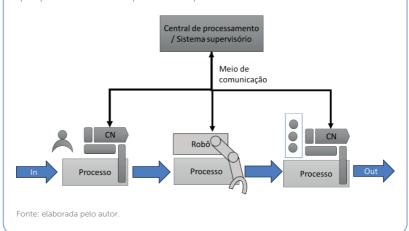
**Controle supervisório:** o termo controle supervisório é habitualmente associado às indústrias de processo, mas o conceito também se aplica à automação da produção discreta, em que corresponde ao controle da célula ou de nível de sistema. Na maioria dos casos, esse controle é realizado por software característico, muitas vezes denominado supervisório.

Ao falar em integração desses elementos, deve existir um meio para conectá-los e um controle supervisório para controlar as funções como um todo.



Para compreender a base da integração dos elementos de um sistema produtivo, vamos considerar algumas máquinas comumente utilizadas em processos produtivos automatizados. Supondo um processo com três estações de trabalho, deve-se considerar uma central de processamento ou um sistema supervisório para coordenar o processamento das três unidades.

Figura 4.7 | Sistema industrial automatizado com processamento central, o qual pode ser realizado por um computador



### Sistemas de controle distribuído

Com o desenvolvimento do microprocessador, tornou-se possível conectar vários controles para compartilhar e distribuir o

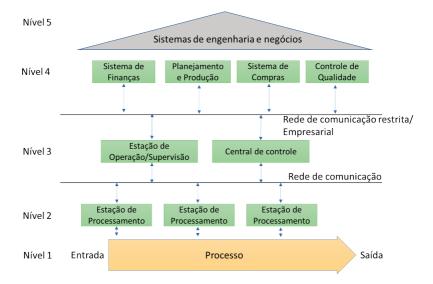
processamento e o trabalho do controle de processos. O termo sistema de controle distribuído, também chamado sistema digital de controle distribuído (SDCD), é usado para descrever essa configuração, que consiste nos seguintes componentes:

- Várias estações de controle de processo localizadas pela planta para controlar malhas individuais e dispositivos do processo.
- Uma central de controle equipada com estações com operador, na qual ocorre o controle supervisório da fábrica.
- Estações locais com operador distribuídas pela planta, o que dá redundância ao SDCD. Se uma falha ocorrer na central de controle, as estações locais de operador assumem as funções da central de controle. Se uma estação local com operador falhar, outra estação assume suas funções.
- Todos os processos e as estações com operador interagem uns com os outros por meio da rede de comunicação, ou via de dados.

### Integração de dados da fábrica em extensão empresarial

A evolução mais recente em controle distribuído baseado em PC (do inglês *Personal Computer* – Computador Pessoal) é a integração dos dados das operações da fábrica em extensão empresarial, como mostrado na Figura 4.8.

Figura 4.8 | Integração entre sistemas e devidos níveis na pirâmide de automação



Fonte: elaborada pelo autor.

Esse tipo de estrutura vai ao encontro das filosofias de gerenciamento de informação. Essas filosofias têm como base a integração entre sistemas de gerenciamento e, para isso, é necessário o uso de tecnologias de redes de comunicação.

A troca de dados é uma funcionalidade muito importante para a integração entre os sistemas. Os sistemas operacionais mais recentes para PC oferecem várias funcionalidades para a comunicação de sistemas de controle industrial das fábricas com os sistemas de extensão empresarial, além do suporte para a troca de dados entre as várias aplicações (por exemplo, permitir que dados coletados na fábrica sejam usados em pacotes de análise, como planilhas ou relatórios específicos). Essa capacidade é própria da utilização do ERP (*Enterprise Resource Planning* – Planejamento de Recursos Corporativos). Uma característica importante do ERP é a utilização de uma única base de dados central que pode ser acessada de qualquer lugar na empresa. O acesso aos dados se torna restritivo de acordo com a necessidade e os privilégios a cada grau de gerenciamento da empresa ou setor pertinente. Por exemplo, os dados de faturamento e compra não poderão ser acessados

pelo pessoal de produção ou outro setor, pois não há necessidade, considerando suas funções, de acesso a esses dados.

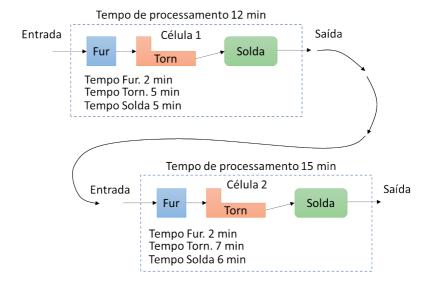
A gestão do sistema industrial, quando o sistema é integrado, torna-se facilmente automatizada, fazendo com que a necessidade de acesso aos dados seja suprida de forma muito rápida.

Nesse contexto, a avaliação dos sistemas, quando existe a interação de vários sistemas, acaba dependendo da escolha das variáveis que serão observadas. Essas variáveis são comumente ligadas aos pontos de integração dos sistemas. Portanto, a avaliação de vários sistemas depende das variáveis escolhidas para a verificação do desempenho e da interação entre os sistemas.

Vamos considerar uma situação em que duas células de manufatura são dependentes no processo produtivo e que a variável de análise será o tempo de ciclo do processo, desconsiderando o tempo de transporte entre células. Neste caso, o tempo de processo da primeira célula de 12 min deverá ser considerado para o sistema como um todo, e a programação deverá obedecer à espera desse tempo para iniciar o tempo de processamento da segunda célula. Portanto, a variável de análise escolhida é o tempo de ciclo da célula, em que a primeira célula levará seu tempo para, depois, realizar o processamento da segunda célula, e a central de comando deverá considerar esse tempo e o sequenciamento dos tempos internos para programação dos controles necessários.

Quando dois ou mais sistemas são considerados, deve-se abordar a interação entre eles. As variáveis que serão consideradas para essa interação são o ponto principal para que a interação possa acontecer. Se considerarmos o exemplo da Figura 4.9, as principais variáveis a serem consideradas são o tempo de processamento total de cada célula. Esse tempo deverá ser considerado pelo elemento de controle das duas células para poder coordenar os tempos de produção de forma correta. Essa forma correta seria manter o fluxo de produção o mais constante possível.

Figura 4.9 | Diagrama esquemático de duas células de produção com suas devidas variáveis de tempo



Fonte: elaborada pelo autor.



Sabendo que um sistema produtivo integrado pode mostrar todas as variáveis referentes ao sistema, como essa informação poderia auxiliar na melhoria desse sistema produtivo? Gerencialmente, como seria a informação mais eficaz para a tomada de decisões estratégicas?

### Sem medo de errar

Para a resolução de problemas de implementação, deverão ser verificados como os controles são realizados e como os processos produtivos são influenciados. Os controles dos processos podem ser de malha fechada ou aberta, porém todos precisam de um parâmetro de referência. Esses parâmetros de referência devem ser ajustados para valores que possam manter o processo sob controle e respeitar os tempos e as condições de operação dos processos

adjacentes (anteriores e posteriores). Como a integração entre sistemas pode ajudar a manter o fluxo mais contínuo? O ponto principal é compreender os tempos de cada processo do sistema produtivo e ajustar os controles para manter o fluxo mais contínuo possível. O ajuste de controles se dá conhecendo as variáveis de medida e as respostas do sistema à alteração dessas variáveis.

E como o controle pode atenuar as diferenças entre projeto e implementação dos sistemas industriais? Sabemos que os controles podem ser ajustados para compensar as diferenças dos tempos e das variáveis de processo, mostrando onde são os pontos mais críticos para esses ajustes. Quando um sistema é automatizado, sua integração permite que todos os sistemas possam ser monitorados, com isso a análise a ser realizada deve buscar as variáveis que influenciam a interação entre os sistemas.

E se o chão de fábrica tiver mais de um sistema, como se deve realizar essa análise? Quando a integração é realizada, o ponto importante para se realizar a análise de mais de um sistema é verificar o sistema como um elemento que interage com outro. Nessa interação, as variáveis responsáveis pelo fluxo de trabalho e pela informação de um sistema e outro deverão ser controladas e monitoradas, e a análise com vários sistemas deverá considerar, como resultado final, o fluxo constante do sistema.

Esse tipo de análise é comum e constante nos sistemas produtivos, quando observado o elemento mais crítico do sistema, buscando sempre a otimização deste elemento e mantendo o fluxo contínuo. Ao realizar esta otimização, outro elemento aparecerá como o elemento mais crítico, sendo necessário realizar uma nova análise nesse ponto e implementando uma nova otimização, e assim sucessivamente, tornando o sistema produtivo mais eficiente.

Esse tipo de trabalho é o que os trabalhadores voltados aos sistemas produtivos costumam fazer com maior frequência.

Portanto, você pode compreender os controles e qual a sua atuação nos sistemas industriais observando as possibilidades na situação-problema apresentada.

### Avançando na prática

### Avaliação de demanda de sistema produtivo

### Descrição da situação-problema

Considere uma parte de um sistema produtivo em que uma alimentadora de chapas de aço alimenta uma cortadeira, a qual, por sua vez, alimenta de forma sequencial uma dobradeira; nessa sequência, nota-se que há uma quantidade máxima de chapas produzidas e todos os equipamentos utilizam controle numérico. Pretende-se aumentar essa quantidade e, portanto, foi solicitado a você que determine quais devem ser as medidas e o que deve ser considerado para o aumento necessário. Como você poderia resolver esse problema?

### Resolução da situação-problema

Primeiramente, deve-se verificar como ocorre a integração entre os elementos e se algum deles já atingiu a capacidade máxima de produção. Caso algum elemento tenha atingido, este será considerado o elemento crítico e, caso não houver nenhuma forma de otimização de velocidade de produção, os tempos de alimentação e transporte devem ser checados. Caso possa ser alterada sua capacidade de produção, por controle automatizado, as taxas produtivas poderão ser aumentadas, mas sempre respeitando a capacidade do elemento crítico. O controle pode, então, ser alterado para aumentar a taxa produtiva, mas analisando as variáveis entre os elementos.

No caso de não haver possibilidade de alteração do elemento crítico, mesmo com o controle ou o transporte, será necessária a verificação de alteração do próprio elemento para aumentar a capacidade produtiva do sistema.

### Faça valer a pena

**1.** As indústrias de processos executam suas operações de produção baseadas em quantidades variáveis de materiais, não havendo uma quantidade fixa de produtos. As indústrias de produção discreta possuem suas operações baseadas em quantidades fixas de materiais, e estes tendem a ser peças discretas e produtos finalizados.

Assinale a afirmação a seguir que descreve corretamente uma indústria de processos e uma indústria de produção.

- a) Indústria de processos: produção de água; indústria de produtos: transporte de soja.
- b) Indústria de processos: produção de gasolina; indústria de produtos: automóveis.
- c) Indústria de processos: produção de móveis; indústria de produtos: transporte de gás.
- d) Indústria de processos: produção de copos; indústria de produtos: produção de minérios.
- e) Indústria de processos: produção de vasos; indústria de produtos: produção de garrafas.
- **2.** Alguns requisitos se tornam necessários quando, em uma indústria, muitas máquinas precisam ser controladas. O aumento de máquinas acabou trazendo algumas vantagens em se utilizar o controle digital e, consequentemente, sua integração. O controle digital, ou por computador, pode suprir grande parte das opções de controle analógico tradicional.

Assinale a afirmação que descreve uma vantagem do uso de controle digital.

- a) Com o controle digital por computador, é possível executar algoritmos de controle com menor complexidade do que os executados nos modos de controle proporcional-integral-derivativos (PIDs).
- b) Os controladores digitais são conhecidos como controladores proporional-integral-derivativos.
- c) Os controladores digitais podem limitar o uso do controle, pois só lidam com sinais digitais.
- d) A possibilidade de editar os programas de controle.
- e) Os controladores digitais não podem ser integrados em maior número de máquinas além de duas.

- **3.** Com o desenvolvimento do microprocessador, tornou-se possível conectar vários computadores para compartilhar e distribuir o processamento e o trabalho do controle de processos. O termo sistema de controle distribuído, também chamado sistema digital de controle distribuído (SDCD), é usado para descrever essa configuração, a qual consiste nos seguintes componentes:
- I. Várias estações de controle de processo localizadas pela planta para controlar malhas individuais e dispositivos do processo.
- II. Uma central de controle equipada com estações com operador, na qual ocorre o controle supervisório da fábrica.
- III. Se uma falha ocorrer na central de controle, as estações locais de operador não assumem as funções da central de controle. Se uma estação local com operador falhar, outra estação não poderá assumir suas funções. IV. Todos os processos e as estações com operador interagem uns com os outros por meio da rede de comunicação, ou via de dados.

Das afirmações enumeradas, quais são corretas?

- a) I, II e IV.
- b) I, III e IV.
- c) Apenas a I.
- d) Apenas a III.
- e) Todas estão corretas.

### Seção 4.3

### Otimização de sistemas industriais

### Diálogo aberto

Nesta seção, serão vistos os conceitos de gargalo, integração entre sistemas industrias e sua otimização.

Considere que, após a implementação de um sistema automatizado industrial, verificou-se que o desempenho do sistema não proporcionou o que era esperado no projeto dele. Para resolver esse problema, você foi convocado para realizar a análise de todos os componentes dos sistemas ativos na empresa. Portanto, as análises para cada tipo de sistema, de forma separada, deverão ser realizadas, e os elementos que proporcionam a disparidade entre a diferença do projeto e do que está sendo executado deverão ter uma análise mais crítica de seu funcionamento.

O controle dos sistemas, a integração e a gestão deverão identificar os possíveis gargalos e realizar otimizações para reduzir o seu efeito ou até mesmo eliminá-lo. Para implementar essa avaliação, deverá ser desenvolvido um plano para saber quais critérios e processos de avaliação serão utilizados. Esse plano será utilizado para verificar os índices, a fim de mostrar alterações no desempenho do sistema industrial. Dessa forma, será possível realizar a avaliação e a verificação de existência de gargalos de produção. A partir de uma análise dos valores obtidos, os pontos críticos deverão ser apontados. A aplicação da integração entre os sistemas deverão ser pontos de estudo para verificar qual elemento contribui para a queda de desempenho deles.

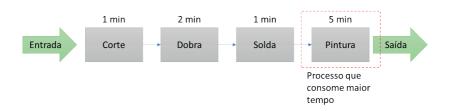
Como o controle dos sistemas industriais pode auxiliar para reduzir problemas de possíveis gargalos produtivos? Como pode ser realizada a otimização do sistema produtivo considerando, inclusive, os gargalos? Qual é a importância de se observar a integração entre os sistemas e qual é a sua influência na diminuição dos gargalos?

Vamos entender essas restrições e suas influências no fluxo dos sistemas de produção. Bons estudos!

### Não pode faltar

Os processos que formam um sistema produtivo, normalmente, são formados de tarefas diferenciadas, as quais consomem recursos de forma diferenciada, como tempo, matéria-prima, etc. O estudo dessas diferenças de consumo de recursos encontradas no consumo de recursos dos processos de um sistema produtivo determina quais dos processos mencionados podem consumir mais recursos. São considerados gargalos de produção os elementos que consomem recursos produtivos dentro de um sistema produtivo e que acabam por restringir o fluxo total desse sistema. Um exemplo para compreensão pode ser visto na Figura 4.10. Nela, dentre os processos, considerando os tempos necessários para uma peca ser produzida, pode-se observar que o processo de pintura acaba levando mais tempo para ser realizado. Neste caso, não adianta diminuir o tempo de dobra, por exemplo, para aumentar a taxa de produção se o processo de pintura continuar sendo o processo que consome mais tempo.

Figura 4.10 | Sistema produtivo de uma carcaça em chapa metálica de um aparelho eletrodoméstico



Fonte: elaborada pelo autor.

Além da identificação de restrições nos sistemas produtivos, o estudo dos gargalos existentes ajuda a determinar o desempenho do sistema e a estudar a sua melhoria. Esse estudo pode contar com o auxílio de modelos matemáticos, em especial o "modelo de gargalo", desenvolvido por Solberg (1981). Apesar da abordagem determinista, o que pode trazer

valores um pouco diferentes dos reais, o modelo de gargalo é simples e intuitivo e pode ser usado para estimativas iniciais dos parâmetros de projeto do sistema produtivo.



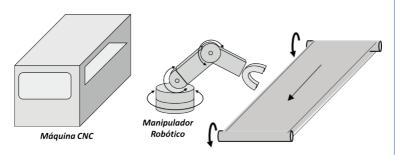
Algumas terminologias devem ser definidas para compreensão dos requisitos de cálculo:

**Mix de peças:** o mix, ou variedade dos tipos de peças ou produtos produzidos pelo sistema, é definido por  $P_j$ , que representa a fração da saída total de sistema. O mix dos vários tipos de peças ou produtos produzidos pelo sistema é descrito como j=1,2,...m, em que m é o número total de tipos de peças diferentes fabricadas pelo sistema. O somatório dos valores de  $P_j$  precisa ser igual a um (considerando um sistema produtivo que possui m peças sendo produzidas, supondo cada uma das peças **com a mesma importância de saída** e enumeradas em j=1,2,...m, cada peça representará  $P_j=1/m$ . Ao somarmos todas as proporções, teremos  $P_j=m/m=1$ ), conforme Equação 4.16.

$$\sum_{j=1}^{m} P_j = 1$$
 (Eq. 4.16)

Estações de trabalho e servidores: o sistema de produção possui um número  $\emph{n}$  de estações de trabalho diferentes. Na terminologia do modelo de gargalo, cada estação de trabalho pode ter mais de um servidor, o que significa simplesmente que é possível ter duas ou mais máquinas capazes de realizar a mesma operação. Os termos estações e servidores no modelo de gargalo é um modo de distinguir máquinas que realizam as principais operações de produção em uma célula e as máquinas que realizam as operações auxiliares. Para exemplificar, considere a Figura 4.11.

Figura 4.11 | Esquema de uma estação de trabalho para exemplificação de servidores e máquinas principais



Fonte: elaborada pelo autor.

Se observada a Figura 4.11, verifica-se que a esteira e o manipulador representam servidor, por trazer as peças a serem processadas e alocadas na máquina CNC (sendo esta a máquina principal).

Continuando as definições do modelamento, considere  $S_i$  o número de servidores da estação de trabalho i, em que i=1,2,...,n. Os servidores são considerados, no cálculo das estações, como elementos que demandam tempo de processamento do sistema.

Roteamento de processo: para cada peça ou produto, o roteamento de processo define a sequência de operações das estações de trabalho, na qual as operações são realizadas com os tempos de processamento associados.

O roteamento do processo inclui desde a operação de carga inicial do processamento do sistema até a operação de descarga final do processamento. Seja  $t_{ijk}$  o tempo de processamento, que é o tempo total que uma unidade de produção ocupa, sem contar qualquer espera na estação. Na notação para  $t_{ijk}$ , o i se refere à estação, j se refere à peça ou ao produto e k se refere à sequência de operações no roteamento de processo.

Por exemplo, considere que uma peça é produzida em uma máquina em que, dentre os vários processos, é obtido o tempo de uma determinada operação, portanto podemos dizer que a quarta operação

no plano de processo para a peça A é realizada na máquina 2 e leva 8,5 minutos; sendo, então,  $t_{2,44} = 8,5 \, \mathrm{min}$ .

**Sistema de manuseio de itens trabalhados:** o sistema de manuseio de material usado para transportar peças ou produtos dentro do sistema de produção pode ser considerado um caso especial de uma estação de trabalho. Para os cálculos, será designada como a estação n+1. O número de carregadores no sistema é parecido ao número de servidores em uma estação de trabalho regular. Portanto,  $\mathcal{S}_{n+1}$  pode ser o número de carregadores no sistema de manuseio.

**Tempo de transporte**: seja  $t_{n+1}$  o tempo médio de transporte necessário para mover uma peça de uma estação de trabalho para outra no roteamento do processo. Esse valor poderia ser calculado para cada transporte com base na velocidade do transporte e distâncias entre estações. Utilizar um tempo médio de transporte entre as estações, como visto na Seção 4.1, é comumente utilizado.

Frequência de operação: é a quantidade de vezes em que determinada operação é realizada para a manufatura de uma unidade a ser produzida, de peças ou de produtos. Como exemplo, podemos considerar um processo de inspeção que pode ser realizado a cada quatro unidades, portanto essa inspeção teria uma frequência de operação de 0,25. Seja  $f_{ijk}$  a frequência de operação para a operação k no plano de processo j na estação i.

A carga média de trabalho: para determinada estação, é um parâmetro operacional definido como o tempo médio total gasto na estação por peça e é calculada como mostra a Equação 4.17:

$$WL_i = \sum_j \sum_k t_{ijk} f_{ijk} P_j$$
 (Eq. 4.17)

Em que  $WL_i$  é a carga média de trabalho para dada estação i ( $WL_i$  possui unidade de tempo dado em minutos);  $t_{ijk}$  é o tempo de processamento para a operação k na sequência de processo j na estação i (unidade de  $t_{ijk}$  dado em minutos);  $f_{ijk}$  é a frequência de operação para a operação k na peça j na estação i; e  $P_j$  é a fração do mix de peças para o modelo de peça j.

Para o sistema de manuseio, conforme observado anteriormente, é um caso especial para um número de estações n+1. A carga de trabalho do sistema de manuseio é dada pelo tempo médio de transporte multiplicado pelo número médio de deslocamentos utilizados para completar o processamento de uma determinada peça. O número médio de deslocamentos é equiparado ao número médio das operações no roteamento de processo menos um:

$$n_t = \sum_i \sum_j \sum_k f_{ijk} P_j - 1$$
 (Eq. 4.18)

Em que  $n_r$  é o número médio de deslocamentos.

Com os fatores anteriores levantados, a carga de trabalho de um sistema de manuseio pode ser obtida pela Equação 4.19 a seguir:

$$WL_{n+1} = n_t t_{n+1}$$
 (Eq. 4.19)

Em que  $WL_{n+1}$  é a carga de trabalho do sistema de manuseio (minutos);  $n_t$  é o número médio de deslocamentos pela Equação (4.18); e  $t_{n+1}$  é o tempo de transporte médio por deslocamento (minutos).

Medidas importantes para avaliar o desempenho de um sistema de produção incluem a taxa de produção de todas as peças, a taxa de produção de cada tipo de peça, a utilização de diferentes estações de trabalho e o número de servidores ocupados em cada estação de trabalho. Essas medidas podem ser calculadas pela suposição de que o sistema está produzindo em sua máxima taxa possível, limitada pelo gargalo no sistema, que é a estação com a maior carga de trabalho ou que consome mais recursos do sistema.

A carga de trabalho por servidor é, simplesmente, a fração  $WL_i \ / \ s_i$  (carga de trabalho dividida pelo número de servidores)

para cada estação. Assim, o gargalo é identificado encontrando-se o valor máximo da relação entre todas as estações. A comparação precisa incluir o sistema de manuseio, já que ele pode ser o gargalo do sistema.

Diferenciando as equações para o caso da estação gargalo utilizando um asterisco, a máxima taxa de produção de todas as peças do sistema pode ser determinada como a relação de  $s^*$  por  $WL^*$ . Vamos nos referir a ela como a taxa máxima de produção, porque ela é limitada pela capacidade da estação gargalo, obtendo a Equação 4.20:

$$R_P^* = \frac{s^*}{WL^*}$$
 (Eq. 4.20)

Em que  $R_P$ \* é a taxa máxima de produção de todos os tipos de peças produzidas pelo sistema, determinada pela capacidade da estação gargalo (item/min); s\* é o número de servidores na estação gargalo; e WL\* é a carga de trabalho na estação gargalo (minuto/item).

O valor de  $R_p^{\,*}$  inclui peças de todos os tipos, produzidas no sistema e supondo que todas passem pela estação gargalo. As taxas de produção de peças individuais podem ser obtidas multiplicando-se  $R_p^{\,*}$  pelas respectivas frações do mix de peças.

$$R_{Pj}^* = P_j(R_P^*) = P_j \frac{s^*}{WL^*}$$
 (Eq. 4.21)

Em que  $R_{pj}$ \* é a máxima taxa de produção do tipo de peça j (item/min) e Pj é a fração do mix de peças para o tipo de peça j. A utilização média de cada estação de trabalho é dada pela proporção de tempo em que os servidores na estação estão trabalhando. Isso pode ser calculado como:

$$U_i = \frac{WL_i}{S_i}(R_p^*) = \frac{WL_i}{S_i} \frac{S^*}{WL^*}$$
 (Eq. 4.22)

Em que  $U_i$  é a utilização da estação i;  $WL_i$  é a carga de trabalho da estação i (minuto/item);  $s_j$  é o número de servidores na estação i; e  $R_{\scriptscriptstyle P}$ \* é a taxa de produção geral (item/min).

A utilização da estação gargalo é de cem por cento na  $R_P^{\,ullet}$ . Para obter a utilização média da estação, simplesmente calculamos o valor médio para todas as estações, incluindo o sistema de transporte.

O interesse desses cálculos é determinar o número de servidores ocupados. Todos os servidores na estação gargalo estão ocupados na máxima taxa de produção, mas os das outras estações estão ociosos parte do tempo. Os valores podem ser calculados como:

$$BS_i = WL_i(R_P^*) = WL_i \frac{s^*}{WL^*}$$
 (Eq. 4.23)

Em que  $BS_i$  é o número médio de servidores ocupados na estação i e  $WL_i$  é a carga de trabalho na estação i .

### **Exemplificando**

Considere um sistema de usinagem que consiste em uma estação de carga/descarga e duas estações de usinagem. A estação 1 é a estação de carga/descarga; a estação 2 realiza operações de fresamento e consiste em dois servidores (duas fresadoras CNC idênticas); a estação 3 possui um servidor que executa furação (uma furadeira CNC). As estações estão conectadas por um sistema de manuseio de peça que tem quatro carregadores. O tempo médio de transporte é de três minutos. O FMS produz duas peças, A e B. As frações do mix de peças e os roteamentos de processos para as duas peças são apresentados na Tabela 4.2 a sequir.

Tabela 4.2 | Roteamento de processos para as peças A e B

Peça j	Mix de Peças P <sub>j</sub>	Operação k	Descrição	Estaçãoi	Tempo de processo t <sub>ijk</sub>
А	0,4	1	Carga	1	4
		2	Fresamento	2	30
		3	Furação	3	10
		4	Descarga	1	2
В	0,6	1	Carga	1	4
		2	Fresamento	2	40
		3	Furação	3	15
		4	Descarga	1	2

Fonte: adaptada de Groover (2013, p. 459).

A frequência de operação  $f_{iik}$  é um para todas as operações.

### Determine:

- (a) a taxa máxima de produção do FMS;
- (b) as taxas de produção correspondentes a cada produto;
- (c) a utilização de cada estação;
- (d) o número de servidores ocupados em cada estação.

### Solução:

(a) Para calcular a taxa de produção, precisamos, primeiramente, calcular as cargas de trabalho em cada estação, **considerando e somando a carga de cada uma das peças**, de modo que identifiquemos a estação gargalo.

$$WL_{n+1} = n_t t_{n+1}$$

$$\begin{aligned} &PeçaA \\ &WL_{1A} = (4+2)(0,4)(1) = 2,4 \, \text{min} \\ &WL_{2A} = 30(0,4)(1) = 12 \, \text{min} \\ &WL_{3A} = 10(0,4)(1) = 4 \, \text{min} \\ &PeçaB \\ &WL_{1B} = (4+2)(0,6)(1) = 3,6 \, \text{min} \\ &WL_{2B} = 40(0,6)(1) = 24 \, \text{min} \\ &WL_{3B} = 15(0,6)(1) = 9 \, \text{min} \end{aligned}$$

$$WL_{1A} + WL_{1B} = 6 \min$$

$$WL_{2A} + WL_{2B} = 36 \min$$

$$WL_{3A} + WL_{3B} = 13 \min$$

O roteamento pelas estações para as duas peças é o mesmo:

 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ . Existem três deslocamentos, portanto  $\textit{n}_{t}$  é igual a 3.

$$WL_4 = 3(3)(0,4)(1) + 3(3)(0,6)(1) = 9 \min$$

A estação gargalo é identificada encontrando-se a maior relação  $WL_{i}$  /  $s_{i}$  .

Para a estação 1,  $WL_1 / s_1 = 6 / 1 = 6 \min$ .

Para a estação 2,  $WL_2 / s_2 = 36 / 2 = 18 \, \text{min}$ .

Para a estação 3,  $WL_3 / s_3 = 13/1 = 13 \min$ .

Para a estação 4 (o sistema de manuseio de peças),  $WL_4$  /  $s_4$  = 9 / 4 = 2,25 min ·

Como a taxa máxima ocorre na estação 2, ela é a estação gargalo que determina a máxima taxa de produção de todas as peças fabricadas no sistema.

$$R_P^* = \frac{s^*}{WL^*}$$

$$R_P^* = 2/36 = 0,05555 item / min = 3,33 itens / hora$$

(b) Para determinar a taxa de produção de cada produto, multiplique  $R_{\scriptscriptstyle P}$  \* pela sua fração do mix de peças respectiva.

$$R_P A^* = 3,333(0,4) = 1,333 item / h$$
  
 $R_P B^* = 3,333(0,6) = 2 itens / h$ 

(c) A utilização de cada estação pode ser calculada pela Equação 4.22:

$$U_i = \frac{WL_i}{S_i}(R_P^*)$$

$$U_1 = (6/1)(0,05555) = 0,333(33,3\%)$$

$$U_2 = (36/2)(0,05555) = 1(100\%)$$

$$U_3 = (13/1)(0,05555) = 0,722(72,2\%)$$

$$U_4 = (9/4)(0,05555) = 0,125(12,5\%)$$

(d) O número médio de servidores ocupados em cada estação é determinado pela Equação 4.23:

$$BS_i = WL_i(R_P^*)$$

$$BS_1 = 6(0,05555) = 0,333$$

$$BS_2 = 36(0,05555) = 2$$

$$BS_3 = 13(0,05555) = 0,722$$

$$BS_4 = 9(0,05555) = 0,5$$

A aplicação da metodologia de implementação de sistemas industriais é realizada para outros tipos de sistemas. Lembrando

as definições anteriormente obtidas, pode-se considerar o gargalo como um elemento que consome grande parte de recursos do sistema.

### Pesquise mais

O assunto de gargalos de produção é bem extenso e muito estudado, por isso um resumo de outros tipos de análise e formas de abordagem do sistema pode ser obtido em:

FERREIRA, Cintia da Paixão. Diagnóstico dos gargalos de um sistema produtivo da empresa b no segmento de acrílico: estudo de caso. 2015. Disponível em: <a href="https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/31222337.pdf">https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/31222337.pdf</a>>. Acesso em: 22 dez. 2017.

SANKHYA. **Infográfico:** Gargalos no sistema de produção. 2015. Disponível em: <a href="https://www.sankhya.com.br/infograficos/infografico-os-principais-gargalos-de-uma-linha-de-producao/">https://www.sankhya.com.br/infograficos/infografico-os-principais-gargalos-de-uma-linha-de-producao/</a>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

Os estudos realizados em sistemas industriais mostram a tendência de se utilizar sistemas flexíveis de produção (GROOVER, 2013). Esses sistemas podem realizar a produção de vários modelos de peças em uma mesma linha de produção e serem integrados para facilitar alterações na programação da produção.

Para ser considerado flexível, um sistema de manufatura precisa satisfazer vários critérios. A seguir, apresentamos quatro testes razoáveis de flexibilidade em um sistema de manufatura automatizado:

- **1. Teste da variedade de peças.** O sistema pode processar diferentes tipos de peças em um modo não lote?
- **2. Teste da mudança de programa.** O sistema pode aceitar imediatamente mudanças no programa de produção, ou seja, alterações no mix de peças e/ou nas quantidades?

- **3. Teste da recuperação de erros.** O sistema pode se recuperar tranquilamente de falhas de equipamento e paralisações, de modo que a produção não seja completamente interrompida?
- **4. Teste das novas peças.** Novos projetos de peça podem ser introduzidos no mix de produtos existentes com relativa facilidade?

Se a resposta a todas essas perguntas for 'sim' para determinado sistema de manufatura, então ele pode ser considerado flexível. Os critérios mais importantes são o (1) e o (2). Os critérios (3) e (4) são menos rigorosos e podem ser implementados em vários níveis. Na verdade, a introdução de novos projetos de peça não é considerada em alguns sistemas flexíveis de manufatura; esses sistemas são projetados para produzir uma família de peças, cujos membros são conhecidos antecipadamente.

### Otimização dos sistemas industriais

O principal requisito utilizado para a otimização de sistemas industriais é o estudo dos gargalos. A redução do tempo de ciclo de um elemento considerado gargalo em um sistema produtivo é uma mudança perceptível no desempenho de todo o sistema. Já uma melhoria em um elemento que não seja o elemento gargalo não tem a mesma percepção quando observado o sistema todo. Porém, a otimização dos sistemas industriais pode passar por uma melhoria no aproveitamento de todas as estações. O estudo dos gargalos do sistema de produção pode trazer algumas conclusões importantes:

- Para determinado mix de produtos ou peças, a taxa de produção total do sistema é, em última análise, limitada pela capacidade produtiva da estação gargalo, estação com a carga de trabalho máxima por servidor.
- Se as frações do mix de produtos ou peças puderem ser relaxadas, talvez seja possível aumentar a taxa de produção total do sistema, aumentando a utilização das estações que não são gargalo.
- O número de peças no sistema em qualquer momento deve ser maior que o número de servidores (máquinas de processamento) no sistema. Uma relação em torno de duas peças por servidor,

provavelmente, é o ideal, considerando que as peças sejam distribuídas por todo o sistema industrial para garantir que uma peça esteja esperando em cada estação. Isso é especialmente importante na estação gargalo.

- Se o número de itens em processo (número de peças no sistema) for mantido muito baixo, a taxa de produção do sistema é prejudicada.
- Se o número de itens em processo for deixado muito alto, então o tempo de manufatura será longo, sem melhoria na taxa de produção.
- Como uma primeira aproximação, o modelo de gargalo pode ser usado para estimar o número de servidores em cada estação (número de máquinas de cada tipo) para atingir uma taxa de produção geral especificada do sistema.



O estudo de gargalo nos sistemas produtivos interfere de forma direta no desempenho do sistema, portanto o que aconteceria se um gargalo fosse eliminado de um sistema produtivo? Existiria a possibilidade de haver um sistema produtivo sem gargalo? Se sim, como ele seria?

O vínculo entre tecnologias de manufatura e sistema produtivo estende-se ainda mais. Atividades atreladas com processo de transformação são integradas ao sistema produtivo. Outras atividades, como projeto e programação, podem ser integradas com as tecnologias de processamento de material.

Nesse contexto de integração, tem-se a manufatura integrada por computador (*Computer Integrated Manufacturing* - CIM), que pode ser entendida como "monitoramento baseado em computador e controle de todos os aspectos do processo de manufatura, baseado num banco de dados comum e comunicando por meio de alguma forma de rede de computadores" (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002, p. 198).

### Sem medo de errar

Considerando toda a avaliação realizada, percebe-se que o problema de um gargalo de produção é um dos principais problemas que influenciam diretamente o desempenho de um sistema produtivo. Portanto, no estudo de caso em que os dados da análise serão apresentados, a determinação dos elementos críticos será essencial para propor melhorias e melhorar o desempenho do sistema produtivo. Para essa análise, de posse dos dados obtidos, deve-se verificar a taxa de produção para cada elemento considerando o manuseio e os servidores. Com o cálculo de  $WL_i / s_i$  para cada elemento pode-se detectar qual é o elemento gargalo a partir do maior valor obtido nesse cálculo.

Com o cálculo da utilização de cada estação e do número de servidores ocupados é possível verificar se alguma parte do elemento gargalo abre a possibilidade de alteração de parâmetros para a diminuição de sua influência no desempenho do sistema.

O último questionamento levantado pela situação-problema a respeito de integração entre os sistemas, com a flexibilização deles, fica mais fácil realizar alterações de procedimentos e tempos de processo, ficando, dessa forma, mais fácil de implementar alguma alteração para a melhoria do desempenho do sistema produtivo.

Com os estudos realizados até aqui, você poderá analisar um sistema produtivo tendo em vista as capacidades e a possibilidade de integração dele. Esse requisito de integração é um ponto principal para o que é previsto como futuro dos sistemas produtivos, que é a flexibilização e a preparação para a indústria 4.0.

### Avançando na prática

### Alteração de tempos de processo

### Descrição da situação-problema

Considere uma empresa que possui cinco etapas para a fabricação de um determinado produto. Devido a um aumento

de demanda em um determinado período, decidiu-se por aumentar a taxa de produção de duas das cinco etapas, porém não surtiu a diminuição esperada para suprir essa nova demanda. Como responsável técnico na empresa, qual seria o problema dessa abordagem? Como deveria ser a abordagem para obter a melhor solução?

### Resolução da situação-problema

Considerando que foram melhorados os tempos de produção para a realização do aumento das taxas de produção de cada etapa, provavelmente não foi alterada a taxa de produção da etapa, que seria o gargalo do sistema, visto que não foi alcançado o objetivo de aumento de produção para atendimento de demanda. Facilmente, pode-se verificar essa condição calculando a relação  $WL_i \ / \ s_i$  e o maior valor obtido demonstrará onde deveria ter sido alterado o tempo de produção para realização da taxa necessária para suprir a demanda.

### Faça valer a pena

**1.** Os sistemas produtivos são formados por elementos que desempenham processos que, quando somados, formam todo o sistema. Esses processos possuem suas peculiaridades e podem apresentar diferenças que influenciam no fluxo produtivo do sistema. O estudo dessas diferenças determina qual dos processos mencionados podem consumir mais recursos dos processos produtivos.

Qual é a definição de gargalo de produção?

- a) É o elemento do sistema que possui o menor tempo de processamento.
- b) É o principal elemento de um sistema.
- c) É o elemento que não pode ser substituído por nenhum outro.
- d) É o elemento que tem o menor consumo de tempos do sistema.
- e) É o elemento que consome a maior parte dos recursos de um sistema.

**2.** Dentre as terminologias existentes para compreensão do cálculo do modelo de gargalo, existem as terminologias que definem alguns parâmetros necessários para compreensão dos desenvolvimentos e das possíveis análises a serem realizadas com a metodologia de resolução do modelo.

Assinale a alternativa que mostra parte dessas terminologias.

- a) Estações de trabalho e serviço; roteamento de processo; mix de transporte e estações de serviço.
- b) Mix de produção; estações de serviço; caminho do processo; e sistema de transporte.
- c) Mix de peças; estações de trabalho; roteamento de processo; e sistema de manuseio de itens.
- d) Mix de peças; caminho do processo; sistema de manuseio; e mix de produção.
- e) Estações de trabalho e serviço; roteamento de processo; mix de caminhos; e estações de produção.
- **3.** Consideradas as possibilidades de otimização de um sistema produtivo, com base na metodologia de estudo do modelo matemático de gargalo de produção, existem algumas conclusões que são importantes, baseadas nos estudos que podem ser realizados.

Assinale a alternativa que representa uma dessas conclusões.

- a) As frações do mix de produção não podem ser alteradas para aumento da taxa de produção.
- b) O número de itens em processo deve ser sempre menor para manter a taxa de produção.
- c) O número de itens de processo deve ser bem alto para melhorar o tempo de manufatura do processo.
- d) A taxa de produção de um sistema é limitada pela capacidade produtiva da estação gargalo.
- e) O modelo de gargalo pode ser utilizado para determinar com exatidão o número de servidores do sistema produtivo.

### Referências

ANDRADE, Gabryella et al. A Pirâmide da Automação Industrial, seus níveis hierárquicos de controle e trabalho, tipos de propagação de erros e malhas de controle. 2016. Disponível em: <a href="http://jomar.pro.br/wp/wp-content/uploads/2016/09/Artigo-Pirâmide-da-Automação-Industrial-Tipos-de-erros-e-Malhas-de-controle.pdf">http://jomar.pro.br/wp/wp-content/uploads/2016/09/Artigo-Pirâmide-da-Automação-Industrial-Tipos-de-erros-e-Malhas-de-controle.pdf</a>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

ANTUNES, Junico et al. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. 328p.

FERREIRA, Cintia da Paixão. Diagnóstico dos gargalos de um sistema produtivo da empresa b no segmento de acrílico: estudo de caso. 2015. Disponível em: <a href="https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/31222337.pdf">https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/31222337.pdf</a>>. Acesso em: 22 dez. 2017.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. São Paulo. Bookman. 2013.

JACQUES NETO, Mário Vieira. **Perdas de produtividade devido à produção de peças defeituosas:** um estudo de caso no setor de montagem em uma indústria fabricante de máquinas têxteis. 2006. Disponível em: <a href="https://www.uninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/viewFile/91/65">https://www.uninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/viewFile/91/65</a>>. Acesso em: 1º dez. 2017.

SANKHYA. **Infográfico:** gargalos no sistema de produção. 2015. Disponível em: <a href="https://www.sankhya.com.br/infograficos/infografico-os-principais-gargalos-de-uma-linha-de-producao/">https://www.sankhya.com.br/infograficos/infografico-os-principais-gargalos-de-uma-linha-de-producao/</a>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

SANTOS, Guilherme. **A pirâmide da Automação Industrial**. 2013. Disponível em: <a href="https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial">https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial</a>. Acesso em: 20 dez. 2017.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SOLBERG, J. J. Capacity planning with a stochastic workflow model. **AIIE Transactions**, v. 13, n. 2, p.116-22, 1981.

