

# Notas de Apoio a Sistemas de Automação

## Introdução aos Sistemas de Automação

**Paulo Leitão**

URL: <http://www.ipb.pt/~pleitao>

E-mail: [pleitao@ipb.pt](mailto:pleitao@ipb.pt)



*Paulo Leitão, Introdução*

1

## Introdução à Automação Industrial

- Incremento das exigências do mercado:
  - redução de preços dos produtos;
  - melhor qualidade dos produtos;
  - rapidez de resposta a novas tendências do mercado;
  - maior produtividade
  - flexibilidade do sistema produtivo;
  - diversidade de oferta, etc.
- Produtividade versus Competitividade
- Tecnologia relacionada com a aplicação de sistemas electrónicos, mecânicos e baseados em computador para operar e controlar um processo produtivo.
- Actuação no sistema organizativo da empresa e o seu sistema produtivo.

*Paulo Leitão, Introdução*

2

## Tipos de Automação

- Fixa

- Elevado investimento inicial.
- Elevadas taxas de produção.
- Inflexível a acomodar alterações do produto.

- Programável

- Elevado investimento em equipamento de uso geral.
- Baixas taxas de produção relativamente à automação fixa.
- Flexibilidade para lidar com alterações na configuração do produto.
- Adequada à produção por lotes.

- Flexível

- Elevado investimento em equipamento tecnologicamente sofisticado.
- Produção contínua de misturas variadas de produtos.
- Taxas de produção médias.
- Flexibilidade para lidar com variações da concepção do produto.

*Paulo Leitão, Introdução*

3

## Contextualização do Domínio de Produção

- A indústria de produção é e continuará a ser no futuro um dos principais geradores de riqueza na economia mundial.

- Existem 26 milhões de empresas na UE, sendo que:

- $\approx 10\%$  estão relacionados com a indústria da produção,
- representando  $\approx 22\%$  do PNB da UE.

*Fonte: ManuFuture, A Vision for 2020, European Commission, November 2004.*

- Em 2001 a indústria de produção:

- Na UE criou um valor acrescentado bruto de 33,4%, e
- empregava 28,4 milhões de pessoas, (i.e. 70% do sector da indústria e 29% considerando todas as actividades económicas).
- em Portugal, empregava 910 mil pessoas, i.e. 68,2% do sector da indústria e 32,3% considerando todas as actividades económicas.

*Fonte: Eurostat.*

*Paulo Leitão, Introdução*

4

## Definição: Produção

- Uma empresa de produção é uma organização, cujo negócio é focado no fabrico de produtos.

### Produção:

*processo de transformação que converte matéria-prima ou produtos semi-acabados em produtos finais e que possuem valor no mercado, usando operários e maquinaria, e usualmente executada sistematicamente.*

*Fonte: M. Groover, "Automation, Production Systems and CIM", Prentice-Hall, 1987.*

## Tipos de Indústrias

- Distinção de acordo com o tipo de produtos que produzem:
  - **Indústria de manufactura** (ou fabrico discreto),  
identificadas com a produção de itens discretos que podem individualmente ser reconhecidos, contados e definidos em forma, peso e características, como por exemplo os casos da indústria automóvel, têxtil, electrodomésticos, aeronáutica e moldes;
  - **Indústria de processo**,  
identificadas com a produção de bens envolvendo um processo de produção contínuo, como por exemplo os casos da indústria de produção de energia, papel, petroquímica e cimenteira.
- Cada uma destes tipos de indústria conduz a diferentes solicitações técnicas.

## Tipos de Produção (de acordo com o volume)

- **Produção *job shop***
  - Produção de pequenas quantidades, frequentemente uma unidade de cada produto, de uma grande variedade de produtos;
  - Satisfação de encomendas específicas;
  - Equipamentos configuráveis.
- **Produção por lotes**
  - Lotes de tamanho médio do mesmo produto, que tem uma procura regular mas não elevada;
  - Capacidade de produzir para armazenamento;
  - Produção de itens como mobília, têxteis, etc.
- **Produção em massa**
  - Produção especializada de um (eventualmente alguns) produto que possui uma procura elevada;
  - Elevadas taxas de produção;
  - Produção de itens como lâmpadas, parafusos, etc.

Paulo Leitão, Introdução

7

## Tipos de Produção (de acordo com o *layout*)

- ***Layout* de posição fixa**
  - O produto encontra-se imóvel devido ao seu tamanho ou dimensões, e as máquinas e operadores movimentam-se à volta do produto.
  - Exemplos: Construção de navios e aviões.
- ***Layout* de fluxo de produto**
  - As máquinas estão organizadas através do fluxo de produto, de forma a minimizar o transporte entre as máquinas.
  - Este tipo de layout é adequado ao tipo de produção em massa, apresentando no entanto pequena flexibilidade nas mudanças de produtos.

Paulo Leitão, Introdução

8

## Tipos de Produção (de acordo com o *layout*) (2)

### • *Layout de processo*

- As máquinas estão organizadas de acordo com o processo de fabrico. As partes visitam as células, de acordo com a sequência de operações do produto.
- Este tipo de layout é adequado para os tipos de produção *job shop* e por lotes, apresentando maior flexibilidade e menor investimento.
- Baixa eficiência no transporte de materiais e elevada complexidade dos sistemas de planeamento e controlo.

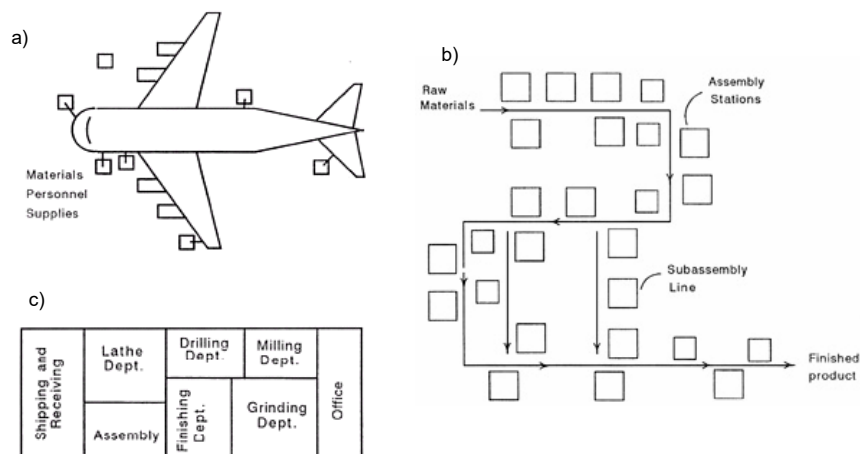
### • *Tecnologia de Grupo*

- Combina a eficiência do layout de produto e a flexibilidade do layout de processo.
- Caracterizado pela existência de pequenas células autónomas que permite reduzir o tempo de transporte de material e o investimento em equipamento e os tempos de setup.

Paulo Leitão, Introdução

9

## Exemplos de *Layouts* Produtivos



Paulo Leitão, Introdução

10

## Balanceamento de Linhas

- Critérios para a construção de um *layout*:
  - minimização do custo de manuseamento de materiais;
  - minimização da distância percorrida pelos operadores;
  - maximização da proximidade de departamentos relacionados.
- Restrições:
  - limitação de espaço;
  - necessidade de manter localizações fixas para certos departamentos;
  - regulamentos de segurança e regulamentos relativos a incêndios.

## Balanceamento de Linhas (2)

*Como otimizar a definição de postos de trabalho ao longo de uma linha de fabrico?*

- O balanceamento de linhas corresponde à distribuição das actividades sequenciais por postos de trabalho.
- Pressupostos:
  - Elevada utilização de trabalho e de equipamentos.
  - Minimização do tempo de vazio.

## Definições e Conceitos

$$\sum T_i$$

Tempo total necessário à produção de uma unidade e que corresponde à soma do tempo de cada operação.

$$N_{\min} = \frac{\sum T_i}{C}$$

Corresponde ao número mínimo de estações necessárias à linha de produção (o resultado deve ser arredondado para a unidade imediatamente superior).

$$\text{Eficiência (E)} = \frac{\sum T_i}{N C}$$

Eficiência da solução adoptada. O valor  $N \cdot C$  é o tempo dispendido com cada unidade, incluindo os tempos de paragem.

$$\text{Tempo de Ciclo} = C = \frac{\text{tempo disponível por período}}{\text{número de peças pretendidas por período}}$$

O tempo de ciclo corresponde ao tempo entre a produção de unidades sucessivas à saída da linha.

*Paulo Leitão, Introdução*

13

## Método de Análise

- Procedimento para análise balanceamento de linhas:
  - Determinar o número de estações e o tempo disponível em cada uma delas;
  - Agrupar as tarefas individuais, formando grupos para cada estação;
  - Avaliar a eficiência do agrupamento escolhido.
- A solução está em agrupar as actividades de tal forma que os tempo de produção em cada estação correspondam ao tempo de ciclo.
- Heurística para efectuar o agrupamento de operações:
  1. Ordenar as operações por ordem decrescente de tempo de operação.
  2. Atribuir operações a uma estação, até perfazer o tempo de ciclo, respeitando as precedências das operações.
  3. Repetir o ponto 2. para todas as estações.

*Paulo Leitão, Introdução*

14

## Exercício de Aplicação

A execução de um produto requer 12 operações, de acordo com a tabela que se segue. Para satisfazer as previsões de vendas é necessário produzir 420 unidades por dia, sabendo que em cada dia funciona um turno de 7 horas.

Operação	Tempo Operação	Operações Precedentes
1	0,2	-
2	0,4	-
3	0,7	1
4	0,1	1, 2
5	0,3	2
6	0,11	3
7	0,32	3
8	0,6	3, 4
9	0,27	6, 7, 8
10	0,38	5, 8
11	0,5	9, 10
12	0,12	11

- Determine o tempo de ciclo.
- Calcule o número mínimo de estações.
- Faça o balanceamento da linha de produção.
- Determine a eficiência atingida.

Paulo Leitão, Introdução

15

## Resolução (1)

- Inicialmente é necessário calcular o tempo de ciclo:

$$C = \frac{7 * 60}{420} = 1 \text{ min}$$

- Sabendo o tempo de ciclo é possível calcular o número de estações que iremos considerar:

$$N = \frac{\sum T_i}{C} = \frac{4}{1} = 4$$

- Logo o número mínimo de estações necessárias é de 4.

Paulo Leitão, Introdução

16



## Resolução (2)

- Ordenação das operações por ordem decrescente do tempo de operação:

Operação	Tempo Operação	Operações Precedentes
3	0,7	1
8	0,6	3, 4
11	0,5	9, 10
2	0,4	-
10	0,38	5, 8
7	0,32	3
5	0,3	2
9	0,27	6, 7, 8
1	0,2	-
12	0,12	11
6	0,11	3
4	0,1	1, 2

Paulo Leitão, Introdução

17

## Resolução (3)

- Aplicando a heurística estudada,

Estação	Operação	Tempo de Operação	Soma dos Tempos por Estação
1	2	0,4	
	5	0,3	
	1	0,2	
	4	0,1	1,0
2	3	0,7	
	6	0,11	0,81
3	8	0,6	
	10	0,38	0,98
4	7	0,32	
	9	0,27	0,59
5	11	0,5	
	12	0,11	0,62

- Calculando a eficiência,

$$E = \frac{\sum T_i}{NC} = \frac{4}{5 * 1} = 0,8$$

Paulo Leitão, Introdução

18

## Exercícios

A montagem de um produto exige 11 operações (tabela anexa). Para satisfazer as previsões de vendas é necessário produzir 180 unidades por cada turno de 450 minutos.

Operação	Tempo Operação	Operações Precedentes
A	1,1	-
B	1,5	A
C	0,3	B, E
D	1,3	-
E	1,7	D
F	0,5	E
G	0,7	-
H	0,2	G
I	0,5	C, F
J	1,1	F, H
K	0,4	I, J

- Desenhe o diagrama de precedências.
- Determine o tempo de ciclo.
- Calcule o número mínimo de estações.
- Faça o balanceamento da linha de produção.
- Determine a eficiência atingida.

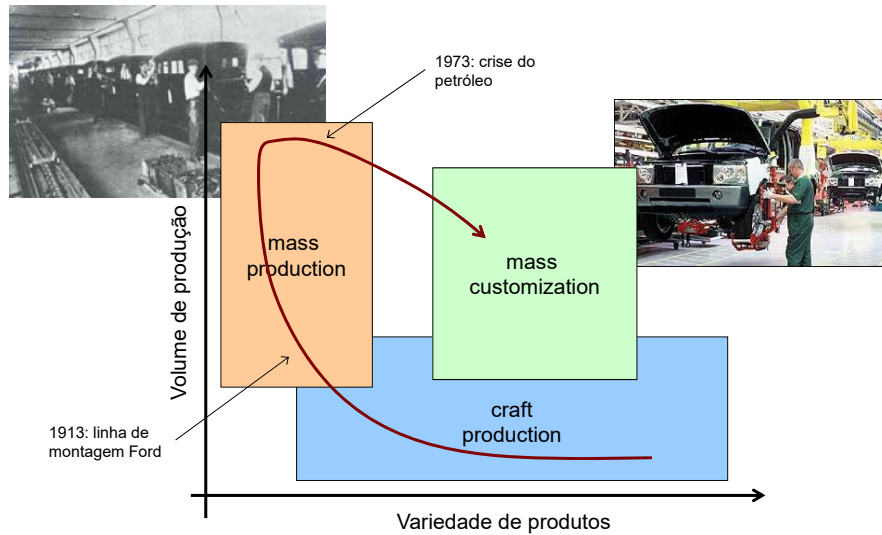
## Exercícios (2)

Considere uma empresa que produz um dado artigo, através de um conjunto de operações com as precedências indicadas na tabela (trabalho diário de 8 h).

Operação	Tempo Operação	Operações Precedentes
A	70	-
B	80	A
C	40	A
D	20	A
E	40	A
F	30	B, C
G	50	C
H	50	D, E, F, G

Defina o melhor balanceamento da linha de produção, e calcule a sua eficiência.

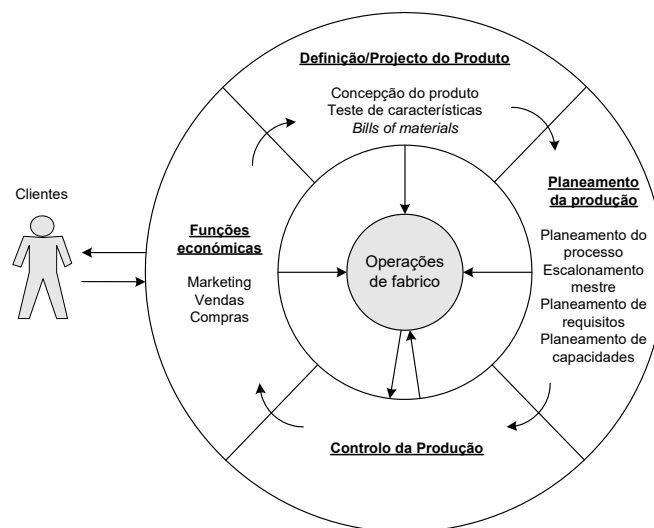
## Evolução dos Paradigmas de Produção



Paulo Leitão, Introdução

21

## Actividades de Fabrico



Paulo Leitão, Introdução

22

## Funções Económicas

- Principal meio de comunicação com o cliente e incluem, entre outros, as funções de finanças, marketing, vendas, e compras.
- Departamento de **Finanças** e **Recursos Humanos**:
  - Responsável pelo fluxo financeiro da empresa;
  - Responsável pela gestão de activos em termos de recursos humanos.
- Departamento de **Vendas e Logística**:
  - Responsável por garantir a entrega e distribuição dos produtos aos clientes.

## Funções Económicas (2)

- Departamento de **marketing** é responsável por:
  - Promover a imagem da empresa (por vezes deverá ter a necessidade de "convencer" o mercado a comprar os seus produtos).
  - Identificar as tendências de mercado de forma a criar novos produtos
- Departamento de **compras**:
  - Responsável pela gestão de materiais, ferramentas e stocks;
  - Objectivos: redução de stocks, a capacidade de entrega dentro dos prazos, etc..
- Uma ordem para produzir um produto é tipicamente:
  - Proveniente de uma encomenda realizada pelo cliente
  - Uma ordem baseada na previsão da procura futura.

## Definição/Projecto do Produto

- Concepção dos produtos que o departamento de marketing entende que a empresa deve comercializar.
- **Modelação geométrica**
  - Concepção do modelo de engenharia do produto;
  - Utilização de ferramentas *Computer Aided to Design* (CAD).
- **Análise e verificação de engenharia**
  - Análise e avaliação das características mecânicas, geométricas, etc., efectuadas sobre o modelo matemático criado através do desenho;
  - Utilização de ferramentas *Computer Aided Engineering* (CAE).
- **Suporte indirecto às funções de produção**
  - Elaboração de estimativas de custos, geração automática de programas NC e RC, assistência ao planeamento da produção e inventários, etc.;
  - Utilização de ferramentas *Computer Aided Manufacturing* (CAM).

Paulo Leitão, Introdução

25

## Planeamento da Produção

- Planeamento da produção a longo e médio prazo.
- Efectua o planeamento usando como **entradas**:
  - As concepções dos produtos;
  - As encomendas que possui e suas datas de entrega.
- Informação de **saída** do planeamento:
  - Quando se vai produzir cada um dos produtos;
  - Quando as partes deverão estar disponíveis para a produção.
- Esta actividade **inclui**:
  - Planeamento do processo;
  - Escalonamento mestre;
  - Planeamento de requisitos de materiais;
  - Planeamento de capacidades.

Paulo Leitão, Introdução

26

## Planeamento da Produção (2)

- **Planeamento do processo**

- Definição das sequências de operações e dos equipamentos necessários à execução do produto;
- Utilização de ferramentas *Computer Aided Process Planning* (CAPP).

- **Escalonamento mestre**

- Compreende a lista de produtos a serem produzidos, as datas em que devem ser entregues e em que quantidades.

- **Planeamento de requisitos de materiais (MRP)**

- Planeamento dos componentes individuais e sub-produtos que constituem o produto final, para que estejam disponíveis quando forem precisos.

- **Planeamento de capacidades**

- Planeamento de recursos para produzir os produtos, tendo em atenção a capacidade de produção da fábrica.

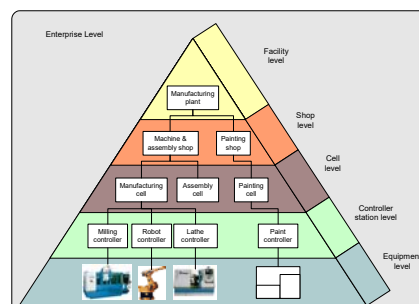
Paulo Leitão, Introdução

27

## Controlo da Produção

- Relacionado com a gestão e supervisão das operações físicas na fábrica.
- Esta actividade interage nos dois sentidos com as operações de fabrico.
- Identificação de **controlo a vários níveis**:

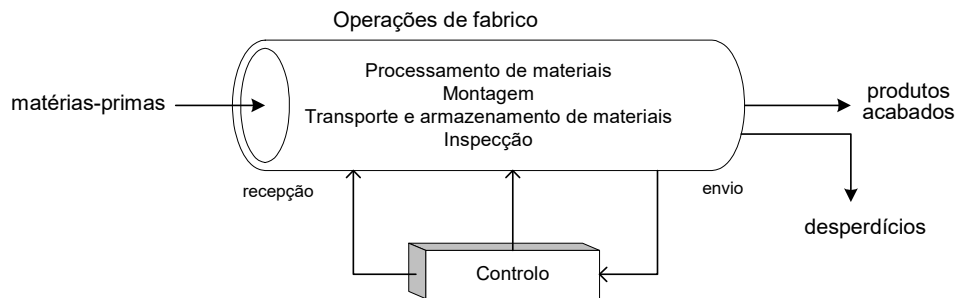
- Controlo da fábrica
- Controlo da célula
- Controlo de equipamentos
- Controlo de sensores e actuadores



Paulo Leitão, Introdução

28

## Funções de Fabrico



Paulo Leitão, Introdução

29

## Funções de Fabrico (2)

### • Processamento de materiais

- Transformam o produto de um estado de acabamento para um outro estado de acabamento.
- Não são adicionados ou montados outros materiais ou componentes, sendo utilizada energia (por exemplo, mecânica ou eléctrica) para mudar a forma do componente, remover material, alterar as propriedades físicas, etc..
- As máquinas de ferramentas são os dispositivos de automação tipicamente utilizados neste tipo de operações.

### • Montagem

- Juntar um ou mais componentes discretos, usando por exemplo parafusos ou afins, rebites, processos de aquecimento e soldadura.
- Tipicamente, os manipuladores, robôs e mesas de montagem são utilizados neste tipo de operações.

Paulo Leitão, Introdução

30

## Funções de Fabrico (3)

### • Transporte e armazenamento de materiais

- Transporte dos produtos entre máquinas, e no armazenamento temporário enquanto se aguarda pela execução de operações de processamento, montagem ou inspecção. Atenção ao tempo de fabrico.
- Os dispositivos de automação típicos utilizados neste tipo de operações são os AGVs, tapetes rolantes e armazéns automáticos.

### • Inspecção

- Verificar e determinar se um determinado produto obedece às especificações previstas (controlo de qualidade).
- Os sistemas de visão artificial são exemplos típicos de componentes que executam este tipo de operações.

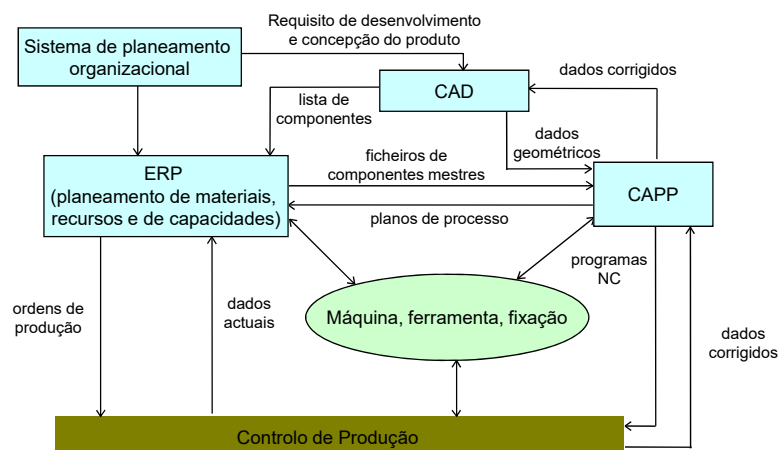
### • Controlo

- Controlo e regulação das actividades físicas, incluindo a regulação de processos locais de fabrico e a gestão ao nível da planta fabril.

Paulo Leitão, Introdução

31

## Interligação entre as Várias Actividades



Paulo Leitão, Introdução

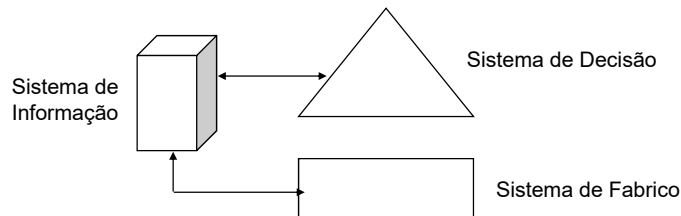
32



## Modelo Conceptual do Sistema de Produção

### • Sistema de Decisão

- Envolve tomadas de decisão do tipo: o quê, quando, como, por quem produzir.



### • Sistema de Informação

- Disponibiliza a informação entre os SD e o SF: ordens (SD → SF) e estado (SF → SD).

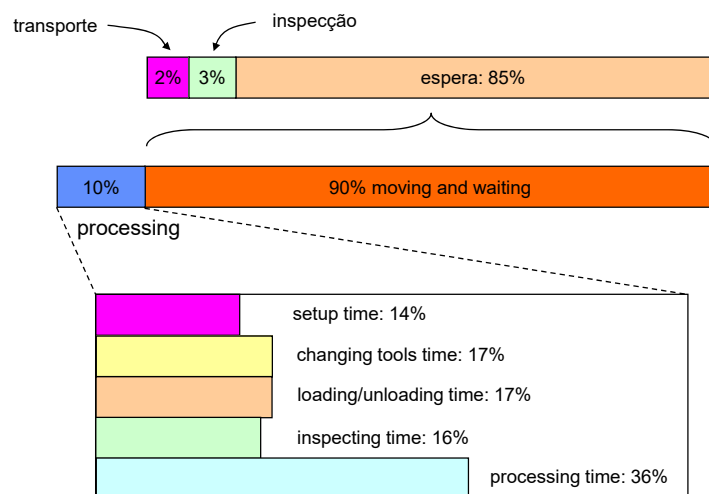
### • Sistema de Fabrico

- Sistema físico e todo o sistema que comanda o sistema físico.

*Paulo Leitão, Introdução*

33

## Tempo de Fabrico



*Paulo Leitão, Introdução*

34

## Tempos de Processamento e Transporte

- Processamento

- Tempo de maquinação pelos dispositivos industriais;
- Tempo de manipulação do produto.
- Formas de redução deste tempo:
  - Automatização das máquinas de processamento, como seja a utilização de máquinas de controlo numérico.
  - Utilização de robôs industriais nas operações repetitivas.

- Transporte

- Todos os transportes de materiais entre as várias máquinas ou células para processamento.
- Formas de redução deste tempo:
  - Escolha de um layout adequado à produção desejada.
  - Utilização de mecanismos automatizados no transporte dos materiais.

Paulo Leitão, Introdução

35

## Tempo de Espera

- O tempo de espera é aproximadamente de 85% do tempo total de fabrico e engloba:
  - O tempo que os materiais estão em *buffers* à espera que sejam requisitados.
  - O tempo que os materiais estão à espera que as máquinas fiquem livres.
  - O tempo destinado a setups das máquinas, necessário para a alteração da configuração das máquinas para a produção que se segue.

Paulo Leitão, Introdução

36

## Cálculo do Tempo de Fabrico

- Cálculo do MLT (Manufacturing Lead Time):

T <sub>su i</sub>	tempo de setup da máquina i
T <sub>o i</sub>	tempo de operação na máquina i
T <sub>no</sub>	tempo de não operação (manipulação, armazenamento, inspecção, etc.)
n <sub>m</sub>	número de operações (máquinas)
Q	tamanho do lote (número de produtos agrupados no lote)

- O cálculo do MLT é dependente do tipo de produção: Lotes, Job Shop e Massa.

## Produção por Lotes (batch)

- O tempo total de processamento é a soma de todos os tempos de operação.
- Como o lote possui Q peças, então o tempo de cada operação será Q\*T<sub>o i</sub>.

$$M L T = \sum_{i=1}^{n_m} (T_{su_i} + Q T_{o_i} + T_{no_i})$$

## Produção do tipo Job Shop e em Massa

- Produção do tipo Job Shop

Neste tipo de produção, o lote é unitário, logo  $Q = 1$ .

$$M L T = \sum_{i=1}^n (T_{su_i} + T_{o_i} + T_{no_i})$$

- Produção em Massa

O MLT é a soma dos tempos de transferência dos produtos entre estações e pela soma de cada um dos tempos de operação.

$$M L T = n_m (T_{transf} + m a i o r T_o)$$

sendo o  $T_{transf}$  o tempo de transferência do produto entre estações de trabalho.

*Paulo Leitão, Introdução*

39

## Exercícios (1)

1. Uma peça é produzida em lotes de 100 unidades e requer uma sequência de 8 operações na fábrica. O tempo médio de setup é de 3 horas e o tempo médio de operação por máquina é de 6 minutos. O tempo médio de não operação, devido a manipulações e inspeções é de 7 horas. Quantos dias demora a produzir um lote assumindo que a fábrica opera 8 horas por dia.
2. Uma média de 20 novas ordens de fabrico são iniciadas mensalmente numa fábrica. Em média, cada ordem consiste em 100 peças a serem maquinadas em 10 máquinas. O tempo de operação por máquina é de 15 minutos. O tempo de não operação é em média de 8 horas e o tempo por ordem de fabrico é de 4 horas. A fábrica possui 25 máquinas.

*Paulo Leitão, Introdução*

40

## Exercícios (2)

3. Considere uma fábrica produzindo em *one-of-a-kind*. Para realizar os produtos é necessário a execução de 10 operações.

Actualmente, cada máquina convencional apresenta um tempo de maquinação de 0,5 h, tempo de manipulação de 0,3 h, tempo de troca de ferramenta de 0,2 h, tempo de setup de 5 h e tempo de não operação de 12 h.

A direcção da fábrica está a pensar em introduzir uma máquina nova, que realiza todas as operações em apenas um setup, com as seguintes características: tempo de setup de 10 h, tempo de não operação de 12 h, tempo de maquinação de 5 h ( $0,5 \times 10$ ), tempo de troca de ferramenta de 2 h ( $0,2 \times 10$ ) e tempo de manipulação de 1 h.

Analise se a introdução desta nova máquina traz vantagens para a empresa.

*Paulo Leitão, Introdução*

41

## Exercícios (3)

4. Um robô realiza a carga e descarga de uma máquina CNC. A sequência de operações é:

- carga da peça na máquina (5,5 s);
- maquinação (33,0 s);
- robô retira a peça da máquina (4,8 s);
- robô volta à posição de repouso (1,7 s).

No fim de cada 50 peças é necessário trocar as ferramentas da máquina, que demora 3 minutos.

Calcule o MLT.

*Paulo Leitão, Introdução*

42

## Conceitos Associados aos Sistemas de Produção

---

- **Setup**
  - Sequência de operações necessárias para alterar a configuração de um recurso ou célula, de modo a produzir um novo tipo de produto.
- **Produtividade**
  - Representa o que se produz relativamente ao que se consome, ou seja,
  - produtividade = unidades produzidas / bens consumidos.
- **Manufacturing Lead Time (MLT)**
  - Tempo total necessário para processar um produto.
- **Mean Time Between Failures e Mean Time to Repair**
  - Tempo médio entre falhas e Tempo médio para realizar as reparações após a ocorrência de falhas, respectivamente.
- **Work-in-process (WIP)**
  - Quantidade de produto, presente na fábrica num determinado instante, que está a ser processada ou está entre operações de processamento.