

Introdução aos Sistemas de Produção

Por uns momentos imagine como seria a vida onde, para além das famílias, não existisse mais nenhum tipo de grupos organizados de pessoas para fornecer os produtos de que precisamos no dia a dia. Esta suposição apresentada por Dilworth (1992) pretende mostrar a importância das organizações na nossas vidas. Neste caso, cada família teria de produzir as suas próprias refeições, fazer as suas roupas de materiais que teriam que extrair da natureza, tratar da educação dos filhos, deslocar-se a pé ou a cavalo que teriam que domesticar e manter, cuidar da sua própria saúde, construir a sua própria casa e os móveis. Numa sociedade assim não haveria telefone, televisão, jornais, livros, etc.. Já imaginou quanto tempo necessitaria para fazer o seu próprio automóvel? A que preço ficaria tal automóvel? E a sua própria televisão? As empresas são organizações especializadas em produzir produtos para o nosso consumo, conseguindo em geral fazê-lo com grande eficiência e eficácia.

1. Classificação de Sistemas de Produção

Muitos tipos de classificações podem ser usados nos sistemas produtivos. No que diz respeito ao tipo de produtos, podemos dizer que há duas grandes classes: (1) sistemas produtivos de bens e (2) sistemas produtivos de serviços. É claro que haverá sistemas produtivos de bens que poderão ser também classificados de sistemas produtivos de serviços. É o caso de um restaurante onde a confecção dos diversos pratos é claramente a produção de um bem enquanto que uma grande parte das outras tarefas do restaurante fazem parte da produção de um serviço. A classificação dos sistemas produtivos não é nem simples nem universal. Qualquer que seja a vertente em que a classificação é orientada haverá sempre alguns sistemas produtivos aos quais o sistema de classificação usado é inadequado.

De uma maneira geral as classificações encontradas na bibliografia são orientadas para sistemas de produção de bens, é o caso da classificação dos sistemas produtivos de acordo com as quantidades produzidas do produto (Groover 1987). Segundo este autor há três tipos básicos de produção:

- a) Produção em oficina
- b) Produção em lotes
- c) Produção em massa

A produção em oficina é orientada para produção de uma grande variedade de produtos sendo cada um deles produzido em muito pequenas quantidades. Por outro lado na produção em massa há uma reduzida variedade de produtos sendo cada produto produzido em enormes quantidades. Entre estes dois extremos temos a produção em lotes onde se produz alguma variedade de produtos em quantidades relativamente pequenas. A evolução do mercado e da tecnologia tem levado a uma diminuição das quantidades a produzir de cada produto e ao aumento da variedade de produtos a serem requeridos pelo mercado. Uma grande parte dos produtos que eram no passado produzidos em massa, são hoje produzidos em lotes. Apesar desta tendência, continua a haver contudo alguns produtos, tais como a gasolina e o cimento, que continuam a ser produzidos segundo os princípios da produção em massa.

Outros tipos de classificação são apresentados por Hitomi (1979) sendo:

- a) Produção por encomenda e produção para inventário. Este tipo de classificação prende-se com a geração das ordens de produção. No primeiro caso as ordens de produção estão directamente ligadas com as encomendas dos clientes e no segundo caso estão ligadas apenas com a forma de gestão de produção definida. A grande diferença entre estes dois tipos é a incerteza caracterizada pela produção por encomenda e a certeza da produção para inventário.

Tabela 1 – Diferentes classificações de sistemas produtivo.	
CLASSIFICAÇÕES DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO	
Quanto a:	Tipo (Exemplo/Características)
Quantidade	<ul style="list-style-type: none"> - Produção unitária (artigos todos diferentes) - Produção em lotes (grande variedade de artigos) - Fabricação em série (pequena variedade de artigos) - Fabricação em massa (nenhuma variedade de artigos)
Implantação	<ul style="list-style-type: none"> - Fixa (fabrico de produtos de grandes dimensões (navios, aviões..)) - Funcional ou por processo - “GT” – Células de tecnologia de grupo - Linha ou por produto - Sistemas de fabricação flexível
Destino dos produtos	<ul style="list-style-type: none"> - Por encomenda (procura incerta, produção condicionada às encomendas) - Para inventário de produtos acabados (procura previsível) - Montagem por encomenda (procura previsível)
Natureza dos produtos	<ul style="list-style-type: none"> - Discreta (peças, componentes e produtos desmontáveis) - De processo (produtos tais como químicos e siderúrgicos)
Natureza dos fluxos de materiais	<ul style="list-style-type: none"> - Intermitente (produção em série) - Contínua (produção em massa) - Por projecto

- b) Produção unitária, por lotes e contínua (ou em massa). Este tipo de classificação depende apenas das quantidades produzidas de cada produto.
- c) Produtos discretos e produção por processo. A produção por processo é o tipo de produção em que não há separação entre unidades do produto. Exemplos deste tipo de produtos é gasolina, tecido, fio, aço, produtos químicos. Os produtos discretos são a maior parte dos produtos com que lidamos dia a dia, exemplos são: carros, sapatos, telemóveis, etc.

Uma classificação de sistemas produtivos quanto à forma como os produtos fluem no espaço fabril conhecida por “Harvard Industries Classification Scheme” pode ser encontrada em Gibson et al (1995). Esta classificação pretende abranger todo o espectro de tamanhos de lote que vai do fluxo contínuo à produção unitária passando pela produção repetitiva, grandes lotes e pequenos lotes. Por um lado temos num extremo a produção por fluxo contínuo onde um único produto num lote de tamanho infinito é continuamente produzido enquanto que no outro extremo temos a produção unitária onde uma grande variedade de produtos diferentes é produzida, normalmente por encomenda, num número reduzido de unidades. Estas classes não são separadas por fronteiras rígidas mas antes como formando uma espectro contínuo. Se um determinado sistema produtivo estiver numa área de fronteira entre duas classes pode ser considerado como pertencendo a uma classe por uns e como pertencendo a outra classe por outros. A figura 1 mostra como normalmente varia a complexidade dos produtos e o tempo entre unidades sucessivas em diferentes tipos de produção. A complexidade refere-se principalmente ao número de peças ou componentes que compõe o produto final.

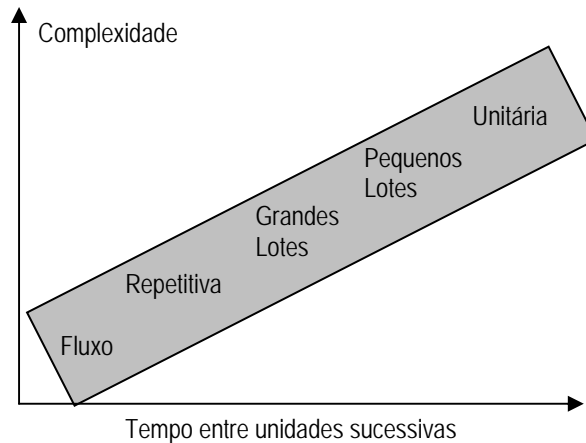


Figura 1 – Relação tempo/complexidade

2. Implantação de sistemas produtivos

A implantação ou *layout* de um sistema produtivo é a forma como os equipamentos, espaços para armazenamento, corredores de circulação, etc., estão dispostos no espaço da fábrica (se estivermos a falar de produção de bens). Essa disposição é tradicionalmente muito influenciada pela relação entre a quantidade produzida Q e o número de produtos P diferentes. Como resultado desta análise P-Q (ou análise volume-variedade) Hitomi (1979) construiu um gráfico P-Q ordenando os produtos por ordem decrescente de Q , como mostra a figura 2. Com base neste gráfico podemos seleccionar uma das alternativas clássicas: implantação por processo ou funcional (Oficina), implantação por produto (Linha de montagem ou linha de produção) ou pela designada implantação por células de Tecnologia de Grupo. Esta designação de tecnologia de grupo, bastante popular nos anos 1980 caiu em desuso, sendo que nos dias de hoje são apenas designadas por células.

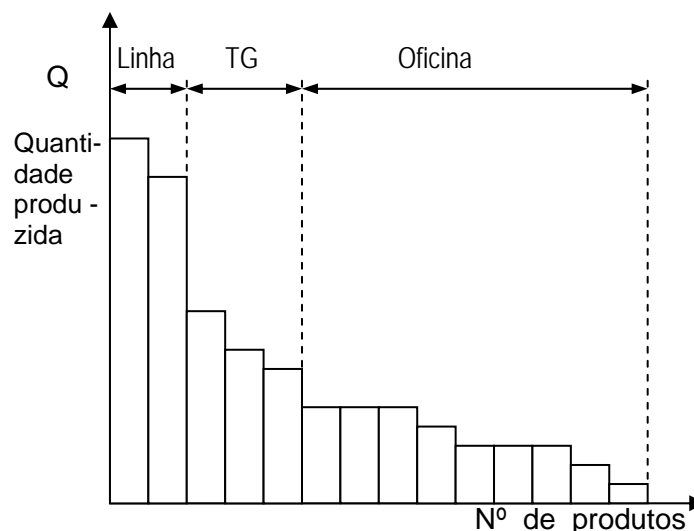


Figura 2 – Gráfico P-Q (Hitomi 1979).

No caso de termos um valor elevado de Q/P , justifica-se que se opte por uma implantação em linha onde os meios produtivos e os meios auxiliares deverão ser dispostos de acordo com o plano de processo para o produto em causa.

Segundo este autor, quando o valor de Q/P é baixo, então uma implantação por processo ou em oficina deve ser escolhida. Neste caso as máquinas do mesmo tipo devem ser agrupadas e

colocadas na mesma zona da oficina. Hoje já não se pensa bem assim, o que se procura hoje, é que mesmo para baixos valores de Q/P deve haver a tentativa de criar células de produção. Para valores intermédios de Q/P, os produtos podem ser agrupados pelas suas similaridades e ser-lhes atribuída uma célula com os recursos necessários à sua fabricação.

A minha proposta, à luz das tendências actuais, é considerarmos por um lado implantações orientadas ao produto e por outro implantações orientadas ao processo. Diz-se que é orientado ao produto porque a decisão sobre o local onde as máquinas são posicionadas é função das necessidades do produto. Diz-se, por outro lado, que é orientada ao processo quando o posicionamento das máquinas se dá pelo tipo de máquina em causa, agrupando as máquinas do mesmo tipo nas mesmas zonas.

As implantações orientadas ao produto incluem as linhas e as células. A fronteira entre linha e célula é bastante difícil de traçar, podemos contudo dizer que as células têm menos postos de trabalho e vulgarmente encontram-se dispostas em U, mas não tem de ser assim.

Embora não estando representada no gráfico existe também a implantação fixa que está geralmente ligada à produção de produtos unitários em estaleiro. É o caso da produção de navios, edifícios, pontes, etc.. Neste tipo de produção apenas se produz um produto de cada vez e normalmente todos os produtos são diferentes. O produto é construído sem se movimentar, são as máquinas e outros recursos que se deslocam para o local da construção.

Sai um pouco fora do âmbito destes textos o estudo de técnicas de estudo de implantações, no entanto, é interessante referir como pode ser medido o desempenho de uma implantação, ou por outras palavras, como se pode comparar duas alternativas. Suponhamos que existe a alternativa A e a alternativa B de implantação para um mesmo sistema produtivo e para os mesmos produtos, etc.. A melhor das duas é, por exemplo, a implantação cujo somatório das distâncias percorridas por todas as entidades no sistema, toma o menor valor.

2.1 Implantação por produto – Linha – “flow shop”

Este tipo de implantação, orientada para o produto, criada por Henry Ford para a produção do famoso Ford T, é um tipo de distribuição espacial dos recursos projectada com o objectivo de produzir um determinado produto em grandes quantidades. É de esperar que, quando se projecta uma linha para produzir um produto em grandes quantidades, se tenha preocupação de otimizar o desempenho dessa linha. Exemplos disso são os sistemas automáticos de movimentação dos materiais de umas máquinas para as outras, a distância mínima entre cada máquina e a próxima, os sistemas de carregamento e descarregamento automático das máquinas, as máquinas elas próprias são orientadas para a operação específica, os tempos de processamento são rigorosamente estudados por forma a garantir um fluxo constante ao longo da linha, etc.. Os casos típicos de implantações em linha são as linhas tradicionais de

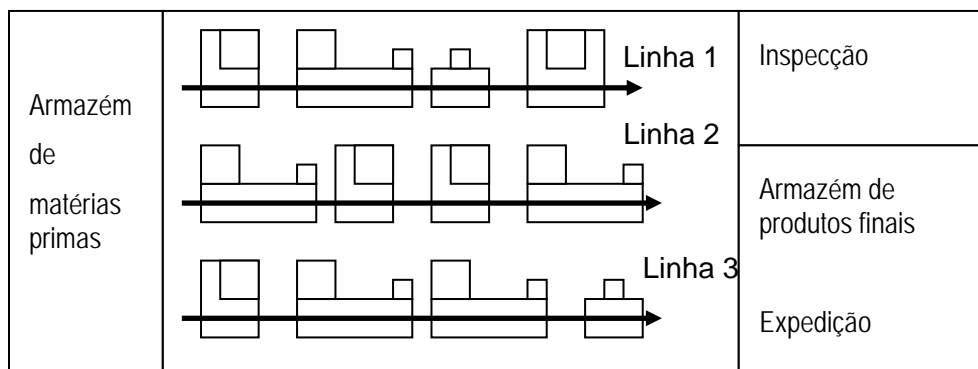


Figura 3 – Implantação em linha

montagem de automóveis. Nestes casos, as máquinas são dispostas em linha de acordo com a sequência necessária para o fabrico/montagem do automóvel.

A figura 3 pretende mostrar um exemplo de um sistema produtivo com 3 linhas de produção. Cada linha de produção é dedicada a um produto que é produzido em grandes quantidades. Como uma linha é dedicada a um produto, esta acaba quando deixa de ser necessário produzir o respectivo produto, isto é, novo produto implicará nova linha de produção.

Este tipo de implantação é caracterizado por: grande automatização dos processos produtivos, automatização da movimentação dos materiais, automatização do carregamento e descarregamento das máquinas, uso de equipamento específico, baixa variedade de produtos, grandes taxas de produção, elevada utilização das máquinas, grande produtividade, baixa flexibilidade, baixo grau de formação dos operadores, baixa polivalência dos operadores, etc..

Quando se projecta uma linha, um dos aspectos mais comuns a ter em atenção é o seu equilíbrio, ou seja, que os tempos de processamento dos postos de trabalho sejam o mais próximos possível uns dos outros. Por outro lado também é igualmente importante que a taxa de produção da linha (quantidade produzida por unidade de tempo) seja adequada à procura que é necessário satisfazer. Assim, vejamos o seguinte problema de equilibragem de linhas:

Exemplo 1 - O objectivo deste problema é projectar uma linha de montagem de retroprojectores que satisfaça uma procura de 40 unidades por dia. As operações necessárias para a montagem são apresentadas na tabela 2 (adaptado de Heizer e Render 2000) bem como os respectivos tempos de operação ou processamento e as relações de precedência entre as operações (quando se diz que a operação B tem como precedência a operação A, quer dizer que só é possível levar a cabo a operação B depois de concluir a operação A).

Tabela 2 – Lista das operações para a montagem de um retroprojector.									
Operação	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Tempo de processamento (min)	10	11	5	4	12	3	7	11	3
Precedências	--	A	B	B	A	C, D	F	E	G, H

Para resolver este problema vamos assumir que a linha estará em operação 480 minutos por dia. Assim, o primeiro passo é calcular o *Takt Time*¹. O *Takt Time* representa o ritmo a que o mercado pede produtos, mais precisamente, de quanto em quanto tempo, em média, o mercado pede uma unidade do produto. A linha ou célula que queremos projectar deve satisfazer a procura, neste caso de 40 retroprojectores por dia. Como admitimos que cada dia tem 480 minutos, então:

$$Takt\ Time\ (TT) = 480\ \text{min} / 40\ \text{unidades} = 12\ \text{minutos/unidade}.$$

Quer isto dizer que a linha terá de concluir um retroprojector de 12 em 12 minutos para que, ao fim do dia, possa satisfazer a procura que é de 40. Sendo assim, o tempo de ciclo (TC) da linha terá de ser de 12 minutos no máximo. O conceito de *Takt Time* pode ser confundido com o conceito de Tempo de Ciclo mas de facto são dois conceitos diferentes. Enquanto que o TT diz respeito à procura, o TC diz respeito às características da linha ou da célula. O TC deve ser sempre menor ou igual ao TT e em teoria, é impossível serem iguais.

Para que a linha possa concluir a montagem de um retroprojector em cada 12 minutos, é necessário que todos os postos de trabalho da linha tenham um tempo de processamento inferior ou igual a 12 minutos. Se um posto de trabalho tiver um tempo de processamento superior a 12 minutos (resultando num $TC > 12$) então seria impossível ter um projector concluído todos os 12 minutos.

¹ *Takt* é um termo alemão que se tornou popular na produção do mundo inteiro.

O exercício é agora agrupar as operações em postos de trabalho de forma a aproximarem-se o mais possível do tempo de ciclo encontrado para a linha ao mesmo tempo que se garante o cumprimento das relações de precedência.

Assim, o primeiro posto de trabalho pode conter a operação A (tempo de processamento de 10 minutos).

O 2º posto de trabalho pode conter a operação B (tempo de processamento de 11 minutos).

O 3º posto de trabalho pode conter a operação E (tempo de processamento de 12 minutos).

O 4º posto de trabalho pode conter as operações C,D,F (tempo de processamento de 12 minutos).

O 5º posto de trabalho pode conter a operação H (tempo de processamento de 11 minutos).

O 6º posto de trabalho pode conter as operações G e I (tempo de processamento de 10 minutos).

Desta forma obtemos uma linha com 6 postos de trabalho que garante a montagem de um retroprojector em cada 12 segundos. Esta linha não é 100% equilibrada pois há postos de trabalho com alguma folga. O primeiro posto de trabalho está ocupado 10 minutos em cada 12 minutos, ou seja, tem uma taxa de ocupação de 10/12 (83.33%). A taxa de ocupação da linha, eficiência da linha, ou grau de equilíbrio da linha equivale à média da taxa de ocupação dos seus postos de trabalho.

2.2 Implantação por processo - Oficina

Este tipo de implantação retracts a oficina tradicional onde as máquinas estão agrupadas pelo processo que utilizam, daí o nome: implantação por processo, dado que esta implantação é orientada ao processo. Assim, numa oficina tradicional de mecânica teremos os tornos mecânicos todos numa secção da oficina, as fresadoras noutra secção, as rectificadoras noutra, etc.. como aparece representado na figura 4.

Este tipo de implantação é caracterizado por: baixo grau de automatização dos processos produtivos, baixo grau de automatização da movimentação dos materiais, baixo grau de automatização do carregamento e descarregamento das máquinas, uso de equipamento genérico, grande variedade de produtos, baixas taxas de produção, baixa utilização das máquinas, baixa produtividade, elevada flexibilidade, boa formação dos operadores, elevada polivalência dos operadores, etc..

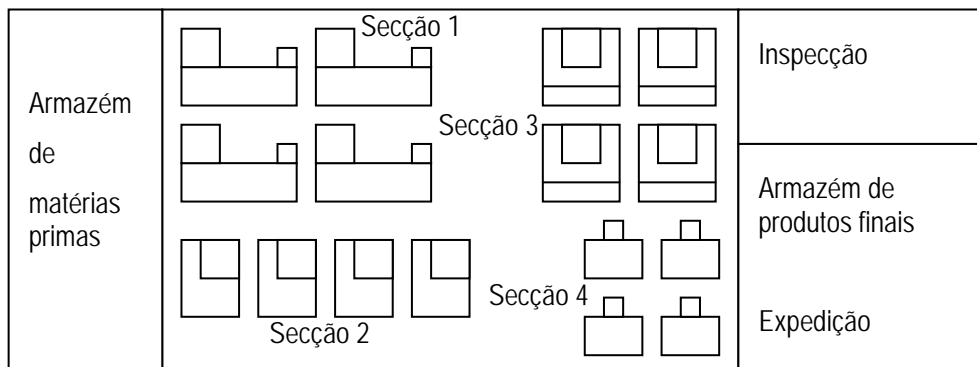


Figura 4 – Implantação em oficina

Vejamos agora um exemplo de um problema simples de implantação por processo, adaptado de Heizer and Render (2000). Considere-se um edifício com 6 salas de iguais dimensões como mostra a figura 5. Essas 6 salas deverão ser ocupadas por 6 secções de uma pequena empresa do ramo da metalomecânica. O problema está em decidir que secções deverão

ocupar cada uma das 6 salas disponíveis no edifício. As secções são: S1 – Armazém; S2 - Secção de Corte, S3 – Secção de Fresagem, S4 – Secção de torneamento; S5 – Secção de rectificação e S6 – Embalagem/Expedição. As quantidades de peças que é necessário transportar de umas secções para outras, num determinado período de tempo, são em média as apresentadas na tabela 3.

Sala 1	Sala 2	Sala 3
Sala 4	Sala 5	Sala 6

Figura 5 – Planta do edifício

Para simplificar o problema assume-se que o custo de transportar uma peça de uma secção para a outra é sempre o mesmo qualquer se seja a peça e igual a 1€ se essas secções forem adjacentes e de 2€ se essas secções forem não adjacentes. Para que se entenda claramente o que significa o termo adjacente vejamos os seguintes exemplos: a sala 1 é adjacente à sala 2, sala 4 e sala 5; a sala 1 não é adjacente nem à sala 3, nem à sala 6.

Tabela 3 – Nº de peças a transportar entre as secções.						
	1	2	3	4	5	6
1	--	50	100	0	0	20
2		--	30	50	10	0
3			--	20	0	100
4				--	50	0
5					--	0
6						--

Muitas são as alternativas em termos de implantação mas nem todas essas alternativas resultam no mesmo custo de total de movimentações. O objectivo está em encontrar uma solução que resulte no menor custo possível do total de todas as movimentações. Para este caso em particular as melhores soluções são aquelas em que as secções com movimentações entre elas são adjacentes. Uma solução dessas é a apresentada na figura 6. Nesta solução todas as movimentações são efectuadas entre secções adjacentes e assim todas as movimentações são efectuadas com custo de 1€ por unidade.

Secção 1	Secção 3	Secção 4
Secção 6	Secção 2	Secção 5

Figura 6 – Uma solução óptima.

O custo total de uma solução óptima é igual a: $50 \times 1€ + 100 \times 1€ + 20 \times 1€ + 30 \times 1€ + 50 \times 1€ + 10 \times 1€ + 20 \times 1€ + 100 \times 1€ + 50 \times 1€ = 430 €$

2.3 Implantação por célula

O princípio deste tipo de implantação, que inicialmente foi associado à Tecnologia de Grupo, é mais ou menos simples pois baseia-se em agrupar em famílias, produtos similares em termos de requisitos tecnológicos e atribuir a cada família um grupo de máquinas com capacidade de produzir todos os produtos dessa família. Assim, os passos necessários para a criação deste tipo de implantação podem ser o seguinte:

1. Agrupar os produtos por famílias – Este passo consiste em juntar num mesmo grupo os produtos que apresentam necessidades de processamento similares. Alguns algoritmos existem para este efeito (Gallagher e Knight, 1973).
2. Definir quais os processos tecnológicos necessários para processar todos produtos de cada família.
3. Agrupar em células os recursos (máquinas, robots, sistemas de transporte, etc..) que satisfazem as necessidades definidas em 2.
4. Desenvolver sistema de atribuição de novos produtos a famílias já existentes.

Desta forma tira-se partido das vantagens económicas inerentes à produção em linha. Este grupo de máquinas é normalmente designado de célula de produção ou de montagem. O objectivo desta técnica é reduzir substancialmente o volume dos produtos em curso de fabrico e reduzir os tempos de percurso. Informação mais aprofundada sobre este tipo de implantação pode ser encontrada em Gallagher e Knight (1973).

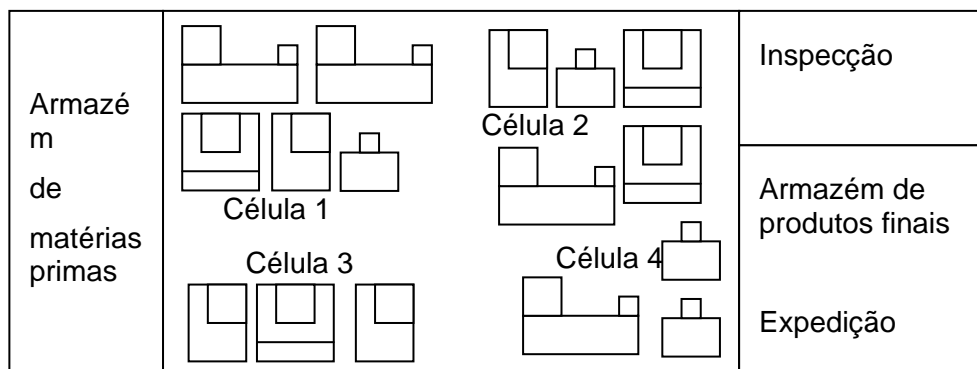


Figura 7 – Implantação em células.

A figura 7 pretende mostrar o conceito da implantação em células de TG onde 4 células foram criadas com as máquinas já previamente existentes. O transporte das entidades pertencentes à família correspondente à célula 1 é restrito a essa célula e o mesmo se pode dizer a todas as outras entidades e suas células correspondentes. Como podem ver o espaço fabril fica muito mais organizado apenas com o uso desta técnica. É de notar que nem todos os sistemas produtivos podem ser transformados em células. A título de exemplo, um sistema produtivo que produza um reduzido número de produtos em grandes quantidades é claramente um sistema onde a implantação em linha é mais adequado.

As principais vantagens deste tipo de implantação em relação à oficina são:

1. A maior facilidade de controlar a produção pois o problema passa a ser um conjunto de problemas mais simples. Cada célula é considerada como um sistema fechado com um número reduzido de máquinas e um número reduzido de produtos e logo mais fácil de controlar.
2. Menores distâncias percorridas pelos produtos pois cada produto apenas se movimenta dentro da sua célula.
3. Menores níveis de produtos em curso, mais curtos prazos de entrega e maior produtividade.

As principais vantagens deste tipo de implantação em relação à linha são:

1. Permite a produção de maior variedade de produtos.
2. Aumenta a flexibilidade e rapidez a alterações de produtos.

2.4 Implantação Fixa

Ao contrario das implantações até aqui descritas onde os produtos se deslocam ao longo do espaço fabril, na implantação fixa são as máquinas que se deslocam para efectuarem operações no produto que está fixo. A construção de navios é exemplo deste tipo de implantação bem como a construção de aviões, a construção de pontes, edifícios e outras obras de construção civil. Os produtos orientados a este tipo de sistemas produtivos são normalmente complexos e compostos por um grande número de componentes e subconjuntos de montagem. Cada produto é um caso particular e é comum que não se produzam dois produtos iguais. Este tipo de produção é caracterizado por elevada flexibilidade, baixos níveis de utilização das máquinas, grande variedade de produtos, baixas taxas de produção, baixa produtividade, boa formação dos operadores, elevada polivalência dos operadores, etc.. O sistemas de gestão mais apropriados a este tipo de produção é a gestão de projectos que será abordada mais tarde nestes mesmos textos.

3. Dinâmica da Produção

A dinâmica da produção diz respeito à forma como os diversos artigos fluem no sistema produtivo. Alguns dos aspectos dessa dinâmica podem ser mais facilmente entendidos se observarmos o que acontece num sistema de produção sem grande complexidade. O sistema de produção que vamos usar como base de estudo está representado na figura 8. Temos 3 postos de trabalho sequenciais cujas taxas de produção são respectivamente de 30, 20 e 24 unidades do artigo por hora. Além dos postos de trabalho consideramos também espaços de armazenamento local antes de cada posto de trabalho e no final do sistema. Finalmente, consideramos que este pequeno sistema produtivo em linha processa um único tipo de peça, (produto ou artigo).

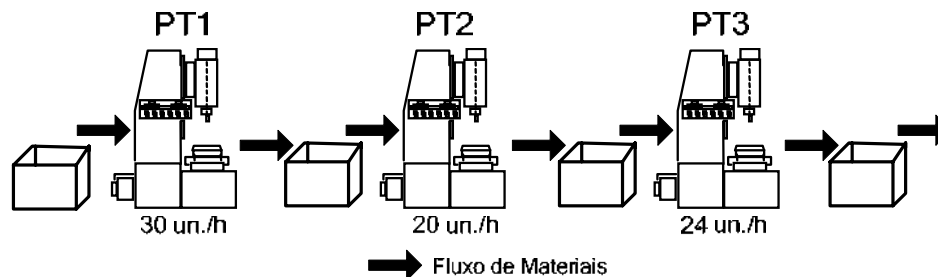


Figure 8. Representação de um sistema produtivo simples

3.1. Terminologia

Importa notar que a terminologia usada nestes textos não é nem pretende ser o padrão. É apenas um conjunto de termos que na opinião do autor são os mais adequados mas que nem sempre reúnem consenso entre a maioria dos académicos e dos profissionais dos diversos ramos da indústria. A terminologia usada na indústria varia enormemente com o tipo de indústria, com o seu passado, com as experiências passadas dos seus profissionais e com a influência dos seus fornecedores e clientes que em muitos casos são estrangeiros. De qualquer modo, é importante conhecer bem alguns conceitos base por forma a interpretar os termos usados por diferentes profissionais.

O termo Posto de Trabalho diz respeito a um passo da processamento num sistema produtivo e que pode estar relacionado com uma ou mais máquinas mas que normalmente está

relacionado apenas com um operário. Num posto de trabalho pode haver uma ou várias operações de acordo com a sua duração e a sua complexidade. Um posto de trabalho pode ser apenas um bancada ou uma mesa onde um operário leva a cabo operações manuais sem uso de qualquer máquina. No caso da figura 8, usamos a representação de uma máquina para identificarmos um posto de trabalho.

A taxa de produção ou cadência de produção diz respeito à velocidade de processamento com que a máquina ou posto de trabalho processa as peças. O PT1 processa 30 peças numa hora enquanto que o PT2 processa apenas 20 peças numa hora. A velocidade de processamento do PT1 é maior do que a velocidade de processamento dos outros dois postos de trabalho.

3.2. Tempo de processamento

Vamos introduzir um novo conceito: o conceito de tempo de processamento. O tempo de processamento está directamente relacionado com a velocidade de processamento ou taxa de produção. O tempo de processamento é o tempo que a máquina ou posto de trabalho necessita para levar a cabo uma operação ou um conjunto de operações numa peça ou num lote de peças. Assim temos que o tempo de processamento do PT1 é de 2 min/un. (ou 2 min/peça) enquanto que o tempo de processamento de PT2 é de 3 min/peça e de 2,5 min/peça, respectivamente.

3.3. Tempo de Percurso

O tempo de percurso² de uma peça diz respeito ao tempo que essa peça demora a atravessar o sistema produtivo em causa. Para este caso particular representado na figura 8, o tempo de percurso de uma peça é o tempo que leva essa peça desde que inicia o seu processamento no PT1 até que termina o seu processamento em PT3. Como iremos verificar a seguir, este tempo de percurso depende de vários factores.

Vamos começar por considerar que o sistema inicialmente está vazio e que uma peça começa a ser processada no PT1 no instante zero. Essa peça demorará 2 minutos a ser processada no PT1, depois demorará 3 minutos no PT2 e finalmente mais 2.5 minutos no PT3, resultado num tempo de percurso de 7.5 minutos (ver gráfico da figura 9).

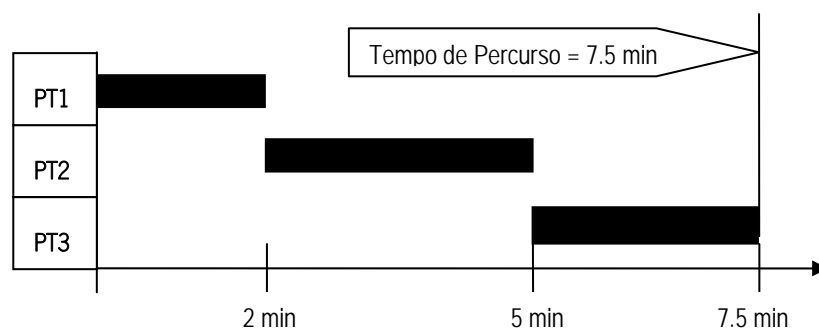


Figure 9. Percurso de uma peça no sistema produtivo da figura 8.

Vamos agora considerar que em vez de produzirmos apenas uma peça vamos produzir um lote de 10 peças. Esse lote inicia o seu processamento no PT1 no instante zero gastando **20 min** até ser enviado para o PT2. Se desprezarmos os tempos de transporte entre os postos de trabalho temos que o posto PT2 começará o processamento do lote imediatamente. PT2 necessitará de **30 min** para processar o lote de 10 peças e finalmente o PT3 gastará **25 min** para o mesmo lote. Temos então que o lote de 10 peças levará $20 + 30 + 25 = 75$ min para que o lote de 10 peças. O tempo de percurso do lote é então de 75 minutos.

² Na literatura em inglês é usado frequentemente o termo *Flow Time* ou *Throughput Time*

Se considerarmos que as peças só estão disponíveis quando todo o lote estiver pronto, o tempo de percurso médio das peças é de 75 min (ver figura 10), mas se as peças puderem ser retiradas à medida que são finalizadas em PT3, o mesmo não se verifica. Neste segundo caso a primeira peça fica pronta (20+30+2.5) 52.5 minutos depois do instante zero. Seguente este raciocínio, todas as peças terão um tempo de percurso diferente. O tempo de percurso médio será igual à média dos tempos de percurso das 10 peças. Fazendo o calculo obtemos o valor de 63.8 como sendo o tempo que em média as peças demoram a atravessar o sistema.

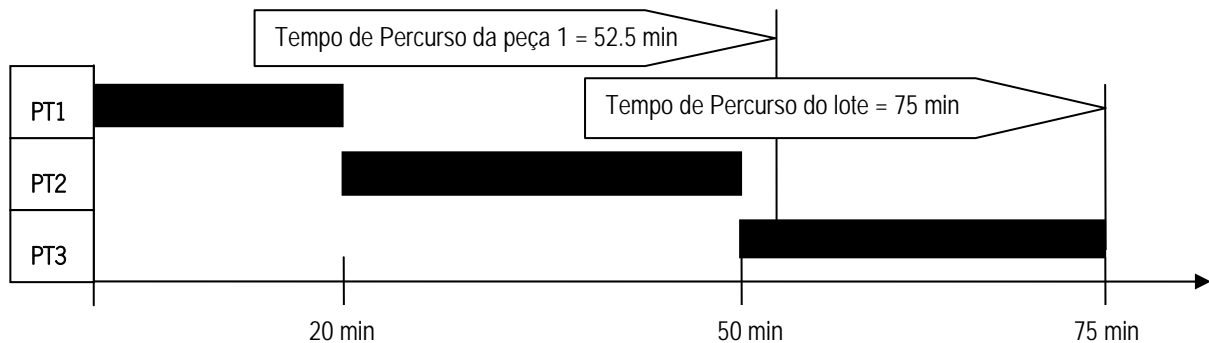


Figure 10. Percurso de um lote de 10 peças.

Tudo o que foi dito até aqui considera a produção esporádica de uma ou de um lote de 10 peças e obviamente não considera a produção continuada de peças como acontece numa grande parte de sistemas produtivos deste tipo.

3.4. Tempo de Ciclo e “Takt Time”

De uma forma geral podemos dizer que os sistemas produtivos reais funcionam o mais possível de forma continuada, especialmente os sistemas produtivos em linha como o apresentado na figura 11. Nesta situação devemos produzir na capacidade máxima do sistema produtivo desde que haja procura equivalente para esse tipo ou para esses tipos de produtos. A procura é frequentemente representada em termos de *Takt time*, que mais precisamente nos diz de quanto em quanto tempo o mercado pede em média uma unidade do produto em causa.

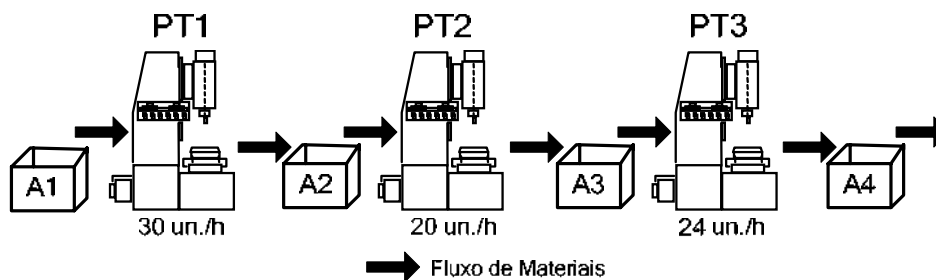


Figure 11. Sistema produtivo de estudo com identificação dos armazéns locais.

Vamos começar por supor que o armazém local A1 tem sempre peças para alimentar o posto PT1. Nessas condições, com PT1 a produzir continuamente, o armazém A2 receberá peças a uma taxa de uma peça cada 2 minutos ao mesmo tempo que alimentando o PT2 perderá peças a uma taxa de uma peça cada 3 minutos. Desta forma, em cada 6 minutos, A2 receberá 3 peças de PT1 e perderá 2 peças para PT2, resultado numa acumulação de uma peça cada 6 minutos.

Quanto ao armazém A3 temos que receberá uma peça cada 3 minutos e a menos que tenha peças acumuladas por alguma razão, também perderá uma peça a cada 3 minutos. Quer isto dizer que o posto PT3 nunca poderá produzir continuamente peças à sua taxa máxima de 24

peças por hora. Isso só poderá acontecer se estiver parada durante algum tempo, permitindo que A3 acumule peças, e depois trabalhe durante algum tempo à sua capacidade máxima.

Admitindo que as máquinas operam sempre que tenham peças no seu armazém de entrada, há uma questão que se pode colocar neste momento: a que taxa chegam as peças a A4?

Ora a taxa a que chegam as peças a A4, ou por outras palavras, a taxa a que o sistema produtivo é capaz de produzir peças equivale à taxa de produção do posto de trabalho mais lento, neste caso o PT2 com uma taxa de 20 peças/hora. Dito por outras palavras, o sistema produtivo representado na figura 11 é capaz de fornecer uma peça em cada 3 minutos. Esse é o tempo de ciclo do sistema produtivo em causa. O tempo de ciclo é então o intervalo de tempo entre duas peças sucessivas, processadas por um sistema produtivo.

3.5. Produtividade

A produtividade é uma medida de eficiência e como tal é uma razão entre o que se obtém e o que é necessário fornecer para se obter. A produtividade pode ser definida como sendo a razão entre o valor ou a quantidade de produtos que conseguimos obter e a quantidade de os recursos que são usados para isso. Como os recursos normalmente mais valiosos na produção são os recursos humanos, designados frequentemente por mão-de-obra, a produtividade é por defeito entendida como a relação entre a quantidade ou valor dos produtos produzidos e as horas de mão-de-obra gastas para os produzir.

Usando o nosso exemplo da figura 11 e assumindo que um operário é necessário para cada posto de trabalho, podemos também prever a produtividade desse sistema produtivo. A partir do momento que se sabe quantos produtos pode o sistema produzir por dia e quantos operários são necessários para operar o sistema poderemos prever a sua produtividade máxima. Como temos capacidade para produzir 20 peças por hora, num dia de 8 horas poderemos produzir 160 peças. Assumindo que os 3 operários trabalham também as 8 horas por dia temos que cada operário produz em média 53.3 peças por dia, ou 6.7 peças por hora.

A produtividade esperada do sistema produtivo em causa é de 6.7 peças/h.h (peças por hora homem).

É claro que a produtividade real só será conhecida depois de contar as peças produzidas ao fim do dia, da semana ou do mês. Muitos factores contribuem para influenciar esta medida de desempenho: as máquinas podem avariar, pode haver problemas de qualidade nas peças, pode haver falta de material, um operário pode precisar de se ausentar por alguns minutos, etc.. Além disso pode fazer parte da política da empresa apenas contabilizar, para o cálculo de produtividade, os produtos ou peças vendidos. Esta atitude é bastante interessante pois previne a tendência de produzir para inventário em “vales”³ de procura.

3.6. Work In Process (WIP)

O WIP (work in process) - termo bastante popular na literatura em língua inglesa sobre produção - representa a quantidade de artigos que se encontram em curso de fabrico. Diz respeito ao número de produtos que já deram entrada no sistema produtivo mas sobre os quais ainda não estão concluídas todas as operações. A forma mais directa de determinar a quantidade de WIP passa por contar todos os artigos em curso. Esta forma, mais ou menos trabalhosa, dá-nos o valor do WIP no instante da contagem o que pode não ser uma indicação realista, pois pode tratar-se de um instante atípico.

Uma outra forma de determinar o valor do WIP pode passar pela consulta do sistema informático de planeamento e controlo da produção.

³ Vales de procura são períodos de procura abaixo da média. O termo picos de procura está vulgarizado dizendo respeito a períodos de procura acima da média.

3.7. Lei de Little

A lei de Little baseia-se na analogia entre o comportamento dinâmico de fluidos em tubagens e o comportamento dinâmico de materiais em sistemas produtivos. Nesse sentido, a secção da tubagem é associada ao WIP, o caudal do fluido à taxa de produção e o tempo de percurso de uma molécula do fluido entre dois pontos da tubagem é associado ao tempo de percurso de uma peça entre dois pontos do sistema produtivo.

WIP = Taxa de produção X tempo de percurso

A título de exemplo: Para um sistema produtivo capaz de produzir 40 peças por hora, havendo 320 peças em curso de fabrico, teremos um tempo de percurso médio de 8 horas. Por outras palavras, uma peça em média demora 8 horas a atravessar o sistema, desde que entra até que sai.

A determinação do tempo de percurso pode ser uma tarefa bastante complicada numa grande parte dos sistemas produtivos. A inexistência de registos sobre os detalhes de todas as ordens de produção impossibilita a determinação dos valores para tempos de percurso. A lei de Little pode ser uma ferramenta bastante eficaz para a determinação do tempo de percurso médio, bastando para isso a contagem do WIP e o conhecimento da taxa de produção do sistema.

3.8. Taxa de ocupação das máquinas e da mão-de-obra

A taxa de utilização das máquinas e da mão-de-obra é a relação entre o tempo que esse recurso é utilizado pelo tempo em que o recurso está disponível.

Tomando o sistema produtivo da figura 11 como referência, podemos afirmar que a sua taxa de produção máxima é de 20 peças por hora. Não interessa se carregamos A1 com uma grande quantidade de peças, o limite para a taxa de produção do sistema produtivo é de 20 peças por hora.

Se admitirmos que não há paragens nem falta de material, poderemos saltar para a conclusão que em média, PT1 e PT3 não poderão estar sempre ocupados. Estes dois postos de trabalho terão tempos improdutivos pois as suas taxas de produção são superiores à taxa de produção do sistema como um todo. Poderemos dizer que em cada hora, PT1 estará parada, em média, um terço do tempo (tem capacidade para produzir 30 peças/hora mas apenas necessita de produzir 20 peças/hora). Desta forma, a sua taxa de utilização será de 66.67%. No que diz respeito ao PT3, temos que a sua taxa de utilização será de 83.33%.

A taxa de utilização média do sistema será de 83.33% $[(66.67\% + 100\% + 83.33\%)/3]$.

Se a cada posto de trabalho está associado um operário, poderemos dizer que a taxa de utilização da mão-de-obra tem o mesmo valor que a taxa de utilização do sistema como um todo, ou seja, 83.33%.

4. Conceito Tradicional de Sistema produtivo

Vamos agora explorar o conceito de **sistema produtivo** e focar a nossa atenção num modelo de sistema produtivo, apresentado por Hitomi (1979) (figura 12) sendo este modelo muito parecido com o que também é apresentado por Meredith (1992). As variáveis de entrada do sistema são os factores de produção enquanto que as variáveis de saída são os **produtos**. Neste modelo, as variáveis de entrada e de saída são as únicas ligações ao exterior, todo o resto se passa dentro das fronteiras do sistema produtivo. De acordo com este modelo, qualquer que seja o sistema que transforma factores de produção em produtos pode ser considerado como um sistema de produção.

De acordo com o que foi dito no último parágrafo, um sistema produtivo pode ser considerado como sendo um sistema (conjunto de elementos interligados) que permite gerar produtos a partir de factores de produção. É claro que esses elementos interligados podem ser, eles próprios, considerados sistemas produtivos. Assim, vamos chamar subsistemas a estes

sistemas que fazem parte do sistema produtivo em questão. Voltaremos a este assunto mais tarde neste mesmo capítulo. O sucesso ou insucesso de um sistema de produção é ditado pela selecção dos subsistemas a incluir e pela definição das ligações que devem existir entre eles.

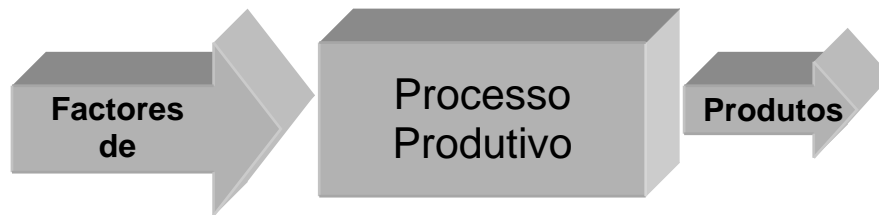


Figura 12 – Um modelo de um sistema de produção.

Um sistema de produção deve ser dinâmico e permitir que tanto os seus subsistemas como as próprias ligações possam sofrer mutações por forma a melhor responder às exigências do exterior. Assim, um sistema de produção com sucesso deve ser cuidadosamente projectado por forma a responder eficientemente às exigências do mercado e que tenha a habilidade de responder rapidamente e a baixo custo, às mudanças desse mesmo mercado.

A última década tem sido marcada por um mercado cada vez mais exigente em termos de preços, qualidade e prazos. A abertura de muitos países à concorrência estrangeira seguindo a tendência para a globalização veio criar novas regras e desafios aos sistemas produtivos. Os sistemas produtivos têm que ser repensados para se poderem adaptar ao cada vez mais exigente e dinâmico mercado. Cada vez há mais necessidade de se produzir em prazos curtos, menor quantidade e maior variedade de produtos. Assim é extremamente importante que o nosso sistema produtivo tenha facilidade em mudar de um produto para outro a baixo custo e rapidamente.

1.3.1 Factores de produção

Os **Factores de produção**, entradas do sistema produtivo podem ser divididos em (tabela 4): materiais, mão de obra, meios directos (máquinas, ferramentas, transportadores, ...), meios indirectos (terrenos, ruas, edifícios, armazéns,...), informação e energia. A ênfase que é dada a cada um destes factores de produção depende do sistema produtivo. Alguns sistemas produtivos dão maior ênfase à mão de obra, outros à informação, outros aos meios directos, etc..

Os materiais são as entidades sobre as quais são levadas a cabo as actividades de produção (processamento, inspecção, movimentação, etc.). Estes factores de produção podem ser divididos em dois tipos: materiais primários e materiais auxiliares. Os materiais primários são aqueles que através dos processos de produção, são transformados em produtos finais, é o caso das matérias primas, dos sub-conjuntos comprados para montagem, dos componentes, etc.. Todos os materiais primários estão presentes na lista de materiais do produto final (este assunto será coberto mais tarde nestes mesmos textos). Os materiais auxiliares são os materiais que embora não fazendo parte da lista de materiais são necessários para a sua produção (óleos lubrificantes, gás para aquecimento, líquidos de arrefecimento, etc.). Alguns tipos de materiais podem ser considerados auxiliares num determinado sistema produtivo e primários noutro. Um exemplo típico desse tipo de materiais é a tinta usada para pintar um produto. Embora alguns autores considerem que a tinta é um material auxiliar, ela pode ser considerada como um componente do produto final e fazer parte da lista de materiais. Trata-se de um problema de gestão de materiais, para um sistema produtivo a tinta pode ser gerida como um componente e noutro sistema pode ser gerida como um material auxiliar.

A Informação é todo o conhecimento/dados necessários para transformar os factores de produção em produtos e é certamente o factor de produção mais crítico para o sucesso do sistema produtivo. Podemos considerar dois tipos de informação: dados e métodos de processamento de dados. Os dados incluem a informação corrente do sistema produtivo

(encomendas existentes, clientes, estado da produção, recursos disponíveis, etc.) e os métodos de processamento de dados representam o conhecimento necessário para tratar todos os dados por forma a conseguir um bom desempenho do sistema (como são efectuadas as ordens de produção e de compra de materiais, como é feita a gestão do inventário, como são preparados os planos de processo, como se definem as datas de entrega, como é levado a cabo o controlo da produção, etc.). Estes textos focam a sua maior atenção neste importante factor de produção.

Tabela 4 – Factores de produção e exemplos de produtos.	
Factores de Produção	Exemplos de produtos
Materiais	Automóveis
Mão de obra	Roupa
Meios directos	Aparelhos de televisão
- máquinas	Curso de Inglês
- ferramentas	Pacotes de férias
- transportadores	Seguro de vida
- etc.	Consultas hospitalares
Meios indirectos	Serviço de assistência
- terrenos	Programa de televisão
- ruas	Impressora
- edifícios	Encadernações
- armazéns	Linha telefónica
Informação	Conta bancária
Energia	Etc.

Apesar da grande diferença entre um fábrica de motores e uma seguradora, poderá haver muito em comum entre as duas no que diz respeito ao sistema de planeamento e controlo da produção, ao sistema de planeamento de processo e outros sistemas. As empresas de serviços irão evoluir no sentido de usar métodos, técnicas e conceitos que até agora apenas tem feito parte das empresas de bens. Isto parece ser um ponto importante visto que a maior parte da população activa das sociedades desenvolvidas estão afectas a empresas de serviços.

1.3.2 Produto

O **produto** resultante de um sistema produtivo pode ser um bem, um serviço ou uma combinação dos dois. Alguns autores consideram que um bem é um produto tangível, com características físicas (p.e. um carro, uma televisão ou uns sapatos) enquanto que um serviço é um produto intangível. Esta definição não é completamente correcta pois um produto de *software* é um exemplo de um bem que não é tangível. Uma forma interessante de definir um serviço é dada por Hitomi (1979) onde ele considera que um serviço é um produto que desaparece no acto da sua criação. A noção de propriedade parece acrescentar valor à distinção entre bem e serviço. Um bem é propriedade duma pessoa ou de uma entidade enquanto que um serviço não é propriedade de ninguém, apenas existe durante a ligação entre o cliente e o fornecedor na prestação do serviço. Mas nem sempre um bem é propriedade de alguém, é o caso do ar, da luz do sol, etc.. Poder-se-á dizer que um bem “existe”, enquanto que um serviço “acontece” durante um determinado espaço de tempo. Alguns produtos são uma combinação de um bem com um serviço, como por exemplo uma refeição servida num restaurante ou um electrodoméstico com garantia.

Muitas vezes o cliente (pessoa ou entidade que compra o produto) adquire um bem através de um sistema de produção de serviços, é o caso do comércio. Os sistemas produtivos do tipo comércio prestam o serviço de venda de um produto sem alterarem nenhuma das suas características físicas, químicas ou outras. Assim, uma loja de comercio é um sistema produtivo de serviços embora o cliente adquira um bem. Podemos dizer que um sistema de produção de

bens é um sistema que acrescenta valor aos materiais através de processos que lhes alteram as suas características (forma, cor, estado superficial, dureza, ...) enquanto que nos sistemas de produção de serviços se poderá dizer que apenas há processamento de informação. Ora isto não é bem verdade porque vejamos o seguinte exemplo: Vamos imaginar que temos um toro de madeira e que o levamos a uma serração para o cortar em pequenos rolos. A serração forneceu-nos um serviço onde de facto houve valor acrescentado. Neste caso houve a prestação de um serviço sobre um bem. A este tipo de bem, Meredith (1992) deu o nome de "facilitating good" e nestes textos será chamado **bem de suporte** do serviço. Pode também haver a prestação de um serviço sem que haja um bem de suporte, sendo neste caso um serviço puro.

1.3.3 Valor acrescentado

O conceito de valor acrescentado, tal como outros conceitos apresentados nestes textos, também não reúne consenso sobretudo no que diz respeito ao que se considera ser actividades que aplicadas sobre entidades lhe acrescentam valor e actividades que não lhe acrescentam valor. São apresentadas duas abordagens opostas. Por um lado temos uma abordagem orientada a sistemas de produção baseados em manufactura e por outro, uma preocupação mais genérica de sistemas de produção.

Valor acrescentado foi descrito por Porter (1985) como sendo "o preço de venda menos o preço de compra das matérias primas". É necessário levar a cabo uma ou mais operações sobre as matérias primas por forma a transforma-las em produtos finais. Cada uma dessas operações alteram-lhes as suas características físicas, químicas ou outras, acrescentando-lhe valor. O valor do produto final pode ser entendido como sendo o valor das matérias primas mais o valor acrescentado por cada uma das referidas operações mais o lucro. Além das operações que acrescentam valor (maquinagem, conformação, pintura, tratamentos térmicos, etc.) existem também actividades que embora sendo muitas vezes necessárias, não acrescentam valor nenhum ao produto. Exemplos deste tipo de actividades são as actividades de inspecção, de armazenamento, de transporte, etc..

Podemos definir dois tipos de actividades para transformar matérias primas em produtos finais: as actividades que acrescenta valor (AV) e as actividades que não acrescenta valor (NAV). Esta distinção é de extrema importância pois é comum que o tempo gasto em actividades de AV é da ordem dos 5% do tempo total, querendo isto dizer que 95% do tempo é gasto em actividades NAV. Grande parte do esforço das companhias é orientado para as actividades de AV e no entanto os maiores ganhos podem ser obtidos orientando esforços no sentido de melhorar a eficiência das actividades NAV. O objectivo deverá ser, segundo Gibson et al, (1995) no sentido de aproximar a 50% o percentagem do tempo total gastos quer pelas actividades AV que pelas actividades NAV.

Em oposição a esta visão até agora apresentada, temos uma visão mais orientada a sistemas produtivos genéricos apresentada por Meredith (1992). Este autor classifica as actividades que acrescentam valor a entidades, em quatro tipos:

Alteração – este tipo de actividade refere-se a alterações *físicas* incluindo além das actividades que acrescentam valor às coisas, tais como a maquinagem e a pintura, alterações feitas sobre nós próprios (ex: corte de cabelo ou extracção de um dente). O autor vai mais longe considerando neste tipo de actividades que alteram as *sensações* (ex: calor quando temos frio e a música) e também actividades que provocam alterações *psicológicas* (prazer em receber uma chamada telefónica de um amigo).

Transporte – o valor de uma entidade (incluindo nós mesmos) pode ser aumentado quando transportado de um lugar para outro. Podemos apreciar coisas que sejam trazidas para nós tais como flores, ou levadas de nós, tal como o lixo.

Armazenamento – o valor de uma entidade pode ser aumentado pelo facto de ser armazenado. Os bens são armazenados sob a ideia de que o seu valor será maior algum tempo mais tarde, caso contrário esse bem seria vendido imediatamente.

Inspecção – uma entidade pode ver o seu valor aumentar pelo facto de melhor conhecermos as suas propriedades. Isto pode ser aplicado a nós mesmos quando fazemos testes médicos.

É de notar que qualquer uma das classificações apresentadas está longe de ser universalmente aceite. Poder-se-á aceitar que o transporte dentro do sistema produtivo não acrescenta valor ao produto mas também se poderá facilmente aceitar que o valor do café no supermercado no centro de uma cidade não será o mesmo do que à saída da fábrica que o embala a 300 Km de distância. Assim, uma operação de transporte pode acrescentar valor num sistema produtivo e não acrescentar valor noutra. A classificação deverá ser alterada por forma a servir qualquer sistema produtivo.

Embora a noção de actividades AV e NAV seja facilmente entendida nos sistemas produtivos de bens, talvez não seja tão facilmente entendida nos sistemas produtivos de serviços. Considere-se o aluguer de um quarto de hotel. Quais são neste caso as actividades AV e quais a NAV? De seguida são listadas os dois tipos de actividades desse serviço:

Actividades AV

Lavar a roupa da cama
Mudar a roupa da cama
Limpar o quarto
Lavar as toalhas
Colocar toalhas na casa de banho
Limpar a casa de banho
Colocar sabonetes e champôs
Actualizar conteúdo do mini bar
Arejar o quarto

Actividades NAV

Atender o cliente
Mostrar o quarto
Informar o preço
Descrever o serviço
Formalizar o aluguer
Verificar o estado do quarto
Verificar o estado do mini bar
Verificar gastos de telefone
Verificar gastos de televisão
Cobrar o aluguer

Alguns leitores podem achar que uma ou outra actividade que aqui foi considerada NAV deveria ser considerada AV e vice versa, mas o que é de facto importante é que se aceite que nos serviços há também actividades pertencentes a estas duas classes de actividades. Tal como nas empresas de manufactura, deverá haver algum esforço no sentido de minimizar ao máximo o tempo gasto nas actividades NAV sem menosprezar, claro está, o carácter personalizado que este ou aquele serviço pode ter. Usando o exemplo do hotel e por forma a diminuir o tempo gasto em algumas actividades NAV, poder-se-á criar um sistema que permita dar a possibilidade ao cliente de obter o máximo de informação necessária da forma que não ocupe muito tempo o pessoal do hotel. Como exemplo pode-se utilizar fotografias dos quartos e das outras instalações ou permitir ao cliente um passeio virtual com a ajuda de um computador que o próprio pode utilizar. O sistema pode também informar o cliente das disponibilidades de quartos e dos respectivos preços. Todas as verificações devem ser simplificadas e a cobrança feita com rapidez. Embora este tipo de serviço possa ser visto por muitos como um serviço em que se deve ter uma conversa mais ou menos longa com o cliente, dando um carácter personalizado ao serviço, a verdade é que nenhum cliente gosta de esperar para ser atendido quer para obter informações, quer para formalizar o aluguer ou para pagar a conta.

Referências

- BjØrke Ø., (1995) *Manufacturing Systems Theory*, TAPIR Publishers, ISBN 82-519-1413-2.
- Burbidge J. L., (1987) *IFIP Glossary of terms used in Production Control*, Elsevier Science Publishers B.V., ISBN 0-444-70287-3.
- Dilworth, J. B., (1992) *Operations management design, planning, and control for manufacturing and services*, McGraw-Hill.
- Gallagher C C e Knight W A, 1973, *Group Technology*, Butterworth & Co. ISBN 0-408-70533-7
- Gibson P., Greenhalgh G and Kerr R, (1995) *Manufacturing Management*, Chapman & Hall, ISBN 0-412-37370-X.
- Groover, M. P., (1987) *Automation, production systems, and computer integrated manufacturing*, Prentice-Hall, cop.
- Janowski, T. e Acebedo, C. M., (1996) "Virtual Enterprise: on refinement towards an ODP Architecture", Pre-Proceedings of the workshop: Theoretical Problems on Manufacturing Systems Design and Control, associated to 2nd IEEE/ECLA/IFIP International Conference on Balanced Automation Systems, pp. 31-43, Portugal.
- Heizer, J. and B. Render, Operations Management. 6th edition ed. 2000: Prentice Hall, ISBN 0-13-018604-X.
- Hitomi, K., (1979) *Manufacturing Systems Engeeniring*, Taylor & Francis Ltd, ISBN 0-85066-177-3.
- Meredith J R, (1992) *The Managemente of Operations: A Conceptual Emphasis*, John Wiley & Sons, Inc..
- Porter, M E, (1985) *Competitive Advantage*, The Free Press, New York.
- Parunak H, (1994) "The Virtual Enterprise Concept", Workshop on Virtual Enterprise, NIST Advanced Technology Program and National Centre for Manufacturing Science, Ann Arbor, Michigan.
- Putnik G, Silva S C, (1995) "One-Product-Integrated-Manufacturing" in in L. M. Camarinha-Matos (Ed.) *Balanced Automation Systems I*, Chapman & Hall.
- Suri, R, (1998) *Quick Response Manufacturing – A companywide approach to reducing lead times*, Productivity Press, ISBN 1-56327-201-6, Portland, USA.