

Métodos Quantitativos de Apoio à Decisão

1

*IMPACTO DA NÃO-QUALIDADE EM
PROCESSOS DE PRODUÇÃO*

Rui Assis

rassis@rassis.com

<http://www.rassis.com>

Janeiro/2011

OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

No final desta Unidade Temática o leitor deverá ser capaz de:

- Identificar causas de não-qualidade em processos de produção de uma forma lata, como correspondendo a tudo aquilo que origina “desperdício”, ou seja, que não acrescenta valor na perspectiva do cliente;
- Quantificar desperdícios, tais como: “indisponibilidade” e “desactivação” que decrementam a capacidade de um sistema; “ineficiência” que incrementa a carga a entregar a um sistema; as “rejeições” e “recuperações” que aumentam a quantidade de material a processar pelo sistema como também alongam o tempo estritamente necessário de utilização do sistema; e, ainda, os “custos de oportunidade” que surgem sempre que um sistema de produção se imobiliza ou abranda devido ao surgimento de falhas de qualidade dos processos de produção (defeitos, avarias, desregulações, etc.);
- Avaliar quantitativamente medidas que visem melhorias de produtividade, por via da diminuição ou eliminação de causas de desperdício.

ÍNDICE

- 1.1 Introdução
- 1.2 Capacidade vs carga
- 1.3 Capacidade de um Posto de Trabalho
- 1.4 Carga de um Posto de Trabalho
- 1.5 Impacto de Defeitos de Qualidade
 - 1.5.1 O problema do valor médio
 - 1.5.2 Sequência de Postos de Trabalho
- 1.6 Custos de oportunidade

Actividades/Avaliação

Bibliografia

1.1 Introdução

Em termos de responsabilidade de gestão, as empresas tendem a imputar à Engenharia da Qualidade não só os custos da Qualidade – resultantes do normal funcionamento da sua estrutura dedicada a actividades de Prevenção e Controlo – mas, também, os custos da não-Qualidade – decorrentes das consequências de falhas quer internas quer externas.

As principais naturezas daqueles custos encontram-se descritas no Quadro adiante.

Custos da Qualidade		Custos da não-Qualidade (nQ)	
I - Prevenção	II - Controlo	III – Falha interna	IV – Falha externa
Actividades concebidas para prevenir erros durante a fabricação	Actividades de controlo e auditoria de forma a assegurar a conformidade	Actividades de correcção de erros antes do envio para os clientes	Actividades de correcção de erros reclamados pelos clientes
<ul style="list-style-type: none"> - Formação - Planeamento da Qualidade - Controlo estatístico do processo - <i>Poka-Yoke</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção no exterior - Avaliação de procedimentos - Inspeção de produtos 	<ul style="list-style-type: none"> - Sucata - Recuperações - Tempo de paragem não previsto - Perdas de cadência 	<ul style="list-style-type: none"> - Tratamento administrativo das reclamações - Garantias - Devoluções - Perturbação do plano de produção - Processo legais - Perda de competitividade

O cálculo dos custos de falhas internas envolve conceitos do domínio da Engenharia de Produção, os quais se entende, deverem ser também do domínio da Engenharia da Qualidade, de forma a tornar possível aos agentes desta compreenderem melhor o contexto em que actuam, bem como justificarem quantitativamente medidas visando melhorias de produtividade, quer diminuindo ou eliminando causas de desperdícios.

É neste âmbito que se desenvolvem seguidamente os conceitos de: i) capacidade vs carga de um posto de trabalho, ii) consequências dos defeitos de qualidade na capacidade de um posto de trabalho e iii) custos de oportunidade da produção perdida.

1.2 Capacidade versus Carga

Consideremos uma analogia hidráulica compreendendo, primeiramente, um funil (Figura 1.1-a). A capacidade do funil ou seja o seu débito, representa a quantidade de trabalho produzida pelo sistema de produção na unidade de tempo. A carga do funil, ou seja o nível do líquido que se escoa, representa a carga de trabalho existente em dado momento no sistema de produção.

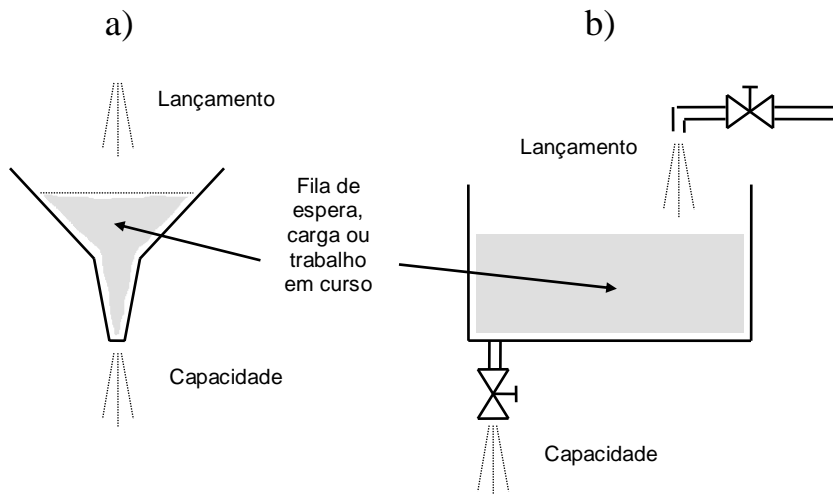


Figura 1.1 - Carga versus capacidade

A analogia pretendida pode ser melhorada se considerarmos antes o depósito representado na Figura 1.1-b. Este depósito ilustra melhor as duas formas de controlo da quantidade de trabalho no sistema de produção, pois possui dispositivos de regulação dos débitos na entrada e na saída do sistema. Sempre que o débito de entrada no sistema ultrapassa o débito de saída, a carga no sistema aumenta e *vice-versa*.

Regulação carga-capacidade

Este conceito, extremamente simples, é muitas vezes esquecido em ambientes complexos de produção, pois os gestores encontram-se sobretudo preocupados em fazer andar as encomendas urgentes, deixando a carga flutuar enormemente e comprometendo as datas previstas no planeamento.

Com efeito, o planeamento das capacidades deve sempre anteceder o planeamento das prioridades.

Capacidades versus prioridades

1.3 Capacidade de um Posto de Trabalho

A “capacidade” de um Posto de Trabalho (PT) pode ser conhecida através do cálculo de uma média de dados históricos, ou através do cálculo de uma fórmula.

Teoricamente, a capacidade de um PT seria igual ao tempo disponível durante um período de trabalho (por exemplo, 8 horas/dia, 40 horas/semana, etc.). Contudo, devido a diversas razões - normais em ambiente fabril - num posto de trabalho verificam-se sempre interrupções (paragens). Estas paragens devem-se a três factores:

- Avarias e manutenção preventiva ($A_v + M_p$);
- Absentismo do(s) operador(es) (A_{bs});
- Falta de continuidade de trabalho (F_{tr}).

Razões de interrupção de um PT

Este último factor é consequência de, embora existindo trabalho programado (carga) para o PT, se verificarem:

- Interrupções de abastecimento dos PT's de montante (devidos a avarias, defeitos de qualidade, dessincronia de operações, etc.);
- Falhas de entrega atempada de materiais a partir de um armazém;
- Falta de ferramentas, gabaritos ou de instruções de operação;
- Interrupções de energia; etc.

Razões de falta de continuidade de trabalho

Assim, a capacidade de um PT deve ser decrementada (ajustada) daqueles factores, se quisermos ter um planeamento realista.

Capacidade ajustada

A capacidade prática de um PT calcula-se pela seguinte fórmula:

$$C = T.D.A$$

Capacidade prática ou disponível

Em que: C – Capacidade disponível (horas/período)
 T – Tempo disponível (horas/período)
 D – Disponibilidade
 A – Activação

A “disponibilidade” de um PT é afectada pelos dois primeiros factores. Designamos, então, por disponibilidade “ D ”, a seguinte relação:

$$D = \frac{T - (A_v + M_p + A_{bs})}{T}$$

Disponibilidade de um PT

Em que: $(A_v + M_p)$ – Tempo parado devido a avarias e a manutenção preventiva;
 A_{bs} – Tempo parado devido a absentismo do(s) operador(es);

Um PT encontra-se activo (ou não), conforme tenha trabalho destinado (carga) ou não. Designamos, então, por “activação” “A”, a seguinte relação:

$$A = \frac{(T - F_{tr})}{T}$$

Activação de um PT

Em que: F_{tr} – Tempo parado devido a interrupção (falta de continuidade) do trabalho de montante

A disponibilidade e a activação fornecem medidas de *performance* da gestão com enfoques diferentes: a primeira é de natureza “estrutural” e a segunda é de natureza “conjuntural”. A primeira deve apresentar um valor desejável igual a 1. A segunda deve apresentar um valor inferior a 1, de forma a conter a fila de espera (trabalho em curso) dentro de limites considerados aceitáveis.

Medidas de *performance* estrutural e conjuntural

É pois o valor da capacidade de cada PT calculado desta forma que deve ser introduzido no módulo de planeamento dos programas MRP.

Planeamento MRP

1.4 Carga de um Posto de Trabalho

Quanto à “carga”, o seu cálculo resulta dos tempos *standard* de preparação e de operação, constantes nas gamas operatórias (elaboradas e mantidas pela Engenharia de Processo) e do número de unidades a produzir, resultantes da explosão do MRP. É preciso, contudo, ter em conta que os tempos calculados pela Engenharia são tempos *standard* (ou predeterminados), sendo necessário corrigi-los da eficiência.

A eficiência ε mede o grau de cumprimento dos tempos *standard* e é dada pela expressão seguinte:

$$\varepsilon = \frac{T_s}{T_r}$$

Eficiência

Em que: T_s – Tempo *standard*
 T_r – Tempo real

O valor da eficiência é extremamente sensível à experiência do operador. Se um operador experiente é substituído por um principiante, a eficiência cai para valores inferiores a 1. Pode também acontecer que um operador particularmente hábil consiga valores de eficiência superiores a 1.

Sensibilidade da eficiência com a experiência do operador

Obviamente que aquilo que foi dito anteriormente se aplica genericamente a qualquer PT, seja este constituído por um operador, um operador numa bancada ou, ainda, um operador numa máquina semiautomática.

A eficiência de uma operação realizada num determinado PT pode ser conhecida através da análise de dados históricos e deve ser actualizada frequentemente, particularmente quando se verificam mudanças frequentes de operadores.

Quando o tempo de preparação de um PT é desprezável, a carga é calculada pela seguinte fórmula:

$$Q = \frac{T_s}{\varepsilon} = \frac{t_s \cdot N}{\varepsilon}$$

Carga de um PT com tempo de preparação t_p desprezável

Em que: t_s – Tempo unitário *standard*;
 N – N° de unidades a produzir;
 ε - Eficiência da operação.

Exemplo 1.1

Suponhamos que um PT deve produzir 60 peças num determinado dia, e que a Engenharia de Métodos especificou um tempo *standard* de 12 minutos para produzir cada peça. Suponhamos ainda que o tempo de preparação do PT é desprezável. Se a operação tiver de ser executada por

um operador principiante que precisa em média 15 minutos para executar uma peça, qual será a eficiência da operação e a carga a planejar?

A eficiência a considerar no cálculo da carga será, pois:

$$\varepsilon = 12/15 = 0,8 \text{ ou } 80\%$$

E a carga será, por sua vez:

$$Q = (12 \times 60) / 0,8 = 900 \text{ minutos ou } 15 \text{ horas}$$

Na prática, quando o tempo de preparação t_p (*change-over*) de um PT não é desprezável, há que tê-lo em conta no cálculo da carga. Neste caso, a fórmula anterior deve ser ajustada, assumindo então, a forma:

$$Q = \frac{t_s \cdot N}{\varepsilon} + t_p$$

Carga de um PT com tempo de preparação t_p não desprezável

Neste caso, o primeiro termo da expressão é designado por “conteúdo de trabalho” e o segundo por “preparação”. É pois o valor da carga destinada a um PT, calculado desta forma, que deverá ser confrontado com a sua capacidade prática.

Exemplo 1.2

Se 60 peças tivessem de ser obtidas num PT que leva em média 30 minutos para preparar (intervalo de tempo que medeia desde a saída da última peça boa da série de fabrico anterior até à primeira peça boa da série seguinte) e 10 minutos para produzir cada peça com uma eficiência de 0,80, a carga necessária seria:

$$Q = (10 \times 60) / 0,80 + 30 = 780 \text{ minutos ou } 13 \text{ horas}$$

Exemplo 1.3

Um posto de trabalho é composto por 3 máquinas que funcionam em regime de 2 turnos x 8 horas/turno x 5 dias/semana. Os dados históricos mostram que nas últimas semanas as avarias foram responsáveis pela perda de 12 horas/semana (em média) e que os tempos *standard* produzidos foram de 250,8 horas/semana (em média). Qual é a capacidade calculada ou nominal do posto de trabalho? Qual a carga a planejar para obtenção de 60 peças cujo tempo *standard* de produção é 11 min?

$$\text{Tempo disponível} = 3 \times 2 \times 8 \times 5 = 240 \text{ horas/semana}$$

$$\text{Disponibilidade} = (240 - 12) \times 100 / 240 = 95\%$$

$$\text{Capacidade} = 240 \times 0,95 = 228 \text{ horas/semana}$$

$$\text{Eficiência} = 250,8 / 228 \times 100 = 110\%$$

$$\text{Carga} = (11 \times 60) / (1,10 \times 60) = 10 \text{ horas}$$

1.5 Impacto de Defeitos de Qualidade

Em ambiente de produção discreta (peça a peça), consideremos um PT que processa uma determinada peça com um tempo *standard* t . À saída da máquina o operador controla a produção e rejeita r peças para sucata por cada 100 entradas e reenvia p peças para a entrada (para recuperar), por cada 100 entradas. As peças reenviadas para a entrada são recuperadas com um rendimento η .

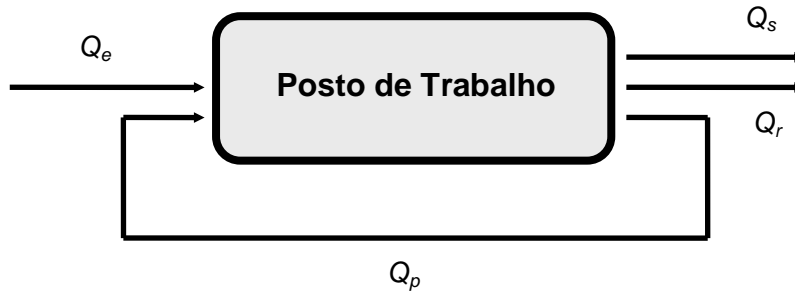


Figura 1.2 – Fluxos de produção útil, rejeitada e recuperada

Sendo: Q_e – quantidade de peças à entrada
 Q_s – quantidade de peças boas à saída
 Q_r – quantidade de peças rejeitadas
 Q_p – quantidade de peças recuperadas

Verificam-se, as seguintes relações:

$$Q_e = \frac{Q_s}{(1-r)}$$

Quantidade de peças à entrada

$$Q_p = \frac{Q_e \cdot p}{(1-p)}$$

Quantidade de peças recuperadas

Em que: r – peças rejeitadas por cada 100 peças entradas;
 p – peças recuperadas por cada 100 peças entradas.

Quando as peças recuperadas o são de uma só vez na linha, a expressão anterior assume a forma:

$$Q_p = p \cdot Q_e$$

Quantidade de peças recuperadas

Na maioria dos casos em produção discreta, as peças são recuperadas de uma só vez. Existem porém exceções. Por exemplo, no caso dos produtos cerâmicos, o caco resultante de peças partidas é recuperado e pode recircular inúmeras vezes. Contudo, se a peça já se encontra pintada, volta para ser retocado – e uma única vez.

E o tempo total T necessário à produção de Q_s (quantidade de peças boas à saída) é dado por:

$$T = t \cdot Q_e + \frac{t}{\eta} \cdot Q_p$$

Tempo necessário para produzir Q_s peças boas

Em que: T – Tempo total necessário à produção de Q_s
 t – Tempo unitário *standard*
 η – Rendimento de recuperação

Em ambiente de produção contínua (pós, líquidos, pastas, granulados, etc.), a recuperação processa-se ao mesmo ritmo que a produção normal, pelo que o rendimento de recuperação $\eta = 1$. Logo, a expressão anterior assume a forma:

$$T = t \cdot (Q_e + Q_p)$$

Tempo necessário para produzir Q_s unidades de produto bom

Exemplo 1.4

Pretende-se obter 100 unidades boas de um produto numa máquina que apresenta (para este tipo de produto), uma taxa de rejeição de 5% e uma taxa de recuperação de 10%. O tempo unitário *standard* é 1 minu-
to/unidade. Quanto tempo é necessário nas seguintes condições:

- O processo de transformação é contínuo (pasta) e a unidade de gestão é o Kg (o produto recirculado é-lo de forma contínua).
- O processo de transformação é discreto e a unidade de gestão é a peça (as peças retrabalhadas são-no de uma única vez com um rendimento de 50%);
- O processo de transformação é discreto e a unidade de gestão é a peça (as peças retrabalhadas podem repetir-se e são-no com um rendimento de 50%).

Recorrendo às expressões anteriores, teremos, sucessivamente:

- $Q_e = 100 / (1 - 0,05) = 105,26 \text{ Kg}$
 $Q_p = 105,26 \times 0,10 / (1 - 0,10) = 11,70 \text{ Kg}$
 $T = 1 \times (105,26 + 11,70) = 116,96 \text{ min}$
- $Q_e = 100 / (1 - 0,05) = 105,26 \cong 106 \text{ peças}$
 $Q_p = 106 \times 0,10 = 10,6 \cong 11 \text{ peças}$
 $T = 1 \times 106 + 1 / 0,5 \times 11 = 128 \text{ min}$
- $Q_e = 100 / (1 - 0,05) = 105,26 \cong 106 \text{ peças}$
 $Q_p = 106 \times 0,10 / (1 - 0,1) = 11,78 \cong 12 \text{ peças}$
 $T = 1 \times 106 + 1 / 0,5 \times 12 = 130 \text{ min}$

1.5.1 O problema do valor médio

Notar que os valores de $r\%$ e de $p\%$ resultam do tratamento estatístico de informação histórica colhida nos relatórios de produção dos produtos, ou são estimados quando não existe experiência anterior. Enquanto no caso de $p\%$, o valor introduzido nos cálculos pode ser o valor da média estatística da distribuição em frequência das recuperações reportadas, o valor de $r\%$ já não deve ser o da média mas maior que este. Com efeito, quando se selecciona o valor médio de uma distribuição em frequência típica das rejeições – distribuição quase sempre simétrica – a probabilidade (ou risco) de haver que processar mais material para completar a encomenda é de 50% – o que se pode considerar demasiadamente elevado. Quando a quantidade de uma encomenda de um cliente tem de ser escrupulosamente cumprida, se as rejeições forem superiores ao valor médio considerado nos cálculos, colocam-se duas decisões alternativas: i) pedir ao cliente que “aceite” a menor quantidade – contribuindo assim para a degradação da qualidade de serviço – ou ii) produzir uma nova quantidade especialmente para completar aquela encomenda – incorrendo em custos acrescidos. Vejamos um exemplo.

Exemplo 1.5

Da análise estatística dos valores de rejeições de um processo de fabrico resultou o Quadro de frequências bem como a sua representação gráfica (Figura 1.3) os quais podem ser vistos seguidamente.

Lim. inferior intervalo ($r\%$)	Lim. superior intervalo ($r\%$)	$p(i)\%$	$P(i)\%$	Médias
1	2	0,10	0,10	1,36
2	4	1,96	2,06	2,92
4	6	13,02	15,08	4,72
6	8	36,28	51,36	6,33
8	10	33,57	84,92	7,39
10	12	12,96	97,89	7,86
12	14	1,96	99,85	7,96
14	16	0,15	100,00	7,98

Da análise podemos concluir que o processo gera rejeições com uma média e um desvio padrão aproximados de 8% e 2%, respectivamente.

Se se tolerar um risco de apenas 15% de repetição do fabrico para completar a encomenda ou, de outra forma, se se pretender garantir uma probabilidade de completamento de $100 - 15 = 85\%$, deve-se seleccionar $r = 10\%$ (procura-se o valor mais próximo de 85% na 4ª coluna do Quadro anterior e lê-se o valor do limite superior do intervalo de $r\%$ na 2ª coluna).

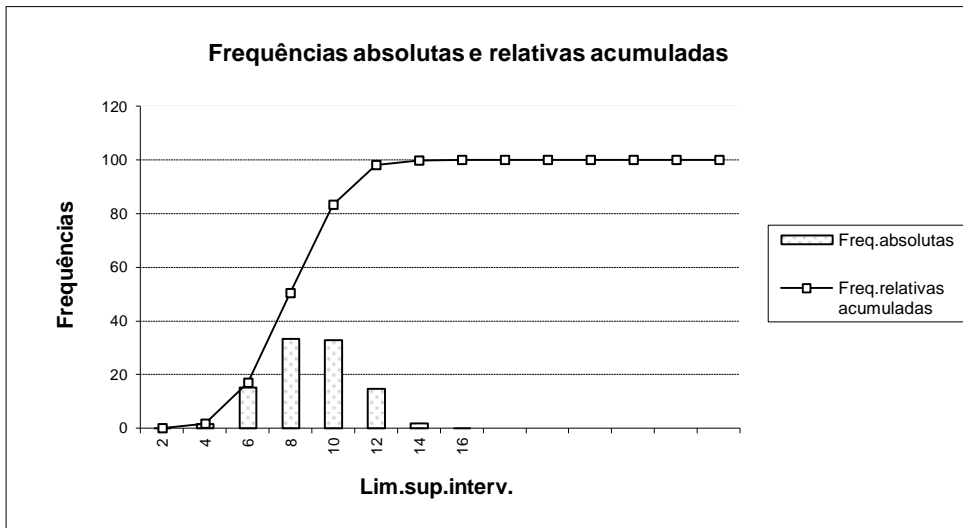


Figura 1.3 – Histograma dos valores de rejeição de um processo de produção

1.5.2 Sequência de Postos de Trabalho

Quando existe uma linha composta por vários postos de trabalho (ou estações) que processam peças em série, apresentando cada um destes valores específicos de rejeição, de recuperação e respectivos rendimentos, a resposta à questão de quantas peças devem ser entregues à linha de forma a obter-se uma determinada quantidade útil Q_s , constitui uma generalização da análise feita anteriormente e implica o recurso ao cálculo pelo método das cadeias de *Markov* ou de simulação.

A Figura 1.4 adiante ilustra o caso – mais frequente – de existência de rejeições em cada estação da linha (3 neste caso).

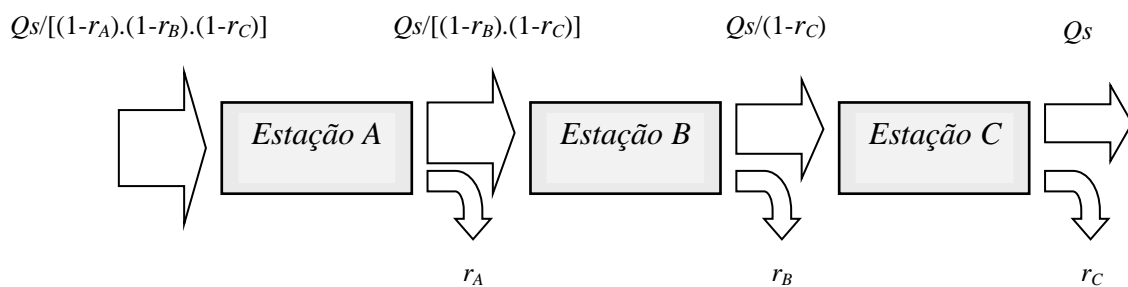


Figura 1.4 – Linha de produção em que se verificam rejeições nas três estações

A quantidade de peças à entrada Q_e teria de ser calculada pela expressão:

$$Q_e = \frac{Q_s}{(1-r_A).(1-r_B).(1-r_C)}$$

No caso geral de n postos de trabalho, teríamos:

$$Q_e = \frac{Q_s}{\prod_1^n (1-r_i)}$$

Quantidade de peças à entrada Q_e para produzir Q_s peças boas

Generalizando, processos mais complexos envolvendo sucessivas rejeições e recirculações para o mesmo ou para alguns postos de trabalho a montante, têm de ser formulados sob a forma de cadeias de *Markov* ou solucionados recorrendo ao método de simulação numérica de Monte Carlo.

1.6 Custos de oportunidade

Os chamados “custos de oportunidade” constituem encaixes de dinheiro potenciais, mas que deixam de se realizar devido às circunstâncias particulares de uma decisão. Por exemplo, no caso de um equipamento usado cuja alienação se adia por mais 1 ano, o seu valor venal (de venda no mercado de usados) no estado actual, constitui um custo de oportunidade. Outro exemplo, é constituído por um equipamento quando pára ou quando a sua cadência normal de funcionamento diminui devido à ocorrência de uma falha de qualidade do processo de produção (defeitos, avarias, desregulações, etc.). Estes incidentes podem ter origem no próprio equipamento ou noutros a montante.

Se o equipamento constitui um estrangulamento de produção e o tempo perdido não pode ser recuperado noutro momento qualquer, então, verifica-se um custo de oportunidade correspondente à perda económica da produção que não foi realizada e, logo, não foi vendida. O custo de oportunidade será calculado pelo produto do nº de unidades não produzidas durante o período da paragem (ou de diminuição da cadência) pela margem de contribuição unitária. Esta margem é calculada pela diferença entre o preço unitário líquido de venda e o custo unitário variável.

Se o equipamento constitui um estrangulamento de produção, mas o tempo perdido pode ser recuperado em horas extraordinárias de trabalho, então, verifica-se um custo de oportunidade que é, desta vez, igual ao montante de horas extraordinárias pagas a todo o pessoal que as realizou.

Exemplo 1.6

Um produto é produzido numa linha ao ritmo de 600 unidades/hora e é vendido por 5 €/unidade (preço líquido de quaisquer descontos). A sua estrutura de custos é a seguinte:

Custo variável:

Matéria-prima:	2,00 €/unidade
Transformação (energia, consumíveis, etc.):	0,50 €/unidade
Custo fixo (m.d.o., amortizações, etc.):	<u>1,50 €/unidade</u>
Total:	4,00 €/unidade

- Qual é o valor do custo de oportunidade de cada hora perdida?
- Qual é o valor do custo de oportunidade de cada hora de produção recuperada em horas extraordinárias por 6 operadores que custam à empresa 15 €/hora extra e por operador?
- Qual o custo de oportunidade de cada hora de produção quando a empresa, impossibilitada de produzir, compra o mesmo produto a um parceiro de indústria por 3 €/unidade?

- a) A margem de contribuição unitária (perdida) é calculada pela diferença entre o preço de venda líquido e o custo variável:

$$5,00 - (2,00 + 0,50) = 2,50 \text{ €/unidade}$$

Notar que esta margem de contribuição (m.c.) pode ser dividida nas duas parcelas seguintes:

m.c. para cobertura dos custos fixos:	1,50 €/unidade
m.c. para o lucro: $2,50 - 1,50 =$	<u>1,00 €/unidade</u>
Total:	2,50 €/unidade

O custo horário de oportunidade será, então, igual ao produto da margem de contribuição unitária pela produção perdida durante uma hora.

$$2,50 \times 600 = 1.500 \text{ €/hora de paragem}$$

- b) Neste caso, o custo horário de oportunidade será:

$$6 \times 15 = 90 \text{ €/hora de paragem}$$

- c) Neste caso, a empresa ganha apenas $5 - 3 = 2 \text{ €/unidade}$, quando podia ganhar $2,5 \text{ €/unidade}$. A empresa perde pois $3 - 2,5 = 0,5 \text{ €/unidade}$ ou $500 \times 0,5 = 250 \text{ €/hora}$.

Actividades/Avaliação

1.1 Uma linha de produção é composta por 3 PT's. As capacidades nominais de cada um dos PT's e as respectivas disponibilidades encontram-se descritas no Quadro a seguir.

	PT A	PT B	PT C
Capacidade nominal (unid./hora)	10	12	8
Disponibilidade	0,80	0,60	0,95

Qual a capacidade da linha nas seguintes circunstâncias:

- Não existem acumuladores (*buffers*) entre cada dois PT's;
- Existem acumuladores (*buffers*) entre cada dois PT's (enquanto os acumuladores tiverem material).

1.2 Uma empresa de confecções deseja adquirir um nº suficiente de máquinas de estampar para produzir 30.000 camisas por mês. Estas máquinas estarão disponíveis 200 horas/mês, mas o Planeamento reserva 30% deste tempo para outros fabricos. A Engenharia prevê que a operação de estampagem dure 1 minuto/camisa, que a disponibilidade da linha seja de 90% e que se verifiquem 4% de rejeições de qualidade. Nestas circunstâncias, quantas máquinas de estampar serão precisas?

1.3 É necessário montar 500 casas prefabricadas em 10 semanas de 40 horas cada. O tempo *standard* necessário para montar uma casa é 150 minutos. A eficiência, face à qualificação média do pessoal disponível, é estimada em 95%. A disponibilidade, face à fiabilidade do equipamento existente e à assiduidade do pessoal, é estimada em 90%. A activação, face a experiências anteriores, é estimada em 80%. Uma hora normal é paga a 5 € e uma hora extra é paga a 7,5 €. Pretende-se saber:

- Qual o nº de operadores necessários;
- Qual a alternativa mais económica – menor nº de operadores sobreocupados fazendo horas extraordinárias, ou maior nº de operadores sub-ocupados?

1.4 Uma empresa acabou de assinar um contrato com um fabricante automóvel para o fornecimento de 500 peças/dia de grande precisão. A produção de cada peça compreende 3 operações: fresagem, rectificação e polimento. O custo do material é de 10 €/unidade. Toda a informação pertinente para esta fabricação encontra-se descrita adiante.

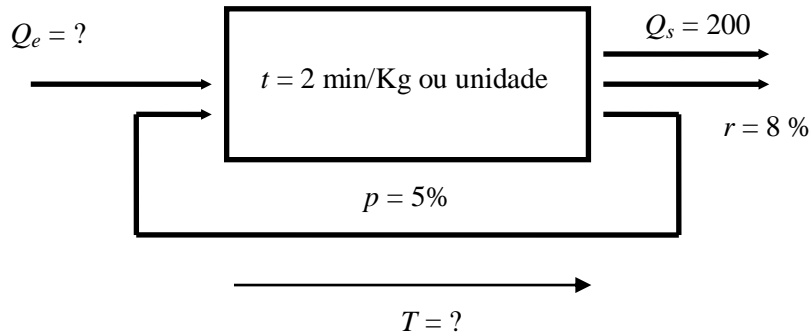
Sequência	Horas/dia	Tempo unitário (minutos)	Indisponibilidade média (%)	Quantidade média rejeitada (%)	Energia (€/unidade)	Centro de custo (€/hora)
Fresagem	8	6	14	3	1	75
Rectificação	8	2	8	7	1,5	100
Polimento	8	4	12	5	2	130

- Quantas máquinas de cada tipo são necessárias alocar em cada dia?
- Se só existirem 7 máquinas de fresar, quantas horas extraordinárias por dia deverão ser realizadas para cumprir com aquele programa?
- Qual o custo unitário de não-qualidade?

1.5 Pretende-se maquinar um lote de peças que originam normalmente 5% de rejeições. Verifica-se também 8% de peças recuperadas. Estas voltam à máquina que as recupera com um rendimento de 70%. O tempo *standard* é igual a 1 minuto/peça. A quantidade necessária obter é 500 unidades.

- a) Quantas peças em bruto deverão ser entregues à máquina?
- b) Quanto tempo é necessário para obter as 500 unidades?

1.6 A figura seguinte mostra esquematicamente um processo de produção de um determinado produto.



Pretende-se conhecer a quantidade de material que deve ser processado Q_e bem como o tempo total de processamento T , nas seguintes condições:

- a) O processo de transformação é contínuo (pasta) e é gerido em Kg (o produto recirculado é-lo de forma contínua);
- b) O processo de transformação é discreto e é gerido em unidades (as peças retrabalhadas são-no de uma única vez com um rendimento de 50%).

1.7 O controlo de qualidade realizado à saída de uma linha de produção apresenta, para um determinado produto, cujo tempo unitário *standard* de fabricação é 2 minutos, os seguintes registos (resultantes de tratamento estatístico dos dados históricos):

% das observações	Peças rejeitadas (% da entrada)	% das observações	Peças recuperadas (% da entrada)
20	]2 – 4]	15	]2,5 – 3,5]
30	]4 – 6]	20	]3,5 – 4,5]
40	]6 – 8]	30	]4,5 – 5,5]
10	]8 – 10]	20	]5,5 – 6,5]
		15	]6,5 – 7,5]

A recuperação é realizada com um rendimento médio de 50%. O custo horário da linha é de 150 €. O custo do material é de 2,5 €/peça. Nestas condições, e sendo necessário fabricar um lote de 200 peças, pretende-se saber:

- a) Quantas peças em bruto deverão ser entregues à máquina aceitando um risco igual a 10% de não conseguir completar aquela quantidade?
- b) Quanto tempo é necessário para obtenção das 200 unidades boas?
- c) Qual o custo unitário deste produto?
- d) Qual o custo unitário da não-qualidade?

1.8 Uma empresa de cerâmica recebe uma encomenda de um cliente para 10.000 azulejos com uma pintura alusiva a uma comemoração. Este tipo de azulejos pode ser fabricado em duas linhas alternativas (moldagem e cozimento) as quais apresentam custos horários e desempenhos diferentes, conforme se pode verificar nos Quadros seguintes.

Características	Linha A	Linha B
Tempo unitário	15 seg/unid	10 seg/unid
Custo hora-máquina	100 €/hora	140 €/hora
Rendimento de recuperação	60%	80%
Custo da matéria prima	5 €/unid	5 €/unid
Custo da energia:	-	-
- primeira vez	4 €/unid	4,5 €/unid
- recuperações	2 €/unid	3 €/unid

O controlo de qualidade realizado à saída de cada uma das linhas apresenta os seguintes registos (resultantes de tratamento estatístico dos dados históricos):

<i>Linha A</i>			
% das observações	Peças rejeitadas (r% da entrada)	% das observações	Peças recuperadas (p% da entrada)
15	]1 – 3]	15	]3,5 – 4,5]
30	]3 – 5]	20	]4,5 – 5,5]
40	]5 – 7]	30	]5,5 – 6,5]
15	]7 – 9]	20	]6,5 – 7,5]
		15	]7,5 – 8,5]

<i>Linha B</i>			
% das observações	Peças rejeitadas (r% da entrada)	% das observações	Peças recuperadas (p% da entrada)
10	]6 – 7]	10	]1,5 – 2,5]
25	]7 – 8]	25	]2,5 – 3,5]
50	]8 – 9]	30	]3,5 – 4,5]
15	]9 – 10]	25	]4,5 – 5,5]
		10	]5,5 – 6,5]

Aceitando um risco máximo de 15% de não conseguir completar aquela quantidade numa única ordem de fabrico e considerando os valores médios das taxas de recuperação, responda às seguintes questões:

- Se o critério for o cumprimento escrupuloso da data de entrega prometida (dentro de 40 horas úteis), em qual das linhas deve esta encomenda ser realizada?
- Se o critério for a economia de operação, em qual das linhas deve esta encomenda ser realizada?
- Em ambos os casos, qual o custo unitário de não-qualidade?
- Se o preço líquido de venda for 16 €/unidade, qual o custo de oportunidade horário de cada uma das linhas?
- Se 5.000 unidades desta encomenda tiverem de ser subcontratadas pelo custo de 13 €/unidade devido a uma avaria, qual o custo de oportunidade sofrido em cada uma das linhas?

Nota: Ter em conta que as quantidades rejeitadas e recuperadas podem recircular indefinidamente.

1.9 Um produto é produzido numa linha ao ritmo de 500 unidades/hora e é vendido por 20 €/unidade. A sua estrutura de custos é a seguinte:

Custo variável:	
Matéria-prima:	7 €/unidade
Transformação (energia, consumíveis, etc.):	2 €/unidade
Custo fixo (mão-de-obra, amortizações, etc.):	<u>5 €/unidade</u>
Total:	14 €/unidade

- a) Qual o custo de oportunidade de cada hora perdida de produção não recuperável noutra ocasião?
- b) Qual o custo de oportunidade de cada hora de produção diferida e recuperada em horas extraordinárias por 6 operadores que custam à empresa 30 €/hora extra e por operador?
- c) Qual o custo de oportunidade de cada hora de funcionamento quando a empresa se vê obrigada a aumentar a cadência para 600 unidades/hora, correspondente a um regime com um rendimento 15% abaixo do óptimo (ou 15% acima do custo variável mínimo) de forma a compensar o tempo perdido de uma paragem?
- d) Qual o custo de oportunidade de cada hora de funcionamento quando a empresa se vê obrigada a diminuir a cadência para 400 unidades/hora, correspondente a um rendimento 20% abaixo do óptimo (ou 20% acima do custo variável mínimo) e esta produção perdida não é recuperável noutra ocasião?
- e) Qual o custo de oportunidade de uma unidade de produto quando a empresa, impossibilitada de produzir, compra o mesmo produto a um parceiro de indústria por 14 €/unidade?
- f) Nas condições iniciais, o controlo de qualidade realizado à saída da linha rejeita uma parte dos produtos e reenvia outra parte para a entrada. Estas não-conformidades totalizam em média 2% e 5%, respectivamente. Qual a produção horária boa possível obter nestas condições?
- g) Supondo o rendimento de recuperação igual a 100%, qual o custo de oportunidade de uma unidade de produto resultante destes defeitos de qualidade?

Soluções das Actividades propostas

1.1

a)

$$C_L = C_{gg} \cdot \prod_1^n D_i = \min[C_i] \cdot \prod_1^n D_i = \min[10;12;8] = 8 \times 0,80 \times 0,60 \times 0,95 = 3,65 \text{unid / hora}$$

b)

$$C_L = \min[C_i \cdot D_i] = \min[10 \times 0,80; 12 \times 0,60; 8 \times 0,95] = 12 \times 0,60 = 7,20 \text{unid / hora}$$

1.2

$$C = T \times D = (1 - 0,3) \times 200 \times 0,9 = 126 \text{ horas}$$

$$Q = 30.000 / (1 - 0,04) \times 1 \times 1/60 \cong 521 \text{ horas}$$

$$n = Q/C = 521/126 = 4,13 \cong 4 \text{ ou } 5 \text{ máquinas}$$

Se se optar por 4 máquinas, haverá que recorrer a horas extraordinárias, se se optar por 5, haverá algum tempo de ócio. Só uma análise económica permitiria concluir por uma ou por outra alternativa.

1.3

Carga: $Q = T_s/\varepsilon = (500 \times 150) / (60 \times 0,95) = 1.316 \text{ horas}$

Tempo disponível: $T = 10 \times 40 = 400 \text{ horas}$

Capacidade necessária: $C = T \times D \times A = 400 \times 0,9 \times 0,8 \times n = 288 \times n$

Operadores necessários: $n = 1.316 / 288 = 4,57 \cong 4 \text{ ou } 5 \text{ operadores}$

a) Se se contratarem 5 operadores, o tempo total da sua sua presença será $5 \times 400 = 2.000$ horas. Como a carga é 1.316 horas, os 5 operadores ficarão sub-ocupados $2.000 - 1.316 = 684$ horas, ou seja, $(5 \times 288 - 1.316) / (0,9 \times 0,8) = 172$ horas em pausas devido às descontinuidades do trabalho e $684 - 172 = 512$ horas sem trabalho.

Se se contratarem 4 operadores, a sua capacidade prática será de $4 \times 288 = 1.152$ horas, ficando sobre-ocupados $(1.152 - 1.316) / (0,9 \times 0,8) = 228$ horas extraordinárias;

b) A alternativa de 4 operadores ($4 \times 400 \times 5 + 228 \times 7,5 = 9.710$ €) é mais económica do que a alternativa de 5 operadores ($5 \times 400 \times 5 = 10.000$ €), embora só marginalmente. Na prática, seria mais confiável optar por 5 operadores.

1.4

a)

Produção necessária:

Polimento: $500 / (1 - 0,05) = 527 \text{ unidades/dia}$

Rectificação: $527 / (1 - 0,07) = 567 \text{ unidades/dia}$

Fresagem: $567 / (1 - 0,03) = 585 \text{ unidades/dia}$

Carga:Fresagem: $6/60 \times 585 = 58,5$ horas/diaRectificação: $2/60 \times 567 = 18,9$ horas/diaPolimento: $4/60 \times 527 = 35,13$ horas/diaCapacidade:Fresagem: $8 \times (1 - 0,14) = 6,88$ horas/dia.máquinaRectificação: $8 \times (1 - 0,08) = 7,36$ horas/dia.máquinaPolimento: $8 \times (1 - 0,12) = 7,04$ horas/dia.máquinaNº de máquinas necessárias:Fresagem: $58,5 / 6,88 \cong 9$ máquinasRectificação: $18,9 / 7,36 \cong 3$ máquinasPolimento: $35,13 / 7,04 \cong 5$ máquinas

b)

$$58,5 - 7 \times 6,88 = 10,34 \cong 11 \text{ horas}$$

c)

$$\text{Custo unitário real} = [(585 \times 10) + (585 \times 1 + 567 \times 1,5 + 527 \times 2) + (58,5 \times 75 + 18,9 \times 100 + 35,13 \times 130)] / 500 = 38,37 \text{ €/unidade}$$

$$\text{Custo unitário ideal} = 10 + (1 + 1,5 + 2) + (6/60 \times 75 + 2/60 \times 100 + 4/60 \times 130) = 34 \text{ €/unidade}$$

$$\text{Custo de não-qualidade} = 38,37 - 34 = 4,37 \text{ €/unidade}$$

1.5

Sendo: $r = 0,05$; $p = 0,08$; $\eta = 0,70$; $t = 1$ min/peça; $Q_s = 500$, teremos:

a) $Q_e = 500 / (1 - 0,05) = 526,3 \cong 527$ peças

$Q_p = 527 \times 0,08 / (1 - 0,08) = 45,83 \cong 46$ peças

b) $T = 1 \times 527 + 1/0,70 \times 46 \cong 593$ minutos $\cong 10$ horas

1.6

a) $Q_e = 200 / (1 - 0,08) = 217,39$ Kg

$Q_p = 217,39 \times 0,05 / (1 - 0,05) = 11,442$ Kg

$T = 2 \times (217,39 + 11,442) = 457,664$ minutos = $7,63$ horas $\cong 8$ horas

b) $Q_e = 200 / (1 - 0,08) = 217,39 \cong 218$ peças

$Q_p = 218 \times 0,05 = 10,9 \cong 11$ peças

$T = 2 \times 218 + 2/0,50 \times 11 = 480$ minutos = 8 horas

1.7

a) A percentagem de rejeições r que deve ser seleccionada, de modo a que o risco de não completar as 200 unidades seja $< 10\%$, é igual a 8% .

Logo: $Q_e = 200 / (1 - 0,08) = 217,39 \cong 218$ unidades

b) A percentagem de recuperações p que deve ser seleccionada é igual à média, ou seja, 5% .

Logo: $Q_p = 218 \times 0,05 / (1 - 0,05) = 11,47 \cong 12$ unidades

$T = 2 \times 218 + 2 / 0,5 \times 12 = 484$ min $\cong 9$ horas

c) $C_u = (2,5 \times 218) / 200 + (484/60 \times 150) / 200 = 8,775$ €/unidade

d) $C_{nq} = 8,775 - (2,5 + 2/60 \times 150) = 8,775 - 7,50 = 1,275$ €/unidade

1.8

a)

Linha A:

$$Q_e = 10.000 / (1 - 0,07) = 10.753 \text{ unid}$$

$$Q_p = 0,06 / (1 - 0,06) \times 10.753 = 686,34 \text{ unid}$$

$$T = 15/60 \times 10.753 + 15/(60 \times 60) \times 1/0,6 \times 686,34 \cong 50 \text{ horas}$$

Linha B:

$$Q_e = 10.000 / (1 - 0,09) = 10.989$$

$$Q_p = 0,04 / (1 - 0,04) \times 10.990 = 457,88$$

$$T = 10/60 \times 10.989 + 10/(60 \times 60) \times 1/0,8 \times 457,88 \cong 32 \text{ horas}$$

Logo, terá de ser na linha B, pois na A ultrapassar-se-iam as 40 horas.

b)

Linha A:

$$CT = 10.753 \times (5 + 4) + 49 \times 100 + 686,34 \times 2 = 103.147 \text{ €}$$

Linha B:

$$CT = 10.989 \times (5 + 4,5) + 32 \times 140 + 457,88 \times 3 = 110.249 \text{ €}$$

Logo, terá de ser na linha A, pois é a mais económica.

c)

Linha A:

$$c(\text{ideal}) = (5 + 4) + 15/(60 \times 60) \times 100 = 9,42 \text{ €/unid}$$

$$c(\text{real}) = 103.147 / 10.000 = 10,32 \text{ €/unid}$$

$$C(nQ) = 10,32 - 9,42 = 0,90 \text{ €/unid}$$

Linha B:

$$c(\text{ideal}) = (5 + 4,5) + 10/(60 \times 60) \times 140 = 9,89 \text{ €/unid}$$

$$c(\text{real}) = 110.249 / 10.000 = 11,03 \text{ €/unid}$$

$$C(nQ) = 11,03 - 9,89 = 1,14 \text{ €/unid}$$

d)

Linha A:

$$m.c. = 16 - (5 + 4) = 7 \text{ €/unid}$$

$$C.oport. = 60/(15/60) \times 7 = 1.680 \text{ €/hora}$$

Linha B:

$$m.c. = 16 - (5 + 4,5) = 6,5 \text{ €/unid}$$

$$C.oport. = 60/(10/60) \times 6,5 = 2.340 \text{ €/hora}$$

e)

Linha A:

$$m.c. \text{ com subcontratação} = 16 - 13 = 3 \text{ €/unid}$$

$$m.c. \text{ perdida} = 7 - 3 = 4 \text{ €/unid}$$

$$C.oport. = 5.000 \times 4 = 20.000 \text{ €}$$

Linha B:

$$m.c. \text{ com subcontratação} = 16 - 13 = 3 \text{ €/unid}$$

$$m.c. \text{ perdida} = 6,5 - 3 = 3,5 \text{ €/unid}$$

$$C.oport. = 5.000 \times 3,5 = 17.500 \text{ €}$$

1.9

- a) A margem de contribuição unitária (perdida) é calculada pela diferença entre o preço de venda líquido e o custo variável: $20 - (7 + 2) = 11$ €/unidade. Esta margem de contribuição (m.c.) pode ser dividida nas duas parcelas seguintes:

m.c. para cobertura dos custos fixos:	5 €/unidade
m.c. para formação do lucro:	6 €/unidade
Total:	11 €/unidade

O custo horário de oportunidade será, então, igual ao produto da margem de contribuição unitária pela produção perdida, ou seja, $11 \times 500 = 5.500$ €/hora de paragem.

- b) Neste caso, o custo horário de oportunidade será: $6 \times 30 = 180$ €/hora de paragem.
- c) A empresa não perde a venda mas produz com um custo variável 15% mais elevado. O custo de oportunidade será então apenas $0,15 \times (7 + 2) = 1,35$ €/unidade. Ou, de uma forma mais elaborada, a m.c. era 11 €/unidade e agora é de $20 - (7 + 2 + 1,35) = 9,65$ €/unidade. Logo, o custo de oportunidade será igual à diferença entre as m.c., ou seja, $11 - 9,65 = 1,35$ €/unidade. A produção recuperada representará então um custo de oportunidade de $600 \times 1,35 = 810$ €/hora.
- d) A empresa perde a venda da diferença entre a produção nominal e a real, ou seja, $500 - 400 = 100$ unidades/hora. O custo de oportunidade por esta produção perdida será $100 \times 11 = 1.100$ €/hora. Mas, para além desta, a produção conseguida de 400 unidades/hora é degradada, apresentando um custo variável superior de $0,20 \times (7 + 2) = 1,80$ €/unidade. Logo o custo de oportunidade total será $1.100 + 400 \times 1,8 = 1.820$ €/hora.
- e) Neste caso, a empresa ganha apenas $20 - 14 = 6$ €/unidade, quando podia ganhar 11 €/unidade. A empresa perde pois $11 - 6 = 4$ €/unidade.
- f) A linha processa 500 unidades/hora. Destas, $0,02 \times 500 = 10$ unidades são rejeitadas e $0,05 \times 500 = 25$ unidades voltam ao princípio. A produção boa será então $500 - (10 + 25) = 465$ unidades/hora.
- g) Em cada hora em que a linha produz 465 unidades boas, registam-se, em média, 10 unidades rejeitadas que custam $10 \times (7 + 2) = 90$ € e 25 unidades recuperadas que custam $25 \times 2 = 50$ €. Aquelas 465 unidades custarão então $90 + 50 = 140$ € a mais. O custo de oportunidade por unidade produzida será então de $140 / 465 = 0,30$ €/unidade.

Notar que, se quisermos considerar um custo de oportunidade para efeitos de apoio à decisão em qualquer momento, temos de calcular a capacidade média, o preço médio e o custo variável médio; os três ponderados com os volumes de produção dos vários produtos previstos produzir no curto prazo (alguns meses) na linha.

Bibliografia

- ASSIS, Rui, Mário Figueira - MICROFLOW, *Produção JUST-IN-TIME*, Lisboa, IAP-MEI, 1993
- BLACKSTONE, John H. Jr, *Capacity Management*, Cincinnati, South-Western Publishing Co., 1989
- CHASE, Richard B. e Nicholas J. Aquilano, *Production and Operations Management, Manufacturing and Services*, Boston, Irwin, Mc Graw-Hill Intern. Edit., 1998
- HEIZER, Jay e Barry Render, *Production and Operations Management*, Boston, Allyn and Bacon, 1991