

“Capacidade de um processo de fabrico e sua implicação nos custos”

Rui Assis

Engenheiro Mecânico IST

rassis@rassis.com

<http://www.rassis.com>

Janeiro 2004

1. Capacidade de um processo

Neste ponto abordamos a questão da “capacidade disponível” ou do “excesso de capacidade”. Esta é uma questão polémica nas empresas e que opõe tradicionalmente o pessoal das Vendas ao da Produção. Alguns autores como Cokins [3] e O’Guin [7] abordam este tema, embora superficialmente, sustentando que o custo do excesso de capacidade deve ser bem definido e reportado periodicamente de forma a induzir acções no sentido da sua redução, ou seja, no sentido da utilização mais intensiva (maior número de horas de utilização) do equipamento existente. Vejamos como.

De acordo com Cokins [3], os dados em ABC/ABM podem ser estruturados de forma a introduzir um objectivo neutro e simultaneamente benéfico para ambas as partes. Este objectivo consistirá em reduzir o custo do excesso de capacidade - as Vendas podem reduzir excesso de capacidade preenchendo-a com novas encomendas de clientes e a Produção pode fazer o mesmo, uniformizando o fluxo de produção e reduzindo os tempos mortos. Cokins fala mesmo de um movimento que sustenta que em ABC/ABM, a capacidade total (ou teórica) deve se considerada como correspondendo a 24 horas/dia, 365(6) dias/ano. Esta capacidade teórica divide-se em três grandes categorias:

1. **Capacidade em excesso.** Por razões de política interna, legais, ou de acordos sindicais, uma empresa adopta um calendário próprio para cada linha de produção. Este calendário estabelece normalmente regimes máximos de trabalho semanal (horas extraordinárias, número de turnos, etc.) e exclui feriados e férias como períodos laboráveis;

2. **Capacidade não produtiva.** Corresponde ao tempo em que o equipamento possui carga (trabalho alocado) mas encontra-se parado e aguardando pelo fim de interrupções, devidas a, por exemplo:

- acções de reparação ou de manutenção;
- mudanças de série (troca de ferramentas, afinações e perdas de material e de tempo durante o início da nova série) – *set-ups & start-ups*;
- falhas de energia (eléctrica, pneumática, etc.);
- ausência de instruções técnicas de operação;
- falhas de continuidade do fluxo de materiais dos equipamentos a montante ou de um armazém.



Corresponde ainda ao tempo em que o equipamento funciona desnecessariamente, seja porque:

- tem de produzir uma maior quantidade para compensar rejeições posteriores devidas a defeitos de qualidade;
- tem de produzir durante mais tempo do que o normal para recuperar peças aceites pela Qualidade sob condição;
- tem de produzir durante mais tempo do que o normal devido a ineficiência (cadência mais baixa) do operador e/ou do processo;

3. **Capacidade produtiva.** Corresponde ao tempo dispendido na produção de produtos que os clientes adquirem e na realização de experiências para desenvolvimento de novos produtos

ou de novos processos.

O quadro seguinte sintetiza todos estes factores.

Capacidade teórica (24 horas/dia x 365(6) dias/ano	Capacidade em excesso 	Sem mercado	Excesso não utilizável
		Além limites	Política interna
			Legal
			Contratual
	Vendável	Utilizável	
	Capacidade não produtiva	Interrupções	Falha de energia
			Ausência do(s) operador(es)
			Atrasos originados a montante
		Desperdícios	Rejeitados (sucata)
			Refeitos (recuperados)
			Eficiência baixa (operador/processo)
		Manutenção	Correctiva
	Preventiva		
	Preparações e arranques (<i>set-ups & start-ups</i>)	Mudança de ferramentas	
		Afinações	
Capacidade produtiva 	Desenvolvimento de novos produtos		
	Desenvolvimento de novos processos		
	Produtos com qualidade (vendáveis)		
Função da Produção . Uniformizar o fluxo de produção . Reduzir desperdícios de tempo			
Função das Vendas . Obter mais encomendas			

Quadro 1.1 – Divisão da capacidade de um equipamento

Quando a capacidade é detalhada com este pormenor ao nível de cada equipamento, torna-se evidente a existência de um inimigo comum para as Vendas e para a Produção: a capacidade não produtiva.

A Produção pode focar os seus esforços na redução de *set-ups* e na melhoria da fiabilidade, da disponibilidade, da qualidade e da sincronização entre operações – o que resulta no aumento da capacidade não usada (em excesso). Este aumento proporciona a oportunidade das Vendas obterem mais encomendas, transformando assim, capacidade não usada (em excesso) em capacidade produtiva.

A evidência, sob a forma de relatórios periódicos dos custos destas três grandes categorias de capacidade ao nível de cada equipamento, torna-se um estigma e um incentivo para a gestão, desencadeando acções de melhoria nas áreas problemáticas.

1.1 Perspectiva do Processo (ABM)

Acabou de ver-se como este aspecto da capacidade em excesso é importante, sob o ponto de vista dos processos (ABM) e constatou-se até que ponto a sua quantificação pode gerar controvérsia. Contudo, embora os autores consultados não o refiram, considera-se importante distinguir entre os vários equipamentos, no que diz respeito ao papel que desempenham no normal fluxo de produção. Com efeito, não fará sentido procurar novas encomendas que possuam características particulares de forma a preencher a capacidade em excesso num qualquer equipamento. Aquela preocupação de quantificação e divulgação dos custos do excesso de capacidade só fará sentido no caso dos equipamentos que constituem estrangulamentos frequentes do fluxo de produção. É o caso da produção repetitiva, discreta por lotes ou em fluxo, ou da produção unitária intermitente (*job-shop*), onde os estrangulamentos são flutuantes, sendo cada equipamento, em cada momento, um potencial candidato.

Posto desta forma, parece desejável preencher a capacidade teórica tanto quanto possível. Na linha desta lógica, qualquer equipamento deveria funcionar a três turnos ou, mesmo, em regime contínuo. Se nada há a obstar ao efeito benéfico sobre a depreciação do equipamento (que se processa proporcionalmente ao tempo-calendário), pois o custo horário da depreciação será tanto menor quanto maior for o número de horas anuais de funcionamento (previsto ou efectivo), o mesmo já não se aplica a outros factores de custo.

Com efeito, a teoria económica clássica mostra que a curva do custo marginal de uma empresa apresenta uma forma em U e que o volume da sua actividade deve corresponder ao ponto em que o custo marginal iguala o proveito marginal, de forma a maximizar a margem de contribuição global (Ferguson [5]).

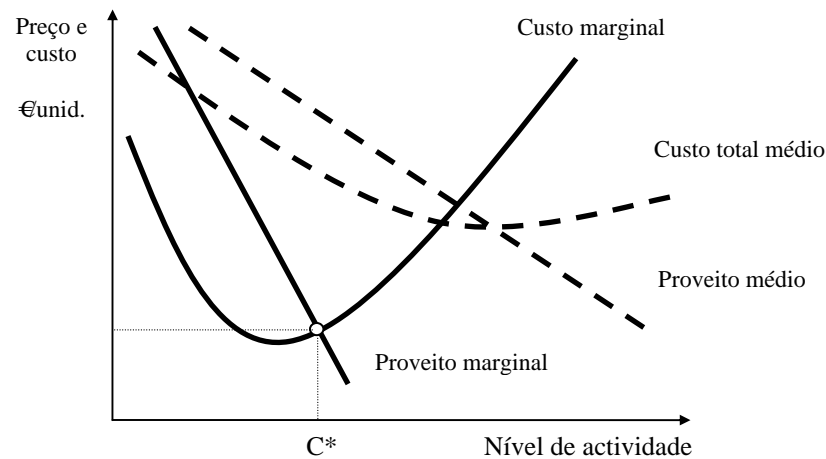


Figura 1.1 – A margem de contribuição é máxima no ponto onde o custo e o proveito marginal se cruzam

Na prática, como bem o descreve Inman [6], no caso linhas de produção automóvel nos EUA, a curva do custo marginal não possui aquela forma de U, nem tão-pouco é côncava, devido à influência da forma característica do custo da mão-de-obra quando o volume de actividade cresce (horas extraordinárias, horas de *lay-off* e regimes de turnos). Em consequência, pode existir mais do que um ponto onde o custo marginal iguala o proveito marginal, tornando-se desejável a avaliação destes pontos de modo a que a empresa possa optar pelo ponto correspondente à margem de contribuição máxima (ou ao regime de funcionamento óptimo económico). A figura seguinte ilustra bem este facto.

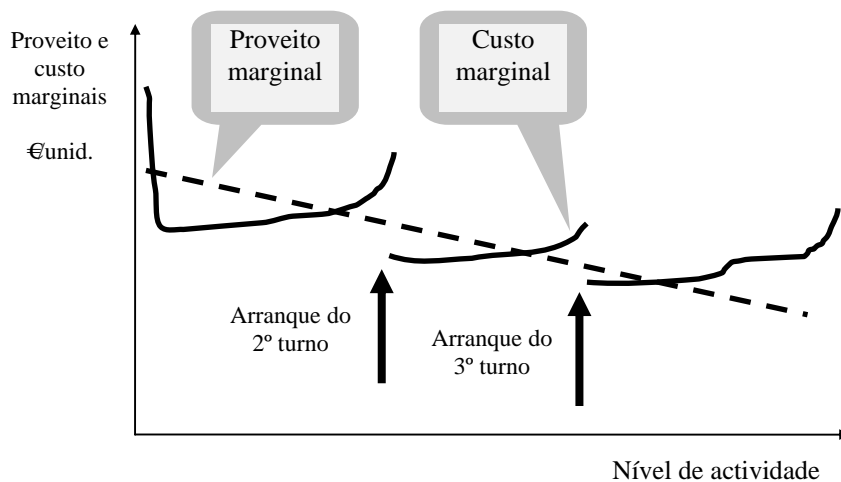


Figura 1.2 – Custo e proveito marginais observados numa linha de montagem auto

Se, por razões económicas, se optar pelo regime de funcionamento óptimo económico, deverá ser este o objectivo de preenchimento de capacidade e não qualquer outro. Não obstante, em casos particulares, as empresas podem ser levadas a optar por outros regimes-objectivo depois de ponderados factores de natureza política (social, ambiental, etc.) ou legal.

Em suma, voltando ao quadro anterior, pode-se concluir que, enquanto a capacidade produtiva e a não produtiva são conhecidas pela prática corrente ou facilmente extrapoláveis para outros regimes, a capacidade vendável (componente da capacidade em excesso) deverá ser fixada pela empresa depois de ponderados os critérios económicos ou de outra natureza, conforme foi referido atrás.

1.2 Perspectiva do Produto (ABC)

Suponhamos que uma empresa decide, de acordo com os procedimentos descritos na alínea anterior, fixar a capacidade objectivo de uma das suas linhas de produção em 3.600 horas/ano (regime de dois turnos, 11 meses/ano). A capacidade que a empresa prevê ocupar no próximo ano (capacidade produtiva + capacidade não produtiva) é apenas 2.400 horas. Suponhamos, ainda, que o custo anual previsto de depreciação da linha é 90 K€ Qual deverá ser o custo horário de depreciação? $90 \text{ K€} / 3.600 = 25 \text{ €/hora}$ ou $90 \text{ K€} / 2.400 = 37,5 \text{ €/hora}$? Se a linha produzir 10 unidades/hora, a diferença do custo unitário de produção é de $3,75 - 2,50 = 1,25 \text{ €/unidade}$ – resultado que pode não ser, de forma alguma, desprezável face aos restantes custos unitários.

Se se optar pela primeira alternativa (25 €/hora), um custo mais baixo favorecerá a prática de um preço mais baixo, o que, se existir elasticidade da procura, favorecerá, por sua vez, o aumento das vendas e, logo, o preenchimento da capacidade objectivo. Enquanto esta não for totalmente preenchida, uma parte do custo anual de depreciação não será absorvida pelos produtos fabricados e figurará como custo do período. Esta circunstância será posta em destaque pelos relatórios do Controlo de Gestão, devendo as Vendas empenhar-se na sua redução.

A segunda alternativa (37,5 €/hora) não faz sentido, pois, numa perspectiva estratégica dos custos (entendida como devendo influenciar comportamentos), implicaria alterações frequentes das estruturas de custo dos produtos ao sabor das variações do volume de produção decididas em função do comportamento dos mercados. Poderia mesmo verificar-se o efeito perverso de a empresa entrar numa espiral de custos progressivamente crescentes e de vendas progressivamente decrescentes.

1.3 Perspectiva do Planeamento

Será interessante comparar o significado de capacidade para efeitos de custeio, como se acabou de fazer, com capacidade para efeitos de Planeamento. Assim, esta última não procura induzir comportamentos, tendo, isso sim, que espelhar a realidade o melhor possível.

A capacidade de um equipamento é calculada pela seguinte expressão:

$$C = T_d \cdot D \cdot A$$

em que: C – Capacidade disponível (horas/dia ou horas/semana);
 T_d – Tempo laborável disponível (horas/dia ou horas/semana);
 D – Disponibilidade do equipamento, ou seja, a % do tempo em que o

equipamento se encontra efectivamente em funcionamento, depois de descontado o tempo perdido com interrupções ocasionais (reparações de avarias, manutenção preventiva, ausência do(s) operador(es), etc.);

A – Activação do equipamento, ou seja, a % do tempo em que o posto de trabalho se encontra efectivamente em funcionamento, depois de descontado o tempo perdido com interrupções ocasionadas pelos equipamentos a montante ou por outros factores exógenos).

Esta capacidade (diária ou semanal) irá ser preenchida com o tempo de carga Q , ou seja, o número de horas necessárias para completar cada ordem de fabricação. Este tempo de carga é calculado multiplicando o tempo unitário de operação *standard* t_s (determinado pela Engenharia) pelo número de peças a fabricar N , dividindo o resultado pela eficiência ε prevista do equipamento (a qual varia em função de muitos factores ligados ao(s) operador(es) e/ou ao processo) e somando o tempo de preparação T_p .

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

Se tivermos em conta as rejeições e as recuperações devidas a defeitos de qualidade, vejamos como se calcula o tempo de operação total $T_s = N \cdot t_s$.

Considere-se um equipamento que processa uma determinada peça com um tempo unitário *standard* t_s . 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 o equipamento são recuperadas com uma eficiência η .

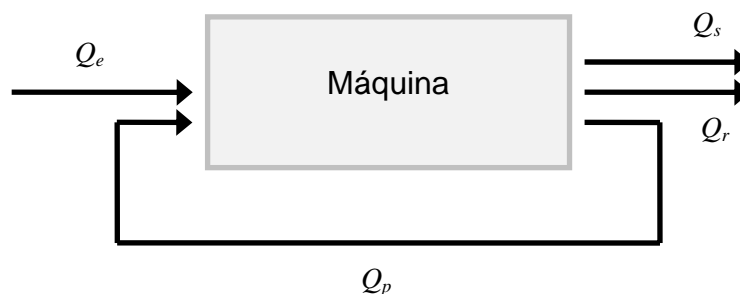


Figura 1.3 - Fluxos de produção útil, rejeitada e recuperada

Sendo:

- Q_e – Fluxo de peças à entrada;
- Q_s – Fluxo de peças boas à saída;
- Q_r – Fluxo de peças rejeitadas;
- Q_p – Fluxo de peças recuperadas.

Verificam-se, as seguintes relações:

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

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

em que: r – nº de peças rejeitadas para sucata por cada 100 peças entradas ($Q_e = 100$);
 p – nº de peças reenviadas para a entrada para recuperação, por cada 100 peças entradas ($Q_e = 100$).

Quando as peças recuperadas são-no de uma só vez na linha, a expressão anterior assume a forma:

$$Q_p = p \cdot Q_e$$

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

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

em que: T – tempo total necessário à produção de Q_s
 t_s – 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:

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

É interessante notar nas expressões anteriores, o seguinte:

- O tempo laboral disponível T_d corresponde ao somatório: capacidade produtiva + capacidade não produtiva + parte da capacidade em excesso considerada vendável (utilizável) pela empresa;
- A capacidade prática C é igual a T_d reduzido da indisponibilidade ($1 - D$) e da inactivação ($1 - A$). A primeira redução deve-se à manutenção e a parte das interrupções (ausência do(s) operador(es)). A segunda redução deve-se à restante parte das interrupções (falhas de energia e outras causas de montante);
- O tempo de carga é aumentado pelos desperdícios e pelas preparações para mudança de série.

Estas relações encontram-se assinaladas no quadro a seguir.

Capacidade teórica (24 horas/dia x 365(6) dias/ano	Capacidade em excesso 	Sem mercado	Excesso não utilizável	Tempo disponível (objectivo) T_d
		Além limites	Política interna	
			Legal	
			Contratual	
	Vendável	Utilizável		
	Capacidade não produtiva Função da Produção . Uniformizar o fluxo de produção . Reduzir desperdícios de tempo Função das Vendas . Obter mais encomendas	Interrupções (reduções da capacidade)	Falha de energia	
			Ausência do(s) operador(es)	
			Atrasos originados a montante	
		Desperdícios (aumentos da carga)	Rejeitados (sucata)	
			Refeitos (recuperados)	
			Eficiência baixa (operador/processo)	
		Manutenção (reduções da capacidade)	Correctiva	
			Preventiva	
Preparações (aumentos da carga)	Mudança de ferramentas			
	Afinações			
Capacidade produtiva 	Desenvolvimento de novos produtos			
	Desenvolvimento de novos processos			
	Produtos com qualidade (vendáveis)			

Quadro 1.2 – Divisão da capacidade de um equipamento

Notar que, sob o ponto de vista do cálculo, é indiferente reduzir a capacidade ainda mais (com os desperdícios e as preparações) ou aumentar (como fiz) a carga com estes. O Planeamento tenta assim permanentemente preencher a capacidade prática disponível C horas/semana com carga Q . O tempo disponível T_d deve ser pois considerado como base para o cálculo do custo horário de depreciação do equipamento. Este T_d deve idealmente corresponder ao regime óptimo económico.

1.4 Exemplo de Aplicação

Suponhamos uma linha de produção cuja capacidade objectivo é 3.680 horas/ano. Suponhamos também que a linha apresenta uma activação (resultante de interrupções originadas a montante) de 91% e é constituída por 3 máquinas em série com as características descritas no quadro seguinte. A máquina em análise é a B. Pretendemos conhecer:

- a incidência da componente “Aluguer da máquina B” (14.120 €/mês) no custo da unidade de *output* (a hora) da linha bem como;
- a incidência da componente “Aluguer da máquina B” (14.120 €/mês) no custo *standard* de cada peça fabricada.

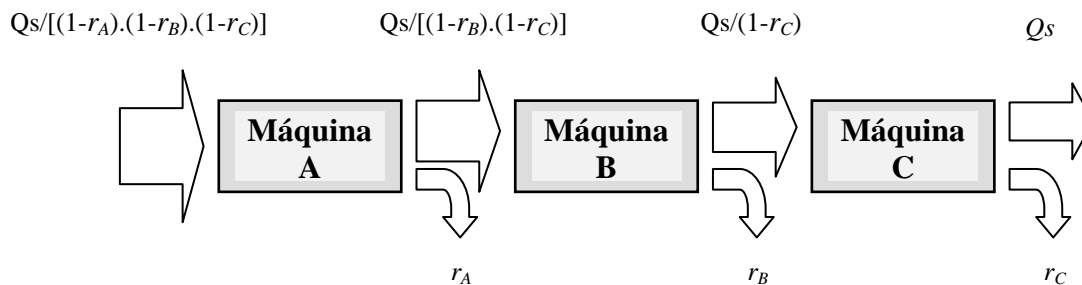


Figura 1.4 – Linha de produção composta por três estações

Equipamentos	Capacidade técnica (peças/hora)	Disponibilidade (%)	Rejeições (%)	Eficiência (%)
A	60	95	1	85
B	75	94	3	100
C	55	90	2	109

Quadro 1.3 – Características de cada máquina constituinte da linha

Se não se verificassem interrupções e se a manutenção não fosse necessária, não se verificariam reduções de capacidade e a capacidade operacional da linha seria igual à capacidade técnica da estação estrangulamento (a de menor capacidade técnica). Como tal circunstância não é verdadeira, a capacidade operacional da linha deve ser ajustada da disponibilidade global, a qual traduz, ao nível de cada máquina, as interrupções devidas a falhas de energia, manutenção correctiva preventiva e ausência do(s) operador(es). A indisponibilidade traduz-se assim num decréscimo da capacidade disponível, isto é, num intervalo de tempo durante o qual a linha não funciona.

Como a indisponibilidade de qualquer das máquinas obriga à paragem de toda a linha, pois trabalham em série, a disponibilidade da linha é igual a:

$$0,95 \times 0,94 \times 0,90 \cong 0,80$$

Existe ainda outra natureza de interrupções, as quais se devem a perturbações causadas a montante da linha e que são responsáveis pela perda de $100 - 91 = 9\%$ da capacidade disponível da linha (o tempo disponível passa de 3.680 horas/ano para $3.680 \times 0,80 = 2.944$

horas/ano).

A capacidade operacional da linha C_l será então igual à capacidade técnica da máquina estrangulamento (55 peças/hora da máquina C) ajustada da disponibilidade e da activação.

$$C_l = 55 \times 0,80 \times (1 - 0,09) \cong 40 \text{ peças/hora}$$

Ou seja o tempo disponível é novamente reduzido, desta vez para $2.944 \times 0,91 = 2.679$ horas/ano.

Poder-se-á agora responder às questões colocadas:

- A incidência da componente “Aluguer da máquina B” (14.120 €/mês) no custo *standard* da unidade de *output* (a hora) da linha é: $14.120 \text{ €/mês} / 3.680 \text{ horas/ano} \times 11 \text{ meses/ano} \cong 42,20 \text{ €/hora}$;
- A incidência da componente “Aluguer da máquina B” (14.120 €/mês) no custo *standard* de cada peça fabricada é: $42,20 \text{ €/hora} / 40 \text{ peças/hora} \cong 1,055 \text{ €/peça}$.

Conforme se vê na figura seguinte, quando o nível de actividade real tiver atingido o nível de actividade previsto no orçamento, os custos reais terão sido totalmente “absorvidos” pelos produtos vendidos valorizados ao custo *standard*. Se o nível de actividade for mais reduzido, parte dos custos reais não serão absorvidos pelos produtos vendidos, diminuindo a margem de contribuição da linha.

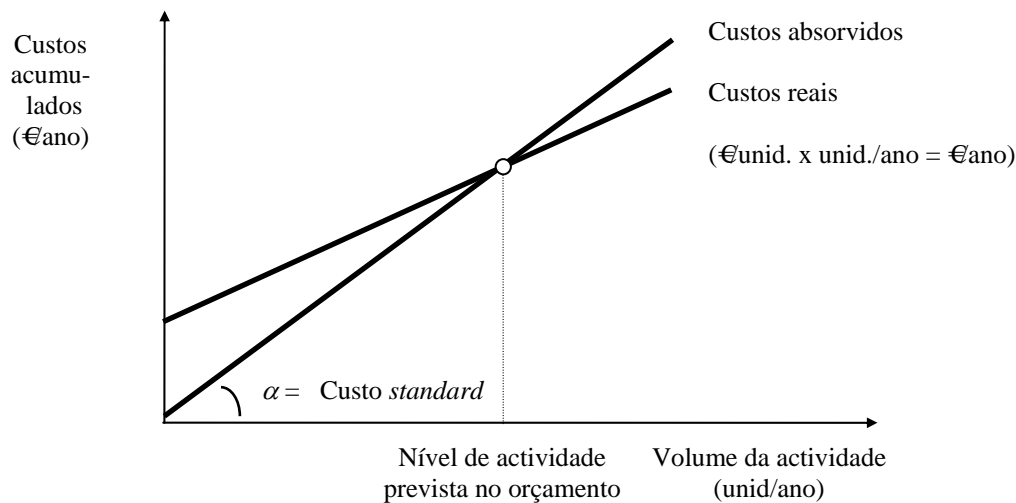


Figura 1.5 – Absorção dos custos *standard*

O desperdício de tempo causado pelas rejeições traduz-se no alongamento do tempo de ocupação da linha para obter o mesmo número de peças boas. Este tempo é um desperdício pois não acrescenta valor ao produto – só lhe acrescentando custo – e deve ser tratado aparte para efeitos de gestão. Este custo é um custo de qualidade não conforme devido a falhas internas (não qualidade do processo que produz peças fora das especificações) e enquadra-se na categoria III da classificação universalmente aceite dos custos da Qualidade:

- I. Prevenir defeitos de qualidade;
- II. Avaliar a conformidade com especificações;
- III. Corrigir defeitos de qualidade detectados internamente;
- IV. Corrigir defeitos de qualidade detectados no cliente.

O efeito das rejeições traduz-se na necessidade de processar maior número de peças. Assim, por cada 40 peças entregues à linha, obter-se-ão apenas:

$$40 \times (1 - 0,01) \times (1 - 0,03) \times (1 - 0,02) \cong 37,6 \text{ peças boas/hora}$$

O custo resultante deste desperdício de (40 – 37,6) peças/hora seria fácil de quantificar.

Quanto ao desperdício de tempo causado pelas ineficiências do processo, traduz-se também no alongamento do tempo de ocupação da linha para obter o mesmo número de peças ou, de outra forma, na diminuição da cadêcia da linha.

Primeiramente ter-se-á de calcular a capacidade prática da linha que é igual à menor capacidade técnica corrigida da eficiência:

Equipamentos	Capacidade técnica (peças/hora)	Eficiência (%)	Capacidade prática (peças/hora)
A	60	85	$60 \times 0,85 = 51$
B	75	100	$75 \times 1,0 = 75$
C	55	109	$55 \times 1,09 = 60$

Quadro 1.4 – Cálculo das capacidades corrigidas das eficiências

A máquina A é agora o estrangulamento e a capacidade prática da linha é, de facto:

$$51 \times 0,80 \times 0,90 \times (1 - 0,01) \times (1 - 0,03) \times (1 - 0,02) \cong 34,5 \text{ peças boas/hora}$$

Em conclusão:

- No cálculo do custo *standard* só se deverá fazer intervir a disponibilidade e a activação;
- O custo das rejeições é um custo de não qualidade que será somado ao custo de operação. Na terminologia ABC/ABM, diremos que duas das actividades consumidas por um produto final são a actividade “transformar” e a actividade “refazer”. A actividade “transformar” é uma actividade que acrescenta valor e a actividade “refazer” é uma actividade que não acrescenta valor, pois foi dispendida a transformar peças que, posteriormente, foram rejeitadas;
- A disponibilidade vai afectar o custo real devendo ser comparado periodicamente com o custo *standard* e os desvios. Estes últimos, depois de interpretados, devem dar origem a medidas correctivas.

Bibliografia relacionada/referenciada

- [1] ASSIS, Rui, *MICROINVEST – Projectos de Investimento*, IAPMEI, Lisboa, 1993
- [2] CANADA, John R., William G. Sullivan & John A. White, *Capital Investment Analysis for Engineering and Management*, Prentice Hall, New Jersey, 1996
- [3] COKINS, Gary, *Activity Based Cost Management – Making it Work*, Richard D. Irwin, Inc. 1996
- [4] Decreto Regulamentar, nº 2/90 de 12 de Janeiro
- [5] FERGUNSON, C.E., *Microeconomic Theory*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1972
- [6] INMAN, Robert R., *Shape Characteristics of Cost Curves Involving Multiple Shifts in Automotive Assembly Plants*, The Engineering Economist, Fall 1995, vol.41, nº1
- [7] O’GUIN, C. Michael, *The Complete Guide to Activity Based Costing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991
- [8] RODRIGUES, J. Azevedo, J.C. Neves & Hugues Jordan, *O Controlo de Gestão*, Rei dos Livros, Lisboa, 1991