

Impacto da não qualidade em Processos de Produção

Rui Assis (Eng.º Mec. Ph.D. IST)

rassis@rassis.com

www.rassis.com

Fev-2015

Resumo

O conceito “*lean*” em produção industrial procura eliminar toda a forma de “desperdício”, ou seja, tudo o que não acrescenta valor na perspectiva do cliente. Para além da sua identificação e correspondentes causas, interessa 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.). Um sistema de monitorização do desempenho da gestão de um processo de produção deve incorporar indicadores quantitativos que reflectam o estado de progresso na prossecução dos objectivos de eliminação (ou mitigação) daqueles “desperdícios” ou, por outras palavras, de melhoria da produtividade operacional. Para o conseguir, há que saber como quantificá-los. O presente artigo mostra como fazê-lo e ilustra-o com um caso exemplificativo.

Palavras chave: Produção *lean*, Quantificação de desperdícios, Carga versus capacidade, Conteúdo de trabalho, Recuperações, Rejeições, Custos de oportunidade.

Introdução

Em termos de responsabilidade de gestão, as empresas imputam normalmente 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. Relembrem-se seguidamente no Quadro 1 as principais causas daqueles custos.

Quadro 1

Custos da Qualidade		Custos da não-Qualidade	
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
- Formação	- Inspeção no exterior	- Sucata (<i>scrap</i>)	- Tratamento administrativo das reclamações
- Planeamento da Qualidade	- Avaliação de procedimentos	- Recuperações (<i>rework</i>)	- Garantias
- Controlo estatístico do processo	- Inspeção de produtos	- Tempo de paragem não previsto	- Devoluções
- <i>Poka-Yoke</i>		- Perdas de cadência	- 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 área compreenderem melhor o contexto em que actuam, bem como justificarem quantitativamente medidas visando melhorias de produtividade, quer diminuindo ou eliminando causas de desperdícios.

Os principais conceitos a ter em conta na gestão de um processo de produção com implicação directa na produtividade são os seguintes:

- Capacidade *versus* carga de um Posto de Trabalho (PT);
- Consequências dos defeitos de qualidade na capacidade de um PT;
- Custos de oportunidade resultantes da produção perdida.

No ponto 5, apresenta-se um caso exemplificativo destes conceitos.

1. Capacidade de um Posto de Trabalho [3], [4]

A capacidade de um 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 PT 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}).

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

- 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 motriz.

Assim, a capacidade de um PT deve ser decrementada (ajustada) daqueles factores, se quisermos ter um planeamento realista. A capacidade prática (ou disponível) C_p de um PT calcula-se pela Expressão (1):

$$C_p = T.D.A \quad (1)$$

Em que: 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 relação descrita pela Expressão (2).

$$D = \frac{T - (A_v + M_p + A_{bs})}{T} \quad (2)$$

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:

$$A = \frac{(T - F_{tr})}{T} \quad (3)$$

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

A disponibilidade e a activação fornecem medidas de desempenho (*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.

É pois o valor da capacidade de cada PT calculado desta forma que deve ser introduzido no módulo de planeamento MRP (*Materials Requirements Planning*).

2. Carga de um Posto de Trabalho [3], [4]

Quanto à carga, o seu cálculo resulta dos tempos padrão (*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 quando se trata da primeira série de um novo produto), sendo necessário corrigi-los da eficiência.

A eficiência (ε) mede o grau de cumprimento dos tempos *standard* e é dada pela Expressão (4).

$$\varepsilon = \frac{t_s}{t_r} \quad (4)$$

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. Este conceito de eficiência é aplicável 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.

Tendo ainda em conta o tempo de preparação T_p do PT (tempo de *setup* ou de *changeover*), a carga Q é calculada pela Expressão (5):

$$Q = T_p + \frac{t_s \cdot N}{\varepsilon} \quad (5)$$

Em que: T_p – Tempo de preparação do PT
 t_s – Tempo unitário *standard*
 N – Número de unidades a produzir
 ε – Eficiência da operação

O termo $\frac{t_s \cdot N}{\varepsilon}$ do segundo membro da equação (5) designa-se por conteúdo de trabalho.

3. Impacto de Defeitos de Qualidade [3]

Num ambiente de produção discreta (peça a peça), consideremos um PT que processa uma determinada peça com um tempo unitário *standard* t_s . À saída da máquina o operador, em auto-controlo, rejeita r peças para sucata 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 .

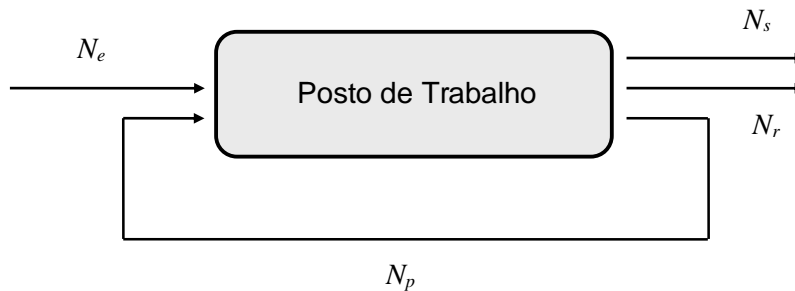


Figura 2 – Fluxos de produção útil, rejeitada e recuperada

Sendo: N_e – Número de peças à entrada
 N_s – Número de peças boas à saída
 N_r – Número de peças rejeitadas (*scraped*)
 N_p – Número de peças recuperadas (*reworked*)

Nestas circunstâncias, verificam-se, as seguintes relações:

$$N_e = \frac{N_s}{(1-r)} \quad (6)$$

$$N_p = \frac{N_e \cdot p}{(1-p)} \quad (7)$$

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

Quando as peças são recuperadas passando uma única vez na linha, a Expressão (7) assume a forma:

$$N_p = p \cdot N_e \quad (8)$$

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 retocada – e uma única vez.

Sendo η o rendimento η de recuperação, o tempo total T necessário à produção de N_s peças boas à saída é dado pela Expressão (9):

$$T = t_s \cdot N_e + \frac{t_s}{\eta} \cdot N_p \quad (9)$$

O rendimento de recuperação η assume valores inferiores a 1 quando o tempo unitário de recuperação é superior ao tempo unitário *standard* (substituição manual de um componente electrónico num PCB, por exemplo) e assume valores superiores a 1 quando o tempo unitário de recuperação é inferior ao tempo unitário *standard*.

No caso particular dos ambientes de produção contínua (pós, líquidos, pastas, granulados...), a recuperação processa-se ao mesmo ritmo que a produção normal, pelo que o rendimento de recuperação é $\eta = 1$. Logo, a Expressão (9) assume a forma:

$$T = t_s \cdot (N_e + N_p) \quad (10)$$

O valor de T nas Expressões anteriores (9) e (10) corresponde ao “conteúdo de trabalho”. Como é normal que o PT apresente alguma indisponibilidade $(1 - D)$, o tempo calendário T_c (ou prazo) necessário à produção de N_s unidades boas de produto será dado pela Expressão (11):

$$T_c = \frac{T}{D} \quad (11)$$

Quando existe uma linha composta por vários PT's que processam peças em série, apresentando cada PT um valor específico de rejeição, de recuperação e de correspondente rendimento, a resposta à questão de quantas peças devem ser entregues à linha de forma a obter-se uma determinada quantidade útil N_s , constitui uma generalização da análise feita anteriormente e implica o recurso ao cálculo pelo método das cadeias de *Markov* ou de simulação discreta. A Figura 3 ilustra o caso mais frequente de existência de rejeições em cada estação da linha (3 neste caso).

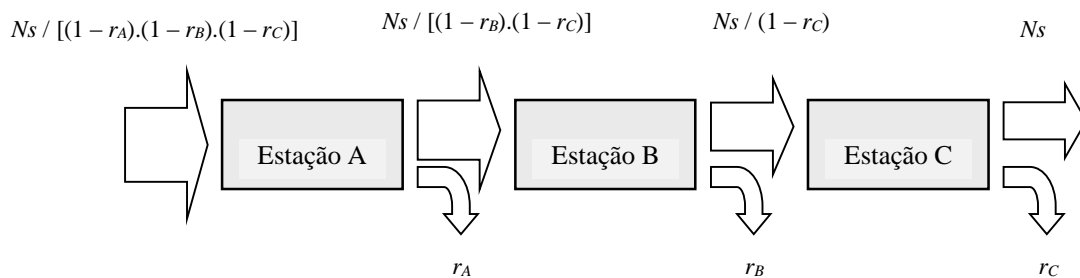


Figura 3 – Linha de produção na qual se verificam rejeições nas três estações

A quantidade de peças à entrada N_e terá de ser calculada pela expressão:

$$N_e = \frac{N_s}{(1 - r_A)(1 - r_B)(1 - r_C)} \quad (12)$$

No caso geral de n postos de trabalho, teríamos:

$$N_e = \frac{N_s}{\prod_1^n (1 - r_i)} \quad (13)$$

Generalizando, processos mais complexos envolvendo sucessivas rejeições e recirculações para o mesmo ou para alguns PT's a montante, têm de ser formulados sob a forma de cadeias de *Markov* ou solucionados recorrendo à técnica de simulação de Monte Carlo.

4. 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 que possui carga para realizar e que i) pára devido, por exemplo, a uma avaria, ou ii) continua funcionando a uma

cadência inferior (ou de forma degradada), devido à ocorrência de falha de ou mais parâmetros do processo de produção. Estes incidentes podem ter origem no próprio equipamento ou noutras a montante.

Se o equipamento constitui um estrangulamento de produção e o tempo perdido não pode ser recuperado, 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 número de unidades não produzidas durante o período da paragem (ou de diminuição da cadência) pela margem de contribuição unitária ($m.c.$). Esta margem é calculada pela diferença entre o preço unitário líquido de venda p_v e o custo variável unitário c_v , conforme mostra a Expressão (14).

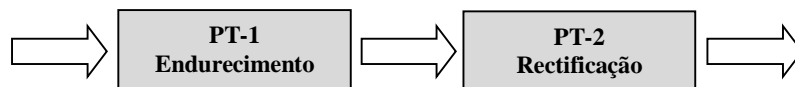
$$m.c. = p_v - c_v \quad (14)$$

O custo variável unitário c_v é constituído por tudo aquilo que vai “agarrado” ao produto fabricado. Os principais constituintes deste custo são a matéria-prima e a energia de transformação (motriz, térmica,...). A mão-de-obra (directa e indirecta) e as amortizações (equipamentos, espaços ocupados,...), por exemplo, são custos fixos, pelo que não intervêm no cálculo dos custos de oportunidade.

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. A referência [2] descreve todas as circunstâncias em que os custos de oportunidade em ambiente fabril podem ocorrer e como calculá-los.

5. Exemplo de aplicação (ver a resolução em EXCEL aqui]: <http://www.rassis.com/operacoes.html>)

Uma empresa que produz componentes para automóveis (produção repetitiva discreta) recebe uma encomenda para hastes de molas pneumáticas, as quais são vendidas por 60 €/unidade. Este artigo é produzido numa sequência de duas operações em dois PT’s interligados (acumulam produção entre si): Endurecimento e Rectificação. Quando toda a produção realizada no Endurecimento se encontra pronta, só então passa para a Rectificação. As características de cada PT encontram-se descritas no Quadro 2.



Quadro 2

Características	Endurecimento (PT-1)	Rectificação (PT-2)
Tempo unitário	6 minutos/unidade	4 minutos/unidade
Disponibilidade	0,92	0,87
Custo hora-máquina	90 €/hora	110 €/hora
p (%)	8%	12%
r (%)	4%	5%
Rendimento de recuperação	120%	80%
Custo da matéria-prima	8 €/unidade	-
Custo da energia:	-	-
- primeira vez	3 €/unidade	2 €/unidade
- recuperações	2 €/unidade	4 €/unidade

Pretendemos conhecer as respostas às seguintes questões:

- Quantas horas (calendário) serão necessárias planear para a produção de um lote de 2.000 unidades?
- Qual o custo unitário médio de não-qualidade?
- Se o abastecimento de montante destes dois PT’s for interrompido por uma qualquer razão durante algum tempo e se a produção não realizada não puder ser recuperada noutra ocasião (os PT’s 1 e 2 constituem um estrangulamento no normal fluxo de produção), qual o custo de oportunidade por cada hora perdida de produção?

A.1 Quantidade a processar tendo em conta as rejeições (scrap):

Do PT-2 terão de sair 2.000 unidades. Como 5% da quantidade entrada é rejeitada ($r = 5\%$), a quantidade à entrada deste PT deve ser, pela Expressão (6), a seguinte: $2.000 / (1 - 0,05) \cong 2.106$ unidades. Ou seja, $2.106 - 2.000 = 106$ unidades são rejeitadas ($N_r = 106$). Estas 2.106 unidades vêm do PT-1, o qual rejeita 4% da quantidade entrada ($r = 4\%$). Então, a quantidade à entrada deste PT deve ser pela Expressão (6): $1.106 / (1 - 0,04) \cong 2.194$ unidades. Ou seja, $2.194 - 2.106 = 88$ unidades são rejeitadas ($N_r = 88$).

A.2 Quantidade a recuperar (rework):

Como a produção é discreta (peça a peça) e as peças são recuperadas de uma única vez, pela Expressão (8) temos:

PT-1: $0,08 \times 2.194$ unidades $\cong 176$ unidades

PT-2: $0,12 \times 2.106$ unidades $\cong 253$ unidades

A.3 Tempo (calendário) necessário:

Pelas Expressões (9) e (11), teremos:

PT-1: $[2.194 \text{ unidades} \times 6/60 \text{ horas/unidade} + 191 \text{ unidades} \times 6/60 \text{ horas/unidade} / 1,20] / 0,92 \cong 255$ horas

PT-2: $[2.106 \text{ unidades} \times 4/60 \text{ horas/unidade} + 288 \text{ unidades} \times 4/60 \text{ horas/unidade} / 0,80] / 0,87 \cong 186$ horas

Logo, o tempo (calendário) total necessário para processar 2.194 unidades (sendo apenas 2.000 unidades boas) será $T_c = 255 + 186 = 441$ horas

B.1 Custo real da encomenda:

Custo do material: $2.194 \text{ unidades} \times 8 \text{ €/unidade} = 17.552 \text{ €}$

Custo da energia:

PT-1: $2.194 \text{ unidades} \times 3 \text{ €/unidade} + 176 \text{ unidades} \times 2 \text{ €/unidade} = 6.934 \text{ €}$

PT-2: $2.106 \text{ unidades} \times 2 \text{ €/unidade} + 253 \text{ unidades} \times 4 \text{ €/unidade} = 5.224 \text{ €}$

Custo do tempo-máquina:

PT-1: $255 \text{ horas} \times 90 \text{ €/hora} = 22.950 \text{ €}$

PT-2: $186 \text{ horas} \times 110 \text{ €/hora} = 20.460 \text{ €}$

Custo total: 73.120 €

Custo unitário real: $73.120 \text{ €} / 2.000 \text{ unidades} = 36,56 \text{ €/unidade}$

B.2 Custo ideal da encomenda (sem rejeições nem recirculações):

Custo do material: $2.000 \text{ unidades} \times 8 \text{ €/unidade} = 16.000 \text{ €}$

Custo da energia:

PT-1: $2.000 \text{ unidades} \times 3 \text{ €/unidade} + 0 \text{ unidades} \times 2 \text{ €/unidade} = 6.000 \text{ €}$

PT-2: $2.000 \text{ unidades} \times 2 \text{ €/unidade} + 0 \text{ unidades} \times 4 \text{ €/unidade} = 4.000 \text{ €}$

Tempo (calendário) necessário:

PT-1: $[2.000 \text{ unidades} \times 6/60 \text{ horas/unidade} + 0 \text{ unidades} \times 6/60 \text{ horas/unidade} / 1,20] / 0,92 =$
 $= 217,39 \text{ horas}$

PT-2: $[2.000 \text{ unidades} \times 4/60 \text{ horas/unidade} + 0 \text{ unidades} \times 4/60 \text{ horas/unidade} / 0,80] / 0,87 =$
 $= 153,26 \text{ horas}$

Custo do tempo-máquina:

PT-1: $217,39 \text{ horas} \times 90 \text{ €/hora} = 19.565 \text{ €}$

PT-2: $153,26 \text{ horas} \times 110 \text{ €/hora} = 16.858 \text{ €}$

Custo total: 62.423 €

Custo unitário ideal: $62.423 \text{ €} / 2.000 \text{ unidades} = 31,21 \text{ €/unidade}$

B.3 Custo unitário médio de não-qualidade:

$36,56 - 31,21 = 5,35 \text{ €/unidade}$

C.1 Produção média horária possível realizar:

São produzidas 2.000 unidades boas em 441 horas. Numa hora a produção média possível realizar é de 2.000 unidades / 441 horas = 4,5351 unidades/hora

C.2 Custo variável de produção:

No ponto B1 calculámos o custo real unitário da encomenda. Se subtrairmos a este custo o custo do tempo-máquina, o qual só compreende custos fixos (mão de obra directa e indirecta, amortizações, estrutura,...), obteremos o custo variável unitário:

Custo do material: 2.194 unidades x 8 €/unidade = 17.552 €

Custo da energia:

PT-1: 2.194 unidades x 3 €/unidade + 176 unidades x 2 €/unidade = 6.934 €

PT-2: 2.106 unidades x 2 €/unidade + 253 unidades x 4 €/unidade = 5.224 €

Custo variável total: 29.710 €

Custo variável unitário real: 29.710 € / 2.000 unidades = 14,86 €/unidade

C.3 Custo de oportunidade da venda perdida (ou da produção não realizada):

Este custo de oportunidade refere-se a cada hora do PT-1 ou do PT-2 parado, quando ambos são estrangulamento da produção, isto é, não existem meios alternativos ou tempo disponível para compensação. Nestas circunstâncias, a margem de contribuição unitária é igual a 60 €/unidade – 14,86 €/unidade = 45,14 €/unidade. Logo, o custo horário de oportunidade será de 45,14 €/unidade x 4,5351 unidades/hora = 204,74 €/hora

Estes custos de oportunidade deverão ser tratados como custos de não-qualidade e imputados às actividades que os causaram.

No caso de as recuperações não serem realizadas em cada um dos PT mas sim noutros PT's preparados especificamente para este efeito, o valor de p nas Expressões (7) e (8) referentes ao PT-1 e/ou ao PT-2 assumem o valor 0.

Neste exemplo, poderíamos querer considerar o arranjo mais comum dos dois PT's, o qual consiste em torna-los dependentes um do outro do seguinte modo: O PT-1 aguarda pelo PT-2 quando este estiver ocupado ou o PT-2 aguarda pelo PT-1 quando este estiver ocupado. Trabalhariam assim em simultâneo e de forma mutuamente dependente e não se acumulariam assim peças entre os dois PT's. Este arranjo proporcionaria um tempo (calendário) necessário para a produção das 2.000 unidades menor do que as 441 horas do arranjo constituído pelos dois PT's trabalhando de forma independente. Parte do tempo de espera do PT-1 pelo PT-2 e vice-versa poderia ser aproveitado para recuperação de algumas das peças defeituosas que têm recuperação e que ocorrem aleatoriamente ao longo do tempo. Esta fracção de tempo poupado não poderia ser calculado analiticamente como anteriormente. Em consequência, este caso deixa de poder ser tratado como determinístico e terá de ser tratado como estocástico. Para obtermos as respostas às mesmas questões, teríamos de criar um modelo de simulação discreta [1].

6. Conclusões

Para melhorar continuamente a eficiência operacional dos meios de produção é necessário começar por identificar todas as formas de desperdício (actividades que não acrescentam valor mas sempre custo). A fracção da produção defeituosa pode ter de ser rejeitada na totalidade ou apenas em parte. No primeiro caso, os principais desperdícios são: o material e a energia de transformação usados na fracção que é rejeitada, os quais não são recuperados, bem como o tempo necessário para produzir a quantidade boa pretendida de artigos que é alongado, podendo comprometer a data prometida de entrega; desperdícios portanto de material, de energia e de tempo. No segundo caso, havendo recuperação de parte da fracção defeituosa, verifica-se um desperdício de energia necessária durante o processo de recuperação e, mais um alongamento do tempo necessário para produzir a quantidade boa pretendida de artigos. Todos estes desperdícios originam custos económicos de não qualidade, os quais poderão ainda ser agravados quando, devido a defeitos de qualidade os equipamentos activos, isto é com carga no planeamento, são forçados a permanecer parados por períodos mais ou menos longos, originando custos de oportunidade. No exemplo visto no ponto 5 se os defeitos tivessem sido originados num dos dois PT's, a imputação dos custos de

oportunidade deveriam ser-lhe imputados. Em muitos casos os custos de oportunidade poderão ser bastante superiores a quaisquer dos outros custos de não-qualidade.

Um sistema de avaliação contínua do desempenho da gestão operacional deve integrar indicadores, alinhados com os objectivos estratégicos da Organização, que proporcionem o conhecimento dos custos da não qualidade e da sua progressão ao longo do tempo. Limites aceitáveis, face ao estado da arte de cada tecnologia, do nível de organização e de disciplina de gestão existentes, devem também ser fixados de forma a criar sistemas sociotécnicos orientados por objectivos e gerar motivação na sua prossecução (saber onde se está e para onde se quer ir). O Capítulo 8 da referência [2] desenvolve este tema.

Referências bibliográficas

- [1] ASSIS, Rui, “EXCEL na Simulação de Sistemas e Análise de Risco”, AMAZON, 2014
- [2] ASSIS, Rui, “Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos”, LIDEL, 2014
- [3] BLACKSTONE, John H. Jr, *Capacity Management*, Cincinnati, South-Western Publishing Co., 1989
- [4] HEIZER, Jay e Barry Render, *Operations Management*, Boston, Allyn and Bacon, 2013