

## 7

### Conclusão

O processo real estudado revelou um conjunto de características que dificultam se não impedem a aplicação das técnicas até aqui conhecidas para o CEP de processos multicanal, a saber:

- **Médias diferentes nos diversos canais;**
- **Dificuldade de ajustar com precisão as médias individuais dos canais;**
- **Variação dessas médias de lote de produto para lote de produto, ou em dias distintos;**
- **Corridas relativamente curtas, mesmo que se trate de um mesmo produto; *setups* relativamente freqüentes, e freqüentes mudanças de lote de matéria-prima, fazendo com que as médias dos diversos canais mudem freqüentemente, mesmo o processo sendo considerado “em controle”.**

Se as médias dos diversos canais apenas diferissem entre si (sendo impossível ou impraticável, devido à dificuldade, demora e/ou alto custo, ajustá-las em um mesmo valor), mas não mudassem freqüentemente, seria possível trabalhar com medidas padronizadas (desvios em relação às médias); porém a mudança freqüente das médias torna impraticável este procedimento, que requereria a permanente reestimação de parâmetros (médias) para todos os canais.

É razoável supor que este processo não seja único no mundo e, que haja outros semelhantes. A solução aqui proposta para o controle estatístico de processo constitui, portanto uma possibilidade para processos multicanal com as características mencionadas. Essencialmente, trata-se de uma “group chart” (Boyd, 1950; Pyzdek, 1992; Montgomery, 2004, seção 9-3.2) cujos limites são uma versão multicanal dos “limites de aceitação”, propostos por Freund (1957), e descritos, por exemplo, em Montgomery (2004, seção 9-2.2). Há, contudo, algumas peculiaridades advindas justamente do fato de haver múltiplos canais, que levam a algumas diferenças no procedimento. A primeira delas é que, havendo

muitos canais, possivelmente não será aceitável retirar amostras de mais de uma observação. Isso impede que o praticante estabeleça dois valores para a média do processo (correspondendo a duas frações não-conformes, “aceitável” e “inaceitável”), associando a cada uma um risco  $\alpha$  e um risco  $\beta$  especificados, para com isso determinar o tamanho de amostra que limite esses riscos como desejado (de forma muito semelhante ao estabelecimento de um plano de amostragem simples com base em dois pontos especificados para sua curva característica de operação). Com a limitação do tamanho de amostra, não há “graus de liberdade” para satisfazer às duas condições (risco  $\alpha$  no caso de processo com a média no valor aceitável e risco  $\beta$  no caso de média no valor inaceitável); pode-se satisfazer apenas uma delas. A decisão aqui adotada (e proposta) é especificar o valor inaceitável para a média e o seu risco  $\beta$ . A partir daí, se o tamanho de amostra for fixo (supõe-se aqui  $n=1$ ), então, para cada valor da média, tem-se uma probabilidade de sinal. Em consequência, se o utilizador do gráfico especificar ainda um valor aceitável para a média, não poderá especificar um risco  $\alpha$ . O valor aceitável para a média poderá ter uma probabilidade de alarme falso maior que a aceitável; e, a probabilidade de sinal que corresponde ao seu risco  $\alpha$  aceitável pode corresponder a uma média para o processo difícil de ser conseguida (muito mais próxima do valor nominal que praticável, dada a variabilidade do processo – pois o esquema de limites de aceitação é justamente destinado a processos cuja média se situa em uma faixa em torno de um valor, em vez de ser fixa neste valor).

Assim, a solução proposta para manter baixa a frequência de alarmes falsos é definir a média aceitável não em função de uma fração não-conforme aceitável mas sim de um risco  $\alpha$  especificado – o que em princípio não parece ideal, mas é devido ao fato de não ser possível ‘jogar’ com o tamanho de amostra.

Em processos de envase – um dos casos mais freqüente de processos multicanal – o limite superior de especificação freqüentemente não é rígido: o inconveniente de violar o limite inferior é um produto fora das normas – o que pode causar multas, problemas legais, insatisfação dos clientes, má reputação, divulgação pela mídia com sérios impactos negativos para a imagem do produto e da empresa – enquanto que a violação do limite superior de especificação representa um desperdício de matéria-prima – indesejável, custoso, mas com conseqüências menos graves (exceto no caso de excessos extremos, que

possam afetar o próprio funcionamento do processo). Por exemplo, no próprio caso estudado, os operadores e engenheiros não tinham uma clareza na especificação do LSE, que estabeleciam apenas por simetria ao LIE em relação ao valor nominal. O LIE, sim, era estabelecido por normas legais.

A solução proposta, portanto, é estabelecer um valor aceitável para a média em função do risco  $\alpha$  especificado pelo utilizador. Dependendo do grau de variabilidade do processo, isto pode requerer que o processo como um todo seja ajustado acima do valor nominal. Tal prática não é incomum em processos de envase com baixa capacidade, e já era adotada pela equipe do processo analisado. Apenas, o procedimento proposto fornece expressões para o cálculo do valor onde o processo deve ser ajustado. No caso analisado, observou-se que a equipe estava ajustando o processo num valor muito alto; o valor proposto (obtido pelo método) permite uma redução significativa do desperdício de matéria-prima.

Aqui vem uma segunda diferença dos processos multicanal com as características analisadas em relação aos processos com “média oscilante” para os quais os esquemas de “limites de aceitação” e “limites modificados” foram idealizados: nestes últimos, a média oscila ao longo do tempo; no processo multicanal estudado (e nos que lhe forem semelhantes), há várias médias num mesmo instante de tempo (uma para cada canal), assim, o ajuste do processo deve levar em conta essa distância entre as médias mais extremas e não uma “variância” de médias ao longo do tempo. Além disso, o risco  $\alpha$  é calculado como uma probabilidade bi-caudal (pois o processo “ocupa” toda a sua faixa de variação) enquanto que no caso de um processo com “média oscilante” ele não pode ter diferentes valores médios num mesmo instante de tempo, e o risco  $\alpha$  corresponde a uma probabilidade uni-caudal.

Outra contribuição deste trabalho é mostrar como os limites de controle podem ser estabelecidos para uma variável diferente da variável de especificação (no caso, as especificações são expressas em unidades de volume, e a variável monitorada é o peso) e como se pode levar em conta a variabilidade do peso da embalagem (frasco), situação que se imagina que possa ocorrer com alguma frequência no caso de processos de envase.

Além da *group chart* para monitoramento simultâneo de todos os bicos, o esquema proposto inclui o uso concomitante de um gráfico de série temporal do “nível-base” (média

das observações de todos os bicos em cada instante de amostragem) e um gráfico de MR para o nível-base. Tais gráficos adicionais aumentam a sensibilidade do esquema as causas especiais que afetem simultaneamente a todos os canais, e facilitam a visualização de tendências no processo.

A aplicação do procedimento aos dados reais do processo mostrou bons resultados. Causas especiais foram sinalizadas, e os alarmes falsos mantiveram-se em níveis baixos. Foi visto que o processo estava sendo ajustado em níveis excessivamente altos, levando a desperdício desnecessário. Algum desperdício ainda é inevitável, devido à baixa capacidade do processo, mas o método proposto permite manter esse desperdício no nível mínimo inevitável. É evidente que esforços para melhorar a capacidade do processo são recomendáveis e trariam a redução desse desperdício (com novos parâmetros para o processo, os limites de controle e o valor-alvo seriam recalculados). Porém, com o processo com baixa capacidade (e mesmo com a capacidade melhorada) o método aqui proposto constitui um procedimento viável e adequado para o CEP.

Indispensável para a aplicação bem sucedida do procedimento é uma análise prévia do processo, como a que aqui foi feita, para uma boa caracterização do mesmo e estimação dos seus parâmetros. Uma condição de validade para a aplicação do procedimento (hipótese básica) – que no caso analisado se verificou – é que a variância dos diversos canais seja a mesma (ou praticamente a mesma) e não varie no tempo. O CEP de processos multicanal em que essa condição não se verifique é uma questão em aberto para pesquisa futura.