

6 Conclusões

Nesta pesquisa, foi proposto um esquema de controle estatístico de processos para monitorar a frequência de ocorrência de não-conformidades. O esquema proposto, denominado VSI EWMA, incorpora a estratégia de intervalo de tempo entre amostras variável ao esquema EWMA, ou seja, o intervalo de tempo entre amostras varia em função do valor corrente da estatística EWMA. O princípio básico da regra de operação do esquema é simples: se o valor da estatística EWMA encontra-se entre o limite superior de advertência e o limite superior de controle, indicando uma possível situação de descontrole no processo, o controle é tornado mais rigoroso porque espera-se menos tempo que o usual para a retirada da próxima amostra; por outro lado, se o valor da estatística EWMA encontra-se abaixo do limite superior de advertência, o controle pode ser relaxado, e então espera-se um tempo mais longo que o usual para a retirada da próxima amostra. A motivação para o desenvolvimento do esquema proposto foi a busca de melhor eficiência na detecção de aumentos no número médio de não-conformidades, em processos cujo número médio em controle de não-conformidades é baixo (até 4 não-conformidades por amostra, em média). Melhor eficiência aqui significa maior rapidez de detecção de descontroles, sem aumentar o tamanho de amostra, nem reduzir o tempo médio entre amostras, nem aumentar a frequência de alarmes falsos.

Foi desenvolvido e implementado em planilha Excel, e usado para obter projetos ótimos do esquema VSI EWMA para não-conformidades proposto, um modelo matemático baseado na teoria de cadeias de Markov para cálculo do TMAF (tempo médio até um alarme falso) e do TES (tempo esperado entre o instante do descontrole e o sinal).

O desempenho do esquema proposto foi comparado com o de outros esquemas existentes para controle estatístico da frequência de não-conformidades (V_p , EWMA, VSI e CUSUM), usando-se, para tal, a medida de desempenho TES. Uma variedade de casos foi analisada, cobrindo uma gama de valores

de c_0 (número médio em controle de não-conformidades), c_1 (número médio fora de controle de não-conformidades), h_s (intervalo mais curto de tempo entre amostras), e λ (constante de amortecimento do esquema EWMA). Para cada caso, foram determinados os valores de K_C e K_A (coeficientes de abertura dos limites de controle e de advertência) que minimizam o TES para um fator de aumento $\gamma^* = c_1/c_0$ de interesse, sujeito a restrições no TMAF. Foram considerados três fatores de aumento: $\gamma^* = 1,5$; $2,0$ e $3,0$. Para cada gráfico assim determinado, foram calculados os TES's para uma faixa de aumentos no número médio de não-conformidades, para comparação com os demais esquemas de controle.

Os resultados obtidos mostram a superioridade do esquema VSI EWMA proposto na grande maioria das situações analisadas, exceto: na detecção das alterações de magnitude moderada (para c_1 em torno de $3c_0$, no caso de $c_0 \leq 2,00$; e para c_1 em torno de $2,5c_0$, no caso de $c_0 \geq 3,00$), quando o esquema é ligeiramente superado pelo esquema Vp; no caso de $c_0 = 2,00$, na detecção das alterações de maior magnitude, quando o esquema é superado pelo esquema VSI; e no caso de $c_0 = 3,00$ e $c_0 = 4,00$, na detecção de $c_1 = 5,0c_0$, quando o esquema é superado pelo esquema EWMA. Os resultados são melhores com $h_s = 0,10$. Em caso de impossibilidade do uso de $h_s = 0,10$, é possível usar $h_s = 0,25$ ou $0,50$ na grande maioria das situações, ainda mantendo o esquema VSI EWMA como esquema mais eficiente que os outros esquemas. Outro resultado importante é que, quanto maior for a magnitude da alteração que se deseja detectar, maior deverá ser o valor de λ a ser usado no projeto do esquema.

Resultados de simulações para obtenção dos desvios-padrão dos tempos até o sinal mostraram também que, nos casos analisados, estes valores decrescem quando a média do tempo até o sinal decresce. Os valores do desvio-padrão e da média do tempo até o sinal são muito próximos quando a média é grande; a diferença percentual aumenta quando a média é pequena, mas os valores de desvio-padrão são sempre inferiores aos valores de média, o que indica que menores valores de TES não apenas significam maior rapidez média de sinalização, mas também menores probabilidades de um tempo muito longo até o sinal.

A decisão de adotar ou não um esquema como o VSI EWMA para o controle de processos será afetada, em cada caso, por fatores que fogem ao escopo

desta pesquisa: complexidade operacional, cultura da empresa, e outros. Contudo, os resultados das análises comparativas de desempenho aqui realizadas são úteis para orientar essa decisão: para orientar a escolha não somente do esquema a adotar, como também dos parâmetros de projeto a adotar para tal esquema. Esses resultados mostram que, em geral, o esquema VSI EWMA superou todos os demais.

Cabe aqui um comentário sobre a aplicabilidade do esquema VSI EWMA proposto. Embora o esquema Vp seja mais eficiente em algumas situações que o esquema VSI EWMA, nem sempre será possível variar todos os parâmetros de projeto. Como a superioridade do esquema Vp nesses casos é apenas ligeira (TES's cerca de 3% menores que os do esquema VSI EWMA), e aplica-se a alguns valores isolados de $\gamma = c_1/c_0$, mas não a uma faixa de valores de γ , pode ser mais interessante adotar o esquema VSI EWMA, já que este apresenta bom resultado independentemente da magnitude da alteração em c .

Algumas direções de continuação da pesquisa em gráficos de controle por atributos podem ser sugeridas: propor e analisar um esquema VSI CUSUM, que seria o concorrente mais óbvio ao esquema VSI EWMA, de modo a comparar seus desempenhos; avaliar o uso da estratégia de resposta inicial rápida no esquema VSI EWMA; e variar mais parâmetros do esquema EWMA (obtendo um esquema VSSI EWMA), mas também estudar o esquema VSS EWMA (que varia somente o tamanho de amostra), pois em certas situações pode não ser viável variar o intervalo de tempo entre amostras.