

Influência do Tamanho Amostral no Planejamento Econômico para Controle On-Line de Processo por Atributo com Erros de Classificação

Lupércio França Bessegato¹

Roberto da Costa Quinino²

Augusto dos Reis Pereira³

1. Introdução:

Taguchi, Elsayed e Hsiang (1989) propuseram um procedimento econômico para monitorar o controle *on-line* de processos por variável e, também, por atributo. O sistema de monitoramento é automático e permite a amostragem de um único item a cada inspeção. Em geral, o sistema proposto pode melhorar processos de alta qualidade que empregam algum tipo de controle automático através da coleta de observações individuais.

No caso de controle de processos por atributo, o processo é iniciado operando sob controle. Após a ocorrência de uma causa especial a fração de itens conformes produzidos diminui. A produção opera nessa condição até que seja efetuado um ajuste no processo, após o qual o processo de produção é reiniciado em sua condição inicial. O procedimento consiste na inspeção de um único item a cada m itens produzidos. O problema é a determinação do intervalo ótimo entre amostragens, m , tal que seja minimizado o custo médio do sistema de controle. O procedimento de controle *on-line* de processos foi estudado por muitos autores incluindo-se entre eles Nayeypour e Woodall (1993), Borges, Ho e Turnes (2001), Dasgupta (2003), Trindade, Ho e Quinino (2007) e Quinino, Colin e Ho (2010).

Neste trabalho, propomos um sistema de controle *on-line* por atributos sujeito a erros de classificações, no qual as decisões sobre a situação do processo baseiam-se em amostras de tamanho $n \geq 1$. Um sistema de monitoramento com essas características recolhe uma quantidade maior de informações do processo do que aquelas obtidas pelos modelos citados anteriormente, os quais se utilizam de amostras de tamanho unitário. É incorporada ao modelo restrição que considera a produção de $d - 1$ itens que não serão

¹ DE/ICE – UFJF. e-mail: lupercio.bessegato@ufjf.edu.br

² EST/ICEx – UFMG.

³ DE/ICE – UFJF.

inspecionados, entre a coleta de dois itens sucessivos. Buscam-se os parâmetros de planejamento ótimos que minimizem o custo médio do sistema de controle.

Na Seção 2 são apresentadas as propriedades de uma cadeia de Markov ergódica que são usadas para desenvolver o modelo probabilístico e a expressão do custo médio do sistema; na Seção 3, é discutida uma aplicação numérica. A seguir são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. Modelo probabilístico:

O processo é iniciado operando sob controle e tem uma fração de itens conformes p_1 . A duração do processo sob essa condição, medida pela quantidade de itens produzidos antes da mudança do processo, é modelada por uma distribuição geométrica com parâmetro π . Após uma falha, o processo torna-se fora de controle, com fração de itens conformes igual a p_2 , $p_2 < p_1$). A fração de itens conformes retorna a seu valor inicial, p_1 , apenas se o processo de produção for ajustado.

O monitoramento do processo ocorre com a inspeção dos elementos de uma amostra de tamanho n , $n \geq 1$. Os itens inspecionados são submetidos a uma única classificação e são descartados. Considera-se que o sistema de classificação está sujeito a erros de classificação. Caso a quantidade de itens amostrais declarados conformes seja menor que a , $1 \leq a \leq n$, o processo de produção é considerado como fora de controle, sendo paralisado instantaneamente e ajustado para retornar à sua condição inicial. O fluxograma do sistema de controle do processo segue os seguintes passos: (i) o processo de controle inicia-se sob controle; (ii) produzem-se m itens durante a fase inicial do ciclo de monitoramento; (iii) produz-se e inspeciona-se o primeiro dos R itens produzidos durante a fase de amostragem do ciclo de monitoramento, $R = (n - 1)d + 1$; (iv) produzem-se os próximos d itens, inspecionando-se o último deles, $d \geq 1$. Essa operação é repetida $(n - 1)$ vezes, até se completar a amostra. (v) se a quantidade de itens inspecionados classificados como conforme for menor que a , o processo de produção é ajustado, retornando ao passo (i), caso contrário inicia-se imediatamente o próximo ciclo de monitoramento [passo (ii)].

Chamamos de ciclo de regeneração o tempo entre sucessivos ajustes. Os ciclos de regeneração são independentes entre si. Em cada ciclo de monitoramento (período de tempo entre coletas sucessivas de amostras) são produzidos $m + R$ itens. A sequência de ciclos de regeneração é um processo de renovação.

O processo de produção, o monitoramento e a regra de decisão sobre o ajuste do processo podem ser modelados por uma cadeia de Markov em tempo discreto, onde cada passo da cadeia representa um ciclo de inspeção. O espaço de estados é denotado por $E = \{(w,s); w = 0, 1, 2, 3 \text{ e } s = 0, 1\}$, onde w indica a condição do processo. Para $w = 0$, o processo mantém-se sob controle até o final do ciclo corrente; $w = 1$, há mudança no estado do processo durante a produção dos m primeiros itens do ciclo corrente; $w = 2$, a mudança no estado do processo ocorre na fase de amostragem do ciclo corrente; $w = 3$, o processo opera fora de controle durante todo o ciclo corrente; $s = 1$, o processo não é ajustado e $s = 0$, a produção é paralisada para ajuste no processo.

A estrutura de custo é similar àquela adotada por Bessegato et al. (2012) e em trabalhos anteriores. São considerados três componentes de custo: inspeção, ajuste e envio de item não conforme ao mercado.

Para um grande número de inspeções e considerando que a sequência de ciclos de regeneração é um processo de renovação, o custo médio por item (produzido e enviado ao consumidor) $[C(m, n, a)]$ é a razão entre o custo esperado por ciclo de inspeção $[E(V)]$ e $m + R - n$, a quantidade de itens enviados ao mercado em cada ciclo de inspeção. Logo,

$$C(m, n, a) = \frac{E(V)}{E(Q)} = \frac{\sum_{(w, s) \in E} \pi_{(w, s)} V(w, s)}{m + R - n}$$

A determinação dos valores de m , n e a que minimizam $C(m, n, a)$ é a solução do problema, que é encontrada computacionalmente por meio de algoritmos genéticos. A aplicação de algoritmo genético como uma ferramenta de otimização em controle estatístico de qualidade pode ser encontrada em Carlyle, Montgomery e Runger (2000), Aparisi e García-Díaz (2004) e Bessegato, Mota e Quinino (2014).

3. Aplicação numérica:

A metodologia proposta é aplicada em exemplo numérico baseado em Bessegato et al. (2011). A Figura 1 mostra as curvas do custo esperado *versus* o tamanho da amostra, n , o critério de decisão, a e o intervalo entre amostragens, m . Salienta-se que, para um m fixo, o custo considerado no gráfico refere-se sempre ao menor valor encontrado na busca. Por exemplo, para $m = 160$, os parâmetros $n = a = 3$ correspondem ao custo \$0,170650, que é o menor possível para esse valor de m . A melhor política é $m^0 = 135$, $n^0 = 5$ e $a^0 = 4$,

correspondendo a um custo unitário de \$0,17028. A quantidade mínima de itens conformes para decidir-se pela não intervenção no processo (a) é o próprio tamanho amostral. Esse fato é esperado, em vista de serem elevados os valores da fração de conformidade antes e depois da mudança de estado do processo (p_1 e p_2), o que induziria uma grande parcela de itens amostrais conformes para assegurar-se que o processo de produção permanece sob controle. Observa-se que custos de inspeção mais elevados, em processos de produção com possibilidade de operação com diminuição significativa da fração de conformidade do processo, aparentemente favorecem a política de amostras não unitárias.

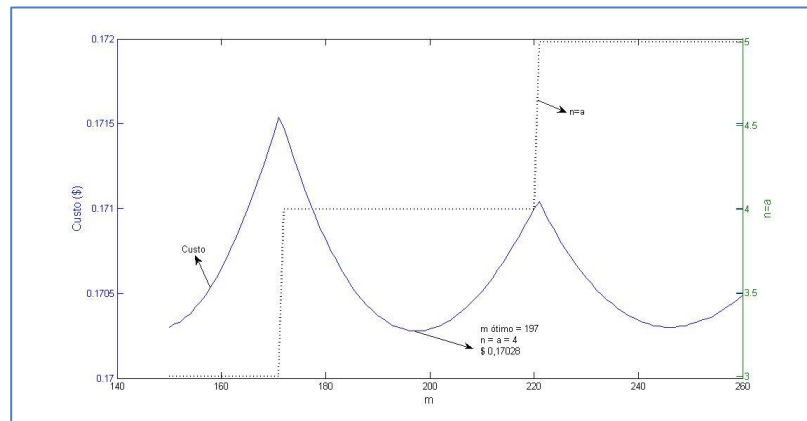


Figura 1 – Gráfico do custo esperado *versus* m e n .

4. Conclusões e pesquisa futura:

Trabalhos anteriores relacionados com controle on-line por atributo apresentam planejamentos em que se inspeciona um único item. Nesse trabalho, propõem-se amostras não unitárias em que é possível considerar incapacidade física do sistema para coletar peças consecutivamente. Os resultados apresentados indicam que há situações para as quais essa estratégia de controle pode reduzir o custo esperado por item produzido e enviado ao mercado. Há várias áreas potenciais para pesquisa futura. Por exemplo, poderia se associar amostras de mais de um item com intervalos de amostragem variável. Esta situação pode reduzir o custo médio unitário do sistema de controle.

Agradecimentos:

Os autores agradecem a FAPEMIG por seu apoio financeiro ao projeto.

5 – Bibliografia:

APARISI, F.; GARCÍA-DIAZ, J. C. Optimization of univariate and multivariate exponentially weighted moving-average control charts using genetic algorithms. *Computers & Operations Research*. v. 31, p. 1427-1454, 2004.

BESSEGATO, L. F.; MOTA, L. S.; QUININO, R. C. Online control by attributes in the presence of classification errors with variable inspection interval. *Communications in Statistics – Theory and Methods*. No prelo, 2014.

BESSEGATO, L. F.; QUININO, R. C.; DUCZMAL, L. H.; HO, L. L. On-line process control using attributes with misclassification errors: an economical design for short-run production. *Communications in Statistics – Theory and Methods*. v. 41, p. 1813-1832, 2012.

BESSEGATO, L.; QUININO, R.; HO, L. L.; DUCZMAL, L. Variable sampling interval in economical designs for online process control for attributes with misclassification errors. *Journal of the Operational Research Society*. v. 62, p. 1365-1375, 2011.

BORGES, W.; HO, L. L.; TURNES, O. An analysis of Taguchi's on-line quality monitoring procedure for attributes with diagnosis errors. *Applied Stochastic Models in Business & Industry*. v. 17, p. 261-276, 2001.

CARLYLE, W. M.; MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Optimization problems and methods in quality control and improvement. *Journal of Quality Technology*. v. 32, p. 1-17, 2000.

DASGUPTA, T. An economic inspection interval for control of the defective items in a hot rolling mill. *Journal of Applied Statistics*. v. 30, p. 273-282, 2003.

NAYEBPOUR, M. R., WOODALL, W. H. An analysis of Taguchi's on-line quality monitoring procedure for attributes. *Technometrics*. v. 35, p. 53-60, 1993.

QUININO, R.; COLIN, E. C.; HO, L. L. Diagnostic errors and repetitive sequential classifications in on-line process control by attributes. *European Journal of Operation Research*. v. 201, p. 231-238, 2010.

TAGUCHI G, ELSAYED EA, HSIANG T. *Quality Engineering in Production in Systems*. New York: McGraw-Hill. 1989. 192 p.

TRINDADE, A. L. G.; HO, L. L.; QUININO, R. C. Monitoring process for attributes with quality deterioration and diagnosis errors. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*. v. 23, n. 4, p. 339-358, 2007.