

1 Introdução

Em um ambiente cada vez mais competitivo, a importância da qualidade tem se tornado evidente, transformando o controle estatístico de processos (CEP) em um importante instrumento gerencial para redução da variação entre itens manufaturados e no crescimento da competitividade industrial através da melhoria contínua da qualidade.

As características de qualidade dos produtos resultantes de processos de manufatura podem ser avaliadas por modelos estatísticos, destacando-se, nesse contexto, os gráficos de controle propostos por Shewhart. Os gráficos de controle de Shewhart são amplamente utilizados para o monitoramento de processos produtivos e melhoria da qualidade, principalmente, em virtude de suas facilidades computacionais e por exigir treinamento mínimo em estatística. Além disso, com o avanço da informática, através da maior capacidade de processamento dos computadores pessoais, tornou-se possível automatizar o CEP e disponibilizar aos técnicos e gerentes flexibilidade para gastar menos tempo nas tarefas de cálculo e dedicar-se mais na identificação de formas para melhorar o processo. Contudo, Reis (2001) comenta que as técnicas estatísticas do controle de qualidade, dentre elas o CEP, não são aplicadas corretamente pelas empresas no Brasil, esse fato também se repete em outros países. A consequência imediata é o descrédito quanto à utilização do CEP e a redução do seu uso nas empresas.

O CEP envolve a utilização de gráficos de controle para monitorar variações em característica(s) de qualidade (sejam de um bem manufaturado, de um serviço, ou ainda variáveis de um processo que afetem características do produto), considera a dimensão temporal e estuda a natureza da variabilidade do processo.

A variabilidade é inerente a todo e qualquer processo, a questão é saber distinguir a variabilidade que é intrínseca ao processo daquela que é causada por agentes externos. A variabilidade intrínseca ou natural é resultado da existência de causas aleatórias e não pode ser evitada. Quando somente causas aleatórias são responsáveis pela variabilidade do processo, ele é dito em controle. Quando, além

das causas aleatórias, agentes externos ocasionam uma mudança na variabilidade, o processo é dito fora de controle. Nesse trabalho, agentes externos de aumento de variabilidade serão denominados causas especiais.

Monitorar, no contexto do CEP, é acompanhar o decurso de um processo com intuito de detectar possíveis causas especiais que possam vir a ocorrer.

Uma consideração básica para se utilizar um gráfico de controle convencional é que os dados gerados pelo processo sejam independentes, ou seja, não exista uma correlação serial. Porém, em muitos casos reais essa hipótese de independência dos dados não é satisfeita, acarretando interpretações equivocadas acerca do processo, gerando custo de retrabalho e de tempo do operador e/ou engenheiro. A autocorrelação (ou correlação serial) tem efeito imediato sobre a credibilidade de gráficos de controle convencionais, pois, segundo Montgomery (1997), tais gráficos não funcionam bem se a característica de qualidade exibir, mesmo em níveis baixos, correlação ao longo do tempo; uma vez que fornecerão resultados não confiáveis na forma de excesso de alarme falsos, ou seja, concluir que o processo está fora de controle quando na realidade o processo está em controle estatístico. Portanto, a existência de dados autocorrelacionados afeta sensivelmente o desempenho de gráficos de controle, fazendo com que a forma habitual de sua utilização tenha que ser modificada. Esse assunto tem recebido destaque cada vez maior por diversos autores, tais como, Montgomery (1997), Wheeler (1995), Zhang (1998), Runger & Willemain (1996), Pyzdek (1992), Iwersen (1997), Apley & Shi (1999), Charnes (1995), Guimarães & Epprecht (2000), Mingoti & Fidelis (2001), Jiang et al. (2000), entre outros.

Apesar desse interesse, nota-se que as questões relativas ao problema de monitoramento de processos autocorrelacionados não estão encerradas e há espaços para buscar um maior desenvolvimento do estado da arte. Embora, conforme comentado por Costa et al. (2004), grande parte dos processos hoje em dia exiba autocorrelação, a proporção de trabalhos dedicados a processos autocorrelacionados é ainda muito pequena, a maioria dos trabalhos ainda dedica-se a processos com observações independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.).

Este trabalho propõe uma solução, via modelos bayesianos de previsão¹, para a questão do controle estatístico de processos autocorrelacionados. Destaca-se que o autor não tem conhecimento da aplicação de tais modelos no contexto de CEP autocorrelacionado; desta forma, este trabalho contribui de forma original para o desenvolvimento do estado da arte do controle estatístico de processos.

No que tange a trabalhos que utilizam análise bayesiana no contexto da engenharia da qualidade, pode-se citar: Girard & Parent (2001), contudo, é um trabalho específico para dados categóricos. Peiris et al. (2003), descreve de forma bastante sucinta, métodos de estimação recursiva em CEP, dentre eles, estimação bayesiana e filtro de Kalman. Segundo Nembhard & Nembhard (2001), muitas operações de manufatura exibem um comportamento dinâmico antes de atingir um nível estacionário; sendo assim, eles desenvolveram uma política de ajuste para períodos transitórios baseada no uso de previsão bayesiana. Lian (2005) afirma que métodos tradicionais de controle estatístico de processo baseiam-se no fato de que os parâmetros são conhecidos, porém na prática é necessário estimar esses parâmetros antes de aplicar o controle estatístico e, caso o tamanho da amostra seja pequeno, isso poderá acarretar um erro substancial nessa estimação. Girshick & Rubin (1952) lida com a abordagem de Bayes para um modelo de controle de qualidade, o objetivo é encontrar procedimentos ótimos de controle estatístico de qualidade e de inspeção contínua. Vaughan (1993), utiliza análise bayesiana em um gráfico np para subsidiar decisões sobre o esquema de amostragem. Porteus & Angelus (1997), utilizam programação dinâmica bayesiana em decisões acerca de políticas de CEP, tais como, tamanho do lote, atraso na inspeção e manter ou não a inspeção durante o resto da produção. Calabrese (1995) desenvolveu uma metodologia bayesiana para CEP para atributos, por exemplo, quando a característica de qualidade de interesse é a fração de defeitos.

Este trabalho aplica uma formulação bayesiana, especificamente, o Modelo Linear Dinâmico de Harrison & Stevens (MLD-HS) ao controle estatístico de processos autocorrelacionados.

O texto é estruturado de forma a revisar os principais gráficos de controle utilizados no controle estatístico de processos no capítulo 2, bem como as

¹ Modelo linear dinâmico de Harrison & Stevens (MLD-HS).

principais medidas de desempenho de gráficos de controle, além de enfatizar a questão da autocorrelação, apresentando uma revisão bibliográfica das principais abordagens no trato da correlação serial no contexto do CEP. No capítulo 3, descreve-se as características fundamentais dos modelos bayesianos de previsão de Harrison & Stevens. O capítulo 4 apresenta o modelo estacionário para CEP autocorrelacionados, além de mostrar resultados de simulações e de análise de sensibilidade do modelo. Finalmente, nas conclusões do trabalho são sugeridos novos avanços no estado da arte do CEP autocorrelacionados. O apêndice mostra tabelas com os resultados obtidos e o programa desenvolvido em MATLAB R2006a.