

GRÁFICOS DE CONTROLE 3D APLICADOS A PROCESSOS PARALELOS EM UMA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA DO ESTADO DO CEARÁ

João Welliandre Carneiro Alexandre (UFC)
jwca@ufc.br

Alan Pereira de Vasconcelos (UFC)
alan@ufc.br

Silvia Maria de Freitas (UFC)
silvia@ufc.br

Júlio Francisco Barros Neto (UFC)
jfbarros@ufc.br



O modelo de Walter Shewhart para gráficos de controle é particularmente adequado para processos discretos, com produtos decorrentes de somente um fluxo de produção. Uma característica adicional na construção dos gráficos de controle em processos paralelos é a possibilidade da existência de duas fontes de variações com características diferentes: longitudinal e transversal. A determinação dos limites de controle para a média, no modelo de Shewhart, considera a variação longitudinal da característica da qualidade monitorada e não é adequado determinar esses limites por meio da variabilidade transversal. Os gráficos de controle 3D são uma alternativa para contornar esse problema, que consiste na construção de três gráficos: um para monitorar a média e dois para monitorar a variabilidade (longitudinal e transversal). Portanto, a proposta deste artigo é apresentar uma aplicação desse modelo em um processo paralelo de fabricação de rolhas metálicas, de uma indústria manufatureira do estado do Ceará.

Palavras-chaves: Gráfico 3D, Processo Paralelo, Variação transversal e longitudinal

1. Introdução

Na monitoração de um processo de fabricação em série frequentemente existe uma variável de interesse X , cuja distribuição de probabilidade está associada ao estado de controle do processo. Em particular, são comuns situações em que a variável X apresenta uma distribuição aproximadamente normal. O processo é dito estar sob controle se a média e a variância de X são, respectivamente, μ e σ^2 . Aqui μ é, em geral, um valor ajustado de acordo com as especificações de projeto, e σ^2 é uma característica do processo. O descontrole do processo ocorre quando a média desvia do valor μ ou quando a variância aumenta com relação ao mínimo possível σ^2 , ou ambos.

Os Gráficos de Controle Estatístico do Processo (GCEP) no monitoramento de um processo produtivo foram introduzidos por Shewhart (1931). Esse esquema baseia-se na seleção e inspeção de uma amostra de n itens a cada intervalo de h unidades de tempo. As médias amostrais \bar{X} são comparadas com os limites de controle do gráfico da média: $\mu - 3\sigma_{\bar{X}}$ e $\mu + 3\sigma_{\bar{X}}$, já previamente determinados. Se \bar{X} cair além desses limites assume-se que uma causa especial alterou a média do processo. Neste caso, ações corretivas devem ser empreendidas visando eliminar tal fonte de distúrbio. Se \bar{X} cair dentro dos limites de controle, recomenda-se não intervir no processo.

Associado ao gráfico \bar{X} é frequentemente construído o gráfico R (amplitude), para monitorar a variabilidade do processo. Aqui, apresenta-se graficamente, para cada amostra entre as h unidades de tempo, a amplitude amostral da característica de interesse.

Em geral é assumido que a ocorrência de uma causa assinalável (perturbação) no processo gera uma mudança na média do processo de μ para $\mu_1 = \mu \pm \delta\sigma$, $\delta > 0$, e na variabilidade do processo do tipo σ^2 para $\sigma_1^2 = \gamma^2\sigma^2$, $\gamma > 1$.

Na elaboração dos gráficos de controle a formação dos subgrupos racionais se baseia no princípio de que dentro do subgrupo deve-se maximizar a existência de somente causas aleatórias, e as causas especiais, caso existam, devem ocorrer entre os subgrupos.

Em processos paralelos – processos com vários fluxos de produção - na formação dos subgrupos duas características merecem maior atenção: as variações longitudinais e transversais. O modelo de Shewhart, na determinação dos limites de controle para a média, utiliza a variabilidade longitudinal. Esse princípio deve ser mantido em processos paralelos - não é adequado construir os limites de controle para a média, em processos paralelos, baseados na variabilidade transversal. Como ilustração considere o processo de fabricação de rolhas metálicas onde em cada batida de uma máquina são produzidas várias rolhas originadas de diferentes punções. As variabilidades longitudinal e transversal são originadas ao longo e dentro de cada batida, respectivamente. Ambas variações têm fontes diferentes e devem ser consideradas na construção dos gráficos de controle. Uma alternativa que contorna essa situação é a aplicação do Gráfico 3D (RAMOS, 2000). No caso da ilustração acima é necessária a construção de três gráficos de controle: um para monitorar a média e dois para monitorar as variabilidades longitudinal e transversal do processo, sendo que na determinação do gráfico para a média é utilizada a variabilidade longitudinal.

A literatura é, contudo, carente em exemplos práticos, do meio produtivo, da aplicação dos

Gráficos 3D. Um dos motivos que pode levar a essa carência é a não disponibilidade dos dados, por algumas empresas, o que é compreensível, devido ao sigilo das informações que se observa em muitos setores produtivos, motivado em muitas situações pela acirrada concorrência.

O objetivo principal, portanto, deste artigo é contribuir na redução dessa carência. Este artigo apresenta resultados de um estudo de implantação de GCEP em uma indústria manufatureira do estado do Ceará, inserido no setor de fabricação de rolhas metálicas. O Gráfico 3D foi aplicado no processo de fabricação das rolhas, cujos interesses consistiam em investigar o procedimento mais adequado para a construção dos gráficos para a média das alturas das rolhas e o estado de controle do processo quanto à variabilidade dentro de cada batida e entre as batidas.

No desenvolvimento deste artigo serão apresentadas, nas próximas seções, discussões sobre gráficos de controle convencionais de Shewhart, processos paralelos, variações longitudinais e transversais, Gráfico 3D e sua aplicação.

2. Considerações sobre o modelo de Shewhart no monitoramento de processo produtivo

Uma das abordagens da evolução da qualidade se deve a Garvin (1994) que apresenta a evolução da qualidade baseada em “quatro eras da qualidade”: Inspeção total, controle estatístico da qualidade (CEP), garantia da qualidade e gestão estratégica da qualidade. Nessa evolução a responsabilidade pela qualidade ultrapassou os limites do setor produtivo, característica da primeira era, e chega atualmente à alta gerência e, principalmente, ao dirigente máximo da organização.

A introdução dos GCEP faz parte da segunda era da qualidade. A grande mudança com relação à inspeção total consiste no fato de que com o CEP, o monitoramento do processo passou a ser “on-line”, isto é, durante a produção, e não somente no final, como era característica da inspeção total, o que contribui sensivelmente para a redução dos custos de produção. Na realidade as seguintes razões podem justificar o uso dos GCEP: fornecem uma técnica para a melhoria da produtividade, são efetivos na prevenção e detecção de defeitos, previnem ajustes desnecessários no processo, fornecem informações para diagnóstico e sobre a capacidade do processo.

Algumas considerações sobre os gráficos convencionais de Shewhart:

Existem duas causas que afetam diretamente um processo produtivo: 1- as *causas comuns ou aleatórias*, que são inerentes ao processo, resultantes da soma de um grande número de pequenas variações nas suas causas. Isto significa que a quantidade de variabilidade se mantém numa faixa estável. Não homogeneidade da matéria prima, flutuações de correntes, período de manutenção, procedimentos e instruções de trabalhos são alguns exemplos; 2- as *causas especiais ou assinaláveis*, que não fazem parte do processo o tempo todo. Surgem ocasionalmente devido a uma causa específica, levando aos resultados estranhos quando comparada à inerente ao processo. Essas causas devem ser imediatamente pesquisadas e bloqueadas. Um processo está “sob controle estatístico” ou simplesmente “sob controle”, se está operando com apenas causas comuns de variação. Como ilustrações podem ser citadas: quebras de ferramentas ou máquinas, erro humano, procedimentos não executados e funcionário não treinado.

A ocorrência de causas especiais pode conduzir a alterações na média e/ou na variabilidade do processo. Os gráficos mais comuns e largamente apresentados na literatura são os gráficos \bar{X}

e R (do Inglês *range*, que significa amplitude), este último, apropriado quando $n \leq 10$. Quando $n > 10$, o gráfico para o desvio-padrão (gráfico S) deve ser aplicado para monitorar a variabilidade.

Quando somente valores individuais estão disponíveis para a construção de gráficos de controle são aplicados os gráficos X e Rm denominados, respectivamente, como gráficos para medidas individuais e amplitude móvel (gráfico X-Rm). Nesse caso os subgrupos têm tamanho $n=1$ e a amplitude móvel é definida como a diferença (em módulo) entre os k valores (subgrupos) individuais selecionados, ou seja,

$$Rm_i = | X_i - X_{i-1} |, \text{ com } i = 2, 3, \dots, k$$

Este artigo não se propõe a apresentar em detalhes a construção desses gráficos, já que eles são bastante conhecidos. Para maiores detalhes ver (MONTGOMERY, 1991 e COSTA *et. al.*, 2004). Contudo, algumas considerações podem ser apresentadas:

- Os parâmetros dos GCEP são: o fator de largura do intervalo l , o intervalo entre as amostras h , e o tamanho de cada subgrupo (amostra) n ;
- O gráfico \bar{X} fornece uma forte proteção contra alarmes falsos - um alarme falso a cada 370 inspeções, em média. Define-se como alarme falso, a afirmação errônea de que o processo está fora de controle. Este aspecto é particularmente importante, pois pode gerar um descrédito do gráfico e aumento dos custos devido à inspeção desnecessária;
- Na formação dos subgrupos é necessário considerar que as variações provocadas por causas especiais, se estiverem presentes, deverão aparecer entre subgrupos e, então, tentar agrupar os dados de forma que a variabilidade resultante da atuação das causas aleatórias construa a variação dentro do subgrupo. Portanto, a eficiência dos gráficos de controle está diretamente associada a que variabilidade se deseja monitorar.

Com base nessas considerações diversos autores propuseram modelos adaptativos e alternativos ao proposto por Shewhart, e desenvolveram, também, estudos comparativos entre eles (PAGE, 1954; ROBERTS, 1959; EWAN, 1963; HUNTER, 1986; REYNOLDS *et al.* 1990; COSTA, 1994; COSTA, 1997; TONG & CHEN, 1998; COSTA, 1999a; COSTA, 1999b; WISNOWSKI & KEATS, 1999; CHAN *et al.* 2000, COSTA, 2001; ALEXANDRE & FARIAS, 2004).

3. Discussão sobre processos paralelos e variabilidade transversal e longitudinal

A formação dos subgrupos para a construção dos gráficos de controle deve obedecer ao princípio de que não é indicado misturar produtos oriundos de diferentes fluxos de produção, característica dos processos paralelos, uma vez que a variabilidade dentro de cada subgrupo deve ser devido ao acaso e esta variação é utilizada na determinação dos limites para o gráfico para a média. Assim, as variações dentro de cada subgrupo podem ser devido a problema de estratificação no processo de seleção dos produtos para a formação do subgrupo.

A eficiência dos gráficos de controle está diretamente associada a que variabilidade se deseja monitorar e a largura dos limites de controle para o gráfico para a média é determinada a partir da variabilidade natural que deve existir dentro de cada subgrupo. Em determinados tipos de processo, há a necessidade de controlar dois tipos de variação: longitudinal e transversal. Dentro dessa discussão, dois cenários merecem destaques (para maiores detalhes ver RAMOS, 2000):

- a) Em alguns processos contínuos mesmo com apenas um fluxo de produção podem existir duas fontes de variações, conforme os objetivos dos gráficos de controle. Como ilustração, pode ser citada a indústria têxtil onde se deseja monitorar uma característica da qualidade do tecido. Após a retirada de uma tira do tecido, no final da bobina, são cortados transversalmente n espécimes e medida a característica de interesse. Considere que é importante o controle tanto a variação transversal como a variação longitudinal. O gráfico para a média deve ser baseado na variabilidade ao longo da bobina (longitudinal), não sendo apropriado tomar como base medidas transversais. Uma outra ilustração é quando se deseja fazer comparações, por exemplo, entre posições dentro de um mesmo produto, da característica de interesse da qualidade. Por exemplo, diferenças entre as posições superior, meio e inferior das camadas de tinta das laterais de uma geladeira: variabilidade transversal consiste na variação entre as posições dentro de cada lateral selecionada, e variabilidade longitudinal, entre laterais (ao longo do tempo);
- b) Em processos paralelos, como é o caso abordado neste artigo, onde o produto é fabricado simultaneamente em diferentes fluxos de produção, a variação transversal tem origem mais evidente e pode ser mais acentuada. Cada fluxo de produção tem controle independente e, portanto, origens diferentes de variação. Considere, como ilustração, o envase simultâneo de líquidos em n produtos (garrafas) de uma indústria de bebidas, com cada produto envasado por um fluxo de produção. A variabilidade transversal corresponde à variação em cada instante de tempo dos n produtos. Caso haja o interesse de se investigar a variabilidade longitudinal deve-se considerar a variação ao longo do tempo.

É importante observar que em processos paralelos, o modelo de Shewhart pode se tornar difícil e burocrático, devido à necessidade da construção de vários gráficos de controle, onde para cada fluxo é necessário elaborar um gráfico para monitorar a média e outro gráfico para monitorar a variabilidade. Nesse caso uma alternativa é o gráfico por grupos, conforme discutido e ilustrado em Alexandre *et. al.* (2006).

Neste artigo, contudo, se discute e ilustra o caso de processos paralelos onde se deseja monitorar as variações transversal e longitudinal a partir da seleção de uma amostra a cada intervalo de tempo h .

4. O modelo de gráfico 3-D para o monitoramento do processo

Conforme pode ser visto em Ramos (2000), os gráficos 3-D, ou seja, três dimensões são, na verdade, uma combinação do modelo tradicional de Shewhart (gráfico \bar{X} -R) com os gráficos X-Rm, de forma que possibilitam o monitoramento das variabilidades transversal e longitudinal. A denominação 3-D decorre do fato de serem construídos três gráficos: Gráfico \bar{X} , gráfico Rm, para monitorar a variabilidade longitudinal e gráfico R ou S, para monitorar a variabilidade transversal.

A construção do gráfico 3-D é, portanto, bastante simples e o princípio fundamental está na formação dos subgrupos e nas variações que se deseja controlar. Para efeito de discussão deste artigo que consiste na aplicação do gráfico 3-D em processos paralelos, considere a Tabela 1 que apresenta a matriz geral de dados.

Subgrupo	Fluxo 1	Fluxo 2	...	Fluxo n	Média	Amplitude (1)	Amplitude Móvel
1	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	...	$X_{1,n}$	\bar{X}_1	R_1	-----

2	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	...	$X_{2,n}$	\bar{X}_2	R_2	Rm_2
3	$X_{3,1}$	$X_{3,2}$	...	$X_{3,n}$	\bar{X}_3	R_3	Rm_3
.
.
.
k-2	$X_{k,1}$	$X_{k,2}$	...	$X_{k-2,n}$	\bar{X}_{k-2}	R_{k-2}	Rm_{k-2}
k-1	$X_{k,1}$	$X_{k,2}$	...	$X_{k-1,n}$	\bar{X}_{k-1}	R_{k-1}	Rm_{k-1}
k	$X_{k,1}$	$X_{k,2}$	...	$X_{k,n}$	\bar{X}_k	R_k	Rm_k

Nota: (1) Para $n > 10$ substituir pelo desvio-padrão conforme discutido na seção 2

Tabela - Matriz geral de dados para a construção do Gráfico 3-D

O procedimento para a formação dos subgrupos é semelhante ao modelo de Shewhart e consiste em:

- Selecionar uma amostra (subgrupo) de tamanho n produtos a cada intervalo de tempo h , e para cada produto medir a característica de interesse (no caso do processo paralelo representado pela Tabela 1, n é o número de fluxos e para cada fluxo um produto). O número total de subgrupos é igual a k ;
- Determinar as médias, amplitudes (ou desvio-padrão) e amplitudes móveis de cada amostra;
- Determinar os limites de controles dos gráficos para a média e amplitude móvel

$$LSC = \bar{\bar{X}} + \frac{3 * \bar{R}m}{d_2} \quad \text{e} \quad LSC = D_4 * \bar{R}m$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - \frac{3 * \bar{R}m}{d_2} \quad \text{e} \quad LIC = D_3 * \bar{R}m$$

sendo, $\bar{\bar{X}}$ e $\bar{R}m$,

respectivamente, a média das médias de cada subgrupo e média das amplitude móveis do processo (linhas centrais), d_2 , D_3 e D_4 são funções de n e tabelados – os valores de todas as constantes inseridas neste artigo podem ser encontradas em Montgomery (1991). O gráfico Rm servirá de base para a construção do gráfico \bar{X} e controle da variabilidade longitudinal;

- Determinar os limites de controles dos gráficos para a amplitude (ou desvio-padrão) para monitorar a variabilidade dentro de cada subgrupo (variabilidade transversal)

$$LSC = D_4 * \bar{R} \quad \text{para a amplitude, e} \quad LSC = B_4 * \bar{S}$$

$$LIC = D_3 * \bar{R} \quad \text{para o desvio-padrão} \quad LIC = B_3 * \bar{S}$$

onde \bar{R} e \bar{S} são, respectivamente, as médias das amplitudes e desvios-padrão, e B_3 e B_4 são constantes função de n e tabeladas;

- Plotar os três gráficos de controle. Se os gráficos apresentarem um comportamento aleatório com todos os pontos dentro dos limites de controle, tem-se uma indicação de que o processo está sob controle estatístico; se algum deles não apresentar essa configuração recomenda-se investigar e corrigir as causas que levaram a esse estado de instabilidade no processo.

5. Aplicação dos gráficos de controle 3-D

O processo de fabricação consiste na produção de rolhas metálicas por uma indústria manufatureira do estado do Ceará. Em cada batida de uma máquina sobre uma chapa metálica são produzidas 27 rolhas originadas de 27 diferentes punções. Cada punção é calibrada de forma independente e há o interesse de investigar tanto a variabilidade entre punções, dentro de cada batida, como a variabilidade entre as batidas. A Figura 1 apresenta a configuração dos 27 punções de estampagem das 27 rolhas, em cada batida na chapa.

A característica da qualidade monitorada é altura da rolha e a unidade de medida é apresentada em milímetros. Os limites da altura especificados em projeto são de 5,85 a 6,15 milímetros. Alturas fora das especificações conduzem a problemas de encaixe no envase das garrafas.

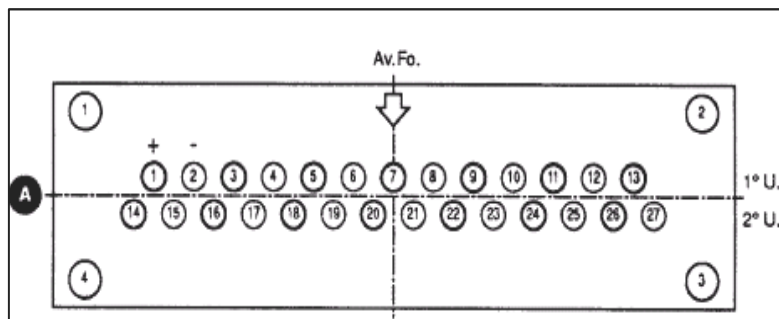


Figura 1 - Configuração dos 27 punções de estampagem

Foi selecionada consecutivamente a cada duas horas, uma batida do processo e medidas as alturas das 27 rolhas originadas dos 27 punções. Como para cada batida $n=27$ ($n>10$) foi determinado o desvio-padrão de cada subgrupo para medir a variabilidade transversal. A amplitude média foi calculada a partir da média de cada subgrupo. A Tabela 2 apresenta essas estatísticas, como também o maior e o menor valor das alturas das rolhas selecionadas para cada batida.

Subgrupos	Menor Valor	Maior Valor	Média	Amplitude Média	Desvio Padrão
1	6,00	6,07	6,029	-----	0,015
2	6,00	6,05	6,021	0,007	0,014
3	5,99	6,03	6,007	0,015	0,011
4	6,00	6,05	6,016	0,009	0,013
5	5,99	6,05	6,019	0,003	0,013
6	5,99	6,04	6,019	0,000	0,014

7	5,99	6,04	6,023	0,004	0,011
8	6,00	6,06	6,029	0,007	0,012
9	6,00	6,05	6,021	0,008	0,012
10	5,98	6,03	6,007	0,014	0,012
11	5,98	6,04	6,014	0,007	0,014
12	5,99	6,05	6,021	0,007	0,013
13	6,00	6,04	6,016	0,005	0,012
14	5,97	6,02	5,997	0,019	0,013
15	6,00	6,05	6,022	0,025	0,012
16	5,98	6,04	6,007	0,015	0,013
17	5,95	6,04	5,998	0,009	0,017
18	5,98	6,05	6,014	0,016	0,015
19	6,00	6,06	6,038	0,024	0,014
20	5,98	6,06	6,014	0,024	0,017

Tabela 2 - Matriz de dados para os cálculos dos limites de controle

Cada punção é calibrada individualmente para produzir a rolha com altura de 6,00 milímetros e durante o processo de fabricação podem ocorrer alterações nessa calibração de forma independente entre os punções.

É importante informar que antes da elaboração dos gráficos de controle foi realizada uma análise do sistema de medição do processo, que se mostrou adequado. Essa análise é importante, porque os gráficos de controle podem revelar equivocadamente um estado fora de controle do processo devido a inadequação do sistema de medição.

6. Resultados e análises dos dados

Uma análise inicial revela que o processo de produção de rolhas metálicas é bastante robusto. Observa-se com base nos maiores e menores valores das alturas das rolhas de cada batida apresentados na Tabela 3, que a menor e a maior altura são, respectivamente, 5,95 e 6,07 milímetros, sendo que isso ocorre em somente uma vez para cada medida. Há uma concentração em torno da altura 6,00 milímetros.

A partir dos dados da Tabela 3, foram calculados os limites de controle para os gráficos da média, amplitude móvel e desvio-padrão, que são apresentados na Tabela 3, abaixo:

Gráficos	Limites de controle		
	Superior	Médio	Inferior

Média	6,0470	6,0166	5,9862
Amplitude Móvel	0,0373	0,0114	0,0000
Desvio-Padrão	0,0189	0,0133	0,0077

Tabela 3 – Valores da linha central e limite superior e inferior

A Figura 3 apresenta o gráfico para as médias, cujos limites de controle foram determinados a partir da amplitude móvel, a variabilidade longitudinal utilizada como medida de dispersão ao longo do processo, cujo gráfico é apresentado na Figura 4. A variabilidade dentro de cada batida (transversal) é monitorada por meio da Figura 5.

O gráfico para média apresenta um comportamento aleatório sem nenhum ponto além dos limites de controle. Nos gráficos para a amplitude móvel e desvio-padrão todos os pontos estão dentro dos limites de controle. Esses gráficos revelam, portanto, que o processo está sob controle, não sendo necessário nenhuma intervenção.

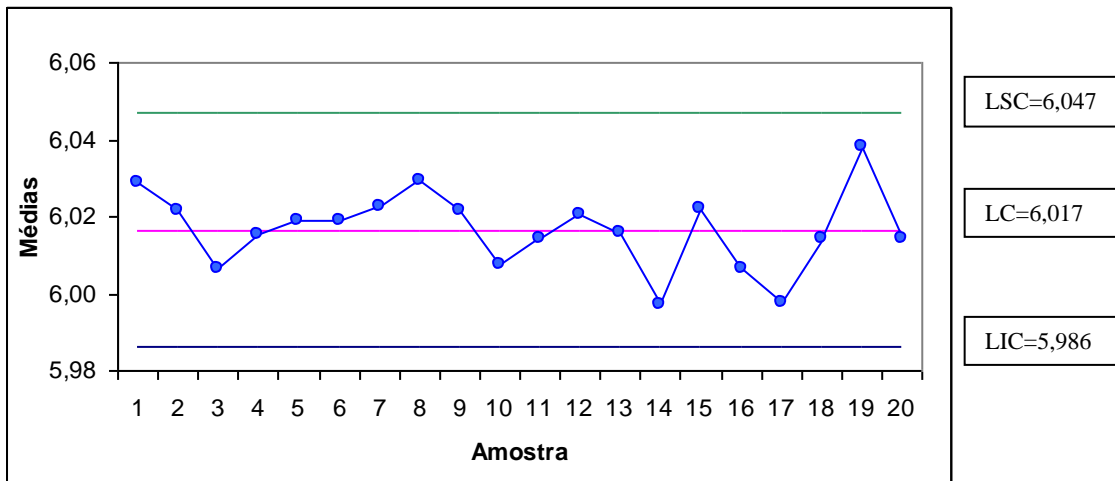


Figura 3 – Gráfico de controle para a média (limites com base na amplitude móvel)

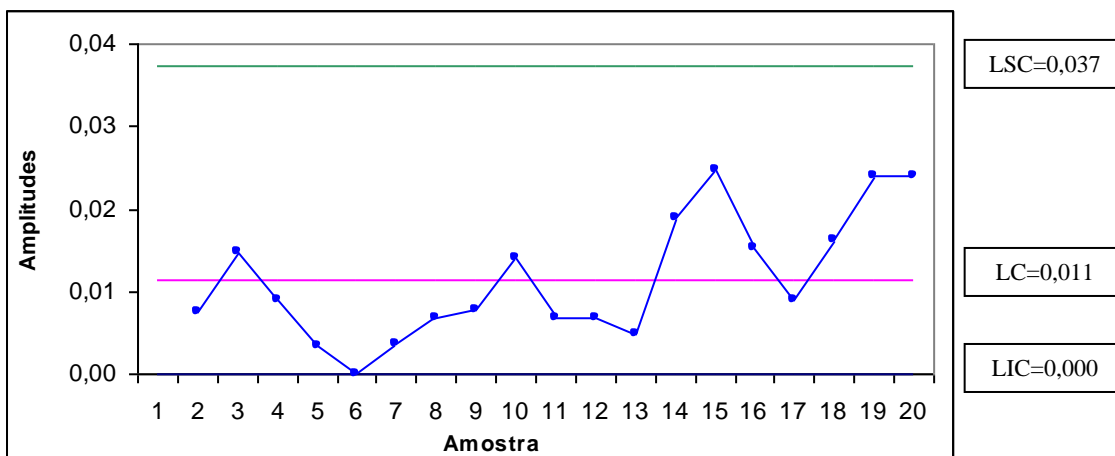


Figura 4 – Gráfico de controle para a amplitude móvel

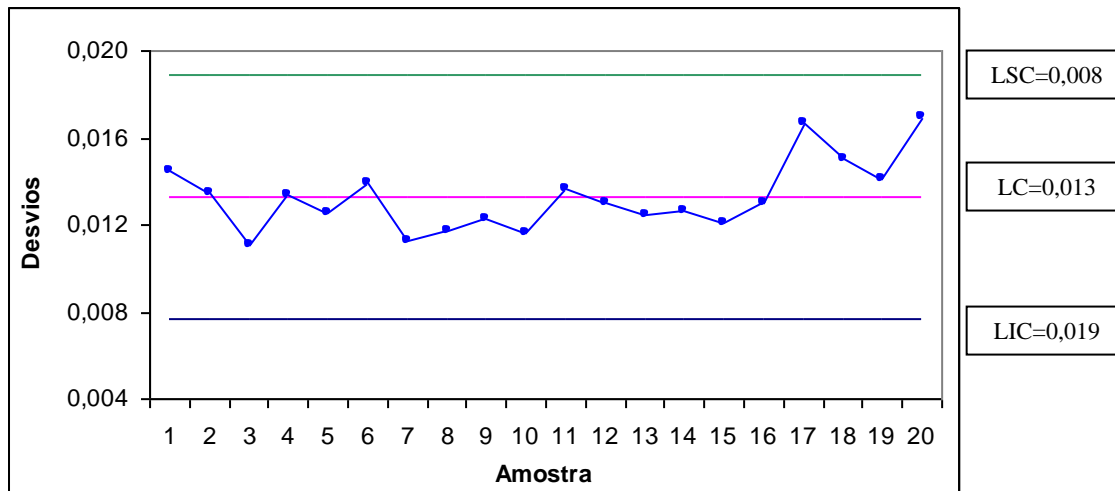


Figura 5 – Gráfico de controle para o desvio-padrão

Com relação ao estudo da variabilidade e a informação fornecida por cada gráfico é importante considerar que:

- Pontos fora dos limites de controle e comportamento não aleatório no gráfico para a média podem indicar uma mudança de nível no processo, contudo, a identificação dos punções (fluxos de produção) que afetam essa mudança necessita de uma análise mais profunda, pois a média é decorrente de todos os 27 punções;
- O gráfico para a amplitude móvel monitora diferenças entre turnos de trabalho, batidas, dias da semana, etc.;
- O gráfico para o desvio-padrão monitora a variabilidade entre os punções, dentro de cada batida, isto, é a variabilidade dos ajustes dos punções, que são calibrados independentemente.

A variabilidade dentro de cada batida tem, portanto, origens diferentes da variabilidade entre as batidas. A Figura 6 mostra a forma inadequada de construção de gráficos de controle, isto é, apresenta o gráfico de controle para a média com os limites de controle determinados com base na variabilidade dentro das batidas (transversal).

Os limites de controles foram determinados a partir das fórmulas:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + \frac{3 * \bar{S}}{c_4 \sqrt{n}}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - \frac{3 * \bar{S}}{c_4 \sqrt{n}}$$

onde c_4 é constante, função de n e tabelado.

Observa-se que neste caso o gráfico revela, de forma equivocada, um processo fora de controle, pois existem vários pontos além dos limites de controle. É importante recordar que os limites de especificações estão definidos entre [5,85 ; 6,15], e se observa na Figura 6 que o limite inferior controle (6,009) está acima do valor central das especificações (6,00), diferente do limites inferior de controle (5,986) revelado pela Figura 3 acima.

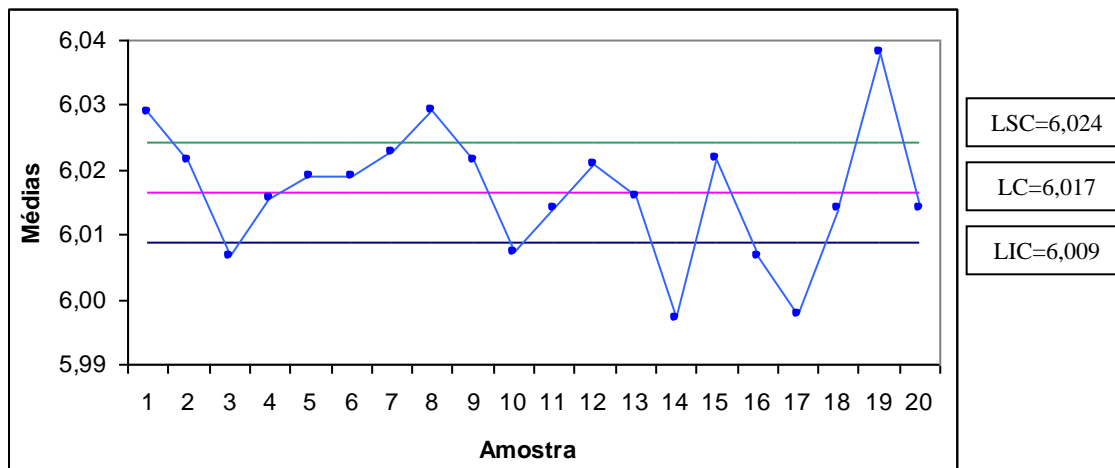


Figura 6 – Gráfico de controle para a média (limites com base no desvio-padrão)

7. Conclusão

Este artigo busca contribuir para a redução da carência na literatura com relação a exemplos práticos da aplicação dos gráficos 3-D no monitoramento de processos paralelos, modelos esses alternativos ao tradicional de Shewhart, que se mostra não apropriado nessas situações.

A formação dos subgrupos racionais e a definição da variabilidade que se deseja medir são dois aspectos muito importantes na construção do gráfico 3-D. No exemplo aqui apresentado, o gráfico 3-D se mostrou adequado quando se deseja monitorar simultaneamente as variabilidades transversal e longitudinal, e ilustra a construção dos gráficos para a média com base na variabilidade transversal pode conduzir uma conclusão equivocada com relação ao estado de controle do processo.

Evidentemente este artigo não se propõe esgotar o assunto, ao contrário, diversas linhas de pesquisas podem ser sugeridas, tais como: o estudo da estrutura de autocorrelação nos processos paralelos, a determinação da estrutura probabilística do modelo 3-D, a determinação da eficiência do modelo na detecção rápida de ocorrência de alterações no processo.

Por fim, uma análise comparativa entre o gráfico 3-D e gráfico por Grupos, quanto as suas finalidades de uso e determinação da eficiência relativa entre eles, contribuirá para o avanço da literatura especializada.

Referências Bibliográficas

ALEXANDRE, J . W. C. & FARIAS, R B. A. *Um estudo comparativo sobre a eficiência entre os modelos Shewhart e da média móvel ponderada exponencialmente com amostragens*

em dois estágios. Encontro Regional de Métodos Estatísticos para a Melhoria da Qualidade, realizado em 8 a 12 de novembro, Natal-RN, 2004.

ALEXANDRE, J. W. C., RODRIGUES, L. F. M., RODRIGUES, F. P. & FREITAS, S. M. *Aplicação do gráfico de controle por grupos em uma indústria manufatureira do estado do Ceará.* Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, CD-ROM, Fortaleza-CE, 09-11/10/2006.

CHAN, L. Y., XIE, M. & GOH, T. N. *Cumulative Quantity Control Charts for Monitoring Production Process.* International Journal of Production Research. Vol. 38, n. 2, p. 397-408, 2000.

COSTA, A. F. B. \bar{X} *Charts with Variable Sample Size.* Journal of Quality Technology. Vol. 26, n. 3, July, 155-63, 1994.

COSTA, A. F. B. \bar{X} *Charts with Variable Sample Size and Sampling Intervals.* Journal of Quality Technology. Vol. 29, n. 2, April, p. 197-204, 1997.

COSTA, A. F. B. *Joint \bar{X} and R Charts with Variable Sample Sizes and Sampling Intervals.* Journal of Quality Technology. Vol. 31, n. 4, October, p. 387-97, 1999a.

COSTA, A. F. B. \bar{X} *Charts with Variable Parameters.* Journal of Quality Technology. Ol. 31, n. 4, October, p. 408—16, 1999b.

COSTA, A. F. B. *Gráficos \bar{X} e R com amostragens em dois estágios..* Anais do XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, CD-ROM, Salvador-BA, 2001.

COSTA, A. F. B., EPPRECHT, E. K. & CARPINETTI, L. C. R. C. *Controle Estatístico de Qualidade.* São Paulo: Editora Atlas S.A., 2004.

EWAN, W. D. *When and How to Use Cu-Sum Charts.* Technometrics. Vol. 5, n. 1, February, p. 1-22, 1963.

GARVIN, D.A. *Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva.* Rio de Janeiro, Qualitymark, 1992.

HUNTER, J. S. *The Exponentially Weighted Moving Average.* Journal of Quality Technology. Vol. 18, n. 4, p. 203-9, 1986.

MONTGOMERY, D. C. *Introduction to Statistical Quality Control.* New York: John Wiley & Sons, 1991.

PAGE, E.S. *Continuous Inspection Schemes.* Biometrika, Vol. 41, p. 100-114, 1954.

RAMOS, A. W. *CEP para processos contínuos e em bateladas.* São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2000.

REYNOLDS JR, M. R., AMIN, R. W. & ARNOLD, J. C. *CUSUM charts with variable sampling intervals.* Technometrics. Vol. 32, n. 4, p. 371-84, 1990.

ROBERTS, S. W. *Control Charts Tests based on Geometric Moving Averages.* Technometric. Vol. 1, 239-50, 1959.

SHEWHART, W. A. *Economic Control Quality of Manufacturing Product.* New York: Van Nostrand, 1931.

TONG, L. I. & CHEN, J. P. *Lower Confidence Limits of Process Capability Indices for Non-normal Process Distributions.* International Journal of Quality & Reliability Management. Vol. 15, n. 8/9, p. 907-19, 1998.

WISNOWSKI, J. W. & KEATS, J. B. *Monitoring the Availability of Assets with Binomial and Correlated Observations.* Quality Engineering. Vol. 11, n. 3, p. 387-93, 1999.