

8

Conclusões e Sugestões para pesquisas futuras

8.1

Conclusões

Ao longo desta tese foram detalhadas e analisadas as propostas de novos gráficos de controle de grupos para o monitoramento da dispersão intra-canal em processos multicanal com correlação entre canais devido à presença de uma componente de variação comum a todos os canais. No caso do controle por observações individuais foram propostos o GCG de MR das diferenças em relação ao nível-base e a sua versão EWMA para aumentar a sensibilidade contra pequenas alterações na dispersão. Para o controle por dados subgrupados foram propostos o GCG de S^2 e o GCG de EWMA de $\ln(S^2)$.

É importante ressaltar que, até o momento, todos os trabalhos publicados em controle estatístico de processos multicanal foram dedicados ao controle estatístico da média, sendo que dentre tais trabalhos, o GCG das diferenças em relação ao nível-base (DNB) proposto por Barbosa (2008) foi um dos que apresentaram os melhores resultados de desempenho, em termos de detecções mais rápidas contra alterações na média das componentes individuais de variação. Uma linha recente de trabalhos para CEP multicanal se baseia no modelo matemático para PMC de Mortell e Runger (1995), que foi o primeiro trabalho a reconhecer explicitamente que a fonte de variação de um processo multicanal pode ser decomposta em duas componentes distintas: uma comum a todos os canais do sistema e outra, correspondente à variação individual de cada um dos canais.

Não apenas se registra nenhum esquema para o monitoramento da dispersão da componente individual dos canais, como não se registra, na literatura até o momento, a análise de desempenho de nenhum dos esquemas já existentes, contra alterações na dispersão. Portanto, a presente tese possui caráter inédito na área de controle estatístico de processos multicanal.

Para cobrir o assunto de CEP multicanal mais amplamente, sem deixar de estudar o controle estatístico da média, a tese também contemplou o desenvolvimento e a análise de desempenho do GCG de EWMA das diferenças em relação ao nível-base, aprimorando o esquema de Barbosa (2008), para maior sensibilidade contra pequenas alterações na média das componentes individuais de variação.

Cabe ressaltar que todos os gráficos de controle analisados e propostos servem ao monitoramento de processos multicanal onde as observações sejam bem representadas pelo modelo matemático proposto por Mortell e Runger (1995).

Foi analisado o desempenho de todos os gráficos de controle descritos e propostos (em estilo Shewhart e em estilo EWMA) para dois diferentes tipos de alterações: na média e na dispersão. A relação de gráficos analisados, assim como as alterações consideradas na análise de eficiência de cada um deles, está descrita na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Relação de gráficos de controle analisados nesta tese

Gráfico de Controle Analisado	Alteração analisada		
	na média	na dispersão	
		n=1	n=4
GC de R_t de Mortell e Runger (1995) ¹		X	X
GC de EWMA de R_t de Mortell e Runger (1995)	X	X	X
GC de S^2 de Runger, Alt e Montgomery (1996) ¹		X	X
GC de MEWMA de S^2 de Runger, Alt e Montgomery (1996)	X	X	X
GCG de DNB de Barbosa (2008) ¹		X	X
GCG de EWMA DNB proposto	X	X	X
GCG de MR DNB proposto		X	
GCG de EWMA MR DNB proposto		X	
GCG de S^2 proposto			X
GCG de EWMA $\ln(S^2)$ proposto			X

¹ O desempenho destes gráficos contra alterações na média já foi analisado anteriormente por Barbosa (2008)

As medidas de desempenho foram obtidas por simulação, para o regime de probabilidades de *steady-state*, sendo utilizadas 10.000 corridas (cada corrida contendo 10.000 amostras) para cada simulação, garantindo um erro-padrão de 1% ou menos para o NMA_0 e erros bem menores para os valores de NMA_1 (tão menores quanto menor o NMA_1). Tais medidas foram obtidas para processos multicanal com diferentes números de canais ($c=2, 3, 5, 10, 15, 20$), dois diferentes tamanho de amostras ($n=1$ e 4), três valores diferentes de NMA_0 (100,

200 e 370,4) e diferentes magnitudes de alteração na média ou na dispersão da parcela individual de um dos canais. Para análise de desempenho dos gráficos de controle de EWMA, foram inicialmente obtidos os seus projetos ótimos contra as alterações de 3 magnitudes na dispersão do processo. Os gráficos em estilo Shewhart não permitem otimização, pois seus limites são determinados univocamente pelo valor de NMA_0 especificado.

Todas as análises de desempenho limitaram-se à situação de alteração na média ou na dispersão da parcela (ou componente) individual de apenas um dos canais, considerando que, mesmo no caso de causas especiais de variação virem a afetar mais de um canal, isso não deverá ocorrer simultaneamente. A análise de desempenho dos gráficos no caso de vários canais afetados é uma questão para pesquisa futura. Talvez, para este caso, um esquema de controle multivariado deve ser considerado.

Também não esteve no escopo desta tese o gráfico de controle para o nível-base, pela razão de este gráfico recair em algum dos esquemas amplamente estudados na literatura de CEP univariado, pois tratar-se-á de um gráfico de controle convencional de \bar{X} , ou de EWMA univariado, ou algum esquema de CEP de processo autocorrelacionado, caso o nível-base exiba autocorrelação (o que é típico, aliás).

Em relação ao ganho de sensibilidade contra alterações na média do processo proporcionado pela incorporação do esquema EWMA a um gráfico de controle, o GCG de EWMA DNB proposto mostrou-se o mais eficiente, com os menores valores de NMA_1 contra pequenas alterações na média da componente individual de variação, especialmente para os casos de processos compostos por um número grande de canais ($c > 10$). Para processos compostos por poucos canais ($c < 5$), o GCG de EWMA DNB proposto apresentou medidas de desempenho semelhantes às apresentados pelo gráfico de controle de MEWMA de S^2 de Runger et al. (1996). Contudo, deve-se levar em consideração que, para processos compostos por poucos canais, talvez outros sistemas sejam mais vantajosos (plotar as médias dos canais ao invés das diferenças, por exemplo). Tal escolha deve ser feita pelo pessoal responsável pelo controle do processo.

Os resultados obtidos nas análises de desempenho dos esquemas de controle na versão Shewhart contra alterações na dispersão do processo

demonstraram que, considerando a extração de observações individuais de cada canal, o GCG DNB proposto por Barbosa (2008) é o mais eficiente dos analisados para processos compostos por 5 ou mais canais, e o gráfico de controle de S^2 de Runger et al. (1996) apresentou desempenho equivalente a ele para o controle de um número menor de canais ($c \leq 3$). Em relação ao desempenho, utilizando-se amostras de tamanho igual a 4 por canal, foi observado que o GCG de S^2 aqui proposto apresentou-se bem mais eficiente, o que já era esperado, por ser o único dos esquemas cuja estatística monitorada (i.e., S^2) é uma medida de dispersão.

No entanto, os resultados da análise de desempenho dos gráficos de controle tipo EWMA contra aumentos na dispersão demonstram uma situação um pouco diferente. Para o monitoramento de observações individuais, o gráfico de controle de EWMA de R_t mostra o melhor desempenho contra pequenas alterações no processo, considerando processos compostos por até 5 canais, e o GCG de EWMA MR DNB apresenta o melhor desempenho contra pequenas alterações, para processos compostos por um número maior de canais ($c \geq 10$). No caso de amostras de tamanho $n = 4$ por canal, o GCG de EWMA de $\ln(S^2)$ é o gráfico que apresenta o melhor desempenho dentre os gráficos de controle analisados, independentemente do número de canais que compõem o processo.

O desempenho conjunto dos gráficos de controle de Shewhart e EWMA também foi analisado contra alterações na dispersão. Para a obtenção das medidas de desempenho conjunto, foi considerado um par de gráficos de controle (um gráfico para o controle da média e um gráfico para o controle da dispersão). A escolha do gráfico para o controle da dispersão depende unicamente do tamanho de amostra utilizado (GCG MR DNB – ou GCG EWMA MR DNB – para observações individuais e GCG S^2 – ou GCG EWMA $\ln(S^2)$ – para amostras de tamanho igual a 4 unidades). Para o cálculo dos valores de NMA_1 conjunto, foi considerado que o sinal de descontrole provém do primeiro gráfico do par que sinalizar descontrole na dispersão.

Nas análises de desempenho conjunto foi observado, para todas as associações (ou pares) de gráficos analisados que, considerando extrações de observações individuais de todos os canais, a associação GCG DNB e GCG MR DNB é a que apresenta o melhor desempenho, no âmbito dos gráficos de controle do tipo de Shewhart, a associação GCG EWMA de R_t e GCG EWMA MR DNB é

a de melhor desempenho dentre as associações dos gráficos de controle de EWMA analisadas.

Já, em relação ao controle de amostras de tamanho $n=4$ por canal, as medidas de desempenho conjunto demonstram que a rapidez (em termos de NMA_1) contra alterações na dispersão independe do tipo de gráfico de controle de média utilizado conjuntamente com o GCG de S^2 ou com o GCG EWMA de $\ln(S^2)$.

Contudo, em todas as análises de desempenho realizadas, deve ser comentado que o uso de esquemas de controle de EWMA proporciona um ganho de sensibilidade de todos os gráficos de controle analisados contra pequenas alterações na média ou na dispersão da parcela individual de variação.

As contribuições desta tese não foram somente a proposição e análise de novos gráficos de controle, e a realização de análises complementares ainda não contempladas para os esquemas de controle já existentes, mas também há um intuito de fazer com que esta pesquisa sirva de base conceitual para a evolução da área de Controle Estatístico de Processos Multicanal, ainda pouco estudada no meio científico. Uma lista de sugestões levantadas para pesquisas futuras é fornecida a seguir.

8.2

Sugestões para pesquisas futuras

Como sugestões para pesquisas futuras em Controle Estatístico de Processos Multicanal, foram identificadas algumas possíveis extensões:

- Desenvolvimento, busca dos projetos ótimos e análise de desempenho de esquemas de controle CUSUM dos gráficos de controle analisados;
- Estudar o uso de uma barreira refletora para o gráfico de controle de EWMA de R_t de Mortell e Runger (1995), o que pode reduzir o problema de inércia, melhorando o desempenho do gráfico (reduzir os valores de NMA_1);
- Estudar o problema de aplicação dos gráficos de controle analisados nesta pesquisa para o caso de canais com médias e desvios-padrão ajustados de forma diferente;

- Obter os projetos ótimos e analisar o desempenho do gráfico de controle MaxMin EWMA proposto por Amin e Li (2000), adaptando-o para processos multicanal;
- Estudar a forma adaptativa dos esquemas de controle analisados nesta pesquisa, utilizando-se de procedimento de amostragem fracionária semelhante ao proposto por Lanning et al. (2002).