

Eixo Temático: Estratégia e Internacionalização de Empresas

ANÁLISE DE PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DOS GRÁFICOS CUSUM E EWMA

CHEMICAL WATER PARAMETERS INVESTIGATED BY CUSUM AND EWMA CHARTS

Maiara De Oliveira Noronha, Juliana Haetinger Furtado, Leandro Cantorski Da Rosa, Steffani Nikoli Dapper e Claudia Aline De Souza Ramser

RESUMO

O Controle Estatístico de Processos auxilia as organizações na execução de serviços que atendam às exigências de seus clientes. Assim, contribui para melhorias na eficiência dos processos, minimização de custos e redução de desperdícios. A detecção de falhas em processos de controle de qualidade pode ser realizada pela utilização de gráficos de controle, que permitem monitorar as variações dos parâmetros das variáveis estudadas. O objetivo deste estudo é avaliar duas variáveis referentes a qualidade da água para abastecimento público, de modo a monitorar a estabilidade destes parâmetros. Foram coletadas 61 observações das variáveis pH e cloro, provenientes de duas estações de tratamento de água (ETA) de um município localizado no interior do RS, e foram utilizados os gráficos de controle das Somas Acumuladas (CUSUM) e da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA) para investigar a variabilidade do processo de controle de qualidade da água. Os resultados demonstraram que, nas duas estações ocorreram medidas fora dos limites de especificação. A estação A, apresentou o valor mínimo no pH de 5,56 e máximo de 9,21, e a estação B apresentou o valor mínimo e máximo do pH, de 6,54 e 7,72. Os valores mínimo e máximo de cloro livre na estação A foram de 0,2 e 0,7, e na estação B foram 0,06 e 1,8.

Palavras-chave: Parâmetros de qualidade da água, pH, Cloro, Gráficos de Controle CUSUM, Gráficos de Controle EWMA.

ABSTRACT

O Controle Estatístico de Processos auxilia as organizações na execução de serviços que atendam às exigências de seus clientes. Assim, contribui para melhorias na eficiência dos processos, minimização de custos e redução de desperdícios. A detecção de falhas em processos de controle de qualidade pode ser realizada pela utilização de gráficos de controle, que permitem monitorar as variações dos parâmetros das variáveis estudadas. O objetivo deste estudo é avaliar duas variáveis referentes a qualidade da água para abastecimento público, de modo a monitorar a estabilidade destes parâmetros. Foram coletadas 61 observações das variáveis pH e cloro, provenientes de duas estações de tratamento de água (ETA) de um município localizado no interior do RS, e foram utilizados os gráficos de controle das Somas Acumuladas (CUSUM) e da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA) para investigar a variabilidade do processo de controle de qualidade da água. Os resultados demonstraram que, nas duas estações ocorreram medidas fora dos limites de especificação. A estação A, apresentou o valor mínimo no pH de 5,56 e máximo de 9,21, e a estação B apresentou o valor mínimo e máximo do pH, de 6,54 e 7,72. Os valores mínimo e máximo de cloro livre na estação A foram de 0,2 e 0,7, e na estação B foram 0,06 e 1,8.

Keywords: water quality parameters, pH, chloro, CUSUM control charts, EWMA control charts.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a disponibilidade de água potável aumenta na mesma proporção que diminui a quantidade e a qualidade dos mananciais, em virtude do lançamento de efluentes e resíduos sem tratamento. Por isso, autoridades públicas e órgãos não-governamentais discutem e apresentam soluções no intuito de melhorar as condições do abastecimento público desse recurso (BRASIL, 2006; ROSA et al. 2012; HENNING et al. 2014).

O controle da qualidade da água para consumo humano é realizado pelo responsável do sistema de abastecimento de água, e prevê as atividades de verificação da potabilidade da água fornecida à população. Também são previstas ações, sob responsabilidade das autoridades de saúde pública, as quais propõem medidas regulares de vigilância da água para consumo humano, e consideram os aspectos socioambientais e a realidade local da população onde a água será consumida (BRASIL, 2011).

A avaliação dos parâmetros de qualidade da água para consumo humano, pode ser realizada através da análise de suas características físicas, químicas e biológicas. Assim, é possível detectar substâncias impróprias ou em concentrações acima dos limites permitidos na legislação vigente, e realizar o tratamento da água para o abastecimento público (BRASIL, 2006; HENNING et al. 2014).

Os parâmetros que compõem as características físicas da água são: temperatura, sabor, odor, cor, turbidez, sólidos (em suspensão ou dissolvidos) e condutividade elétrica. Já os parâmetros químicos compreendem pH, alcalinidade, acidez, dureza, cloretos, ferro e manganês, nitrogênio, fósforo, fluoretos, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, demanda bioquímica e química de oxigênio, componentes inorgânicos e orgânicos. Dentre os parâmetros que representam suas características biológicas têm-se as bactérias coliformes e algas (BRASIL, 2004; BRASIL, 2006; HENNING et al. 2014). O objetivo deste estudo é avaliar duas variáveis referentes a qualidade da água para abastecimento público, de modo a monitorar a estabilidade destes parâmetros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

No Controle Estatístico de Processo (CEP), os gráficos de controle são de dois tipos: para variáveis e para atributos. Os gráficos de controle para variáveis são utilizados quando a variação da qualidade que pode ser medida ou avaliada quantitativamente em escala contínua, e os gráficos por atributos são apropriados quando a variação da qualidade é observada de forma qualitativa (ROSA, 2015; HENNING et al. 2014).

Os gráficos de controle mais utilizados para controle de variáveis são: os gráficos de somas cumulativas (CUSUM), os gráficos de Shewart e os gráficos da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA). Normalmente, caracterizados por uma linha central que corresponde à média de desempenho do processo, e outras duas linhas que especificam os limites superior e inferior para controle do processo (SMETI et al. 2007a; MONTGOMERY, 2009; CRUZ et al. 2014; HENNING et al. 2014). Ao proceder com a plotagem dos dados em um gráfico de controle é possível observar quando o processo está sob controle estatístico. Assim os pontos marcados fora dos limites superior e inferior podem representar padrões de variação indesejados (SMETI et al. 2007a; AIZENCHTADT et al. 2008).

Os gráficos de controle, plotados sequencialmente ao longo do tempo, incluem uma linha central e limites inferiores e superiores de controle, LIC e LSC respectivamente e consistem em uma sequência de amostras de mesmo tamanho n , independência e normalidade dos dados amostrais (MONTGOMERY, 2009; TRIOLA, 2013)

O gráfico de controle das Somas Acumuladas (CUSUM) e o gráfico de controle da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA), são mais indicados para detecção de pequenas mudanças no processo. Ao utilizar um desses recursos, a decisão sobre o processo é

fundamentada na informação acumulada de diversas amostras (COSTA, EPPRECHT, CARPINETTI, 2005; MONTGOMERY, 2009).

O gráfico CUSUM utiliza as somas acumuladas a partir do deslocamento da média. Além de sinalizar o desajuste, permite verificar quando este ocorreu, pois se baseia no histórico do processo e não apenas na última observação. Cada novo ponto plotado no gráfico contém informações da sequência de pontos anteriores. Por isso é utilizado para amostras de $n \geq 1$, mas é particularmente eficaz para amostras de $n=1$, sendo mais eficiente que os gráficos de Shewhart para detectar pequenas mudanças no processo (COSTA, EPPRECHT, CARPINETTI, 2005; MONTGOMERY, 2009).

Se o processo está sob controle, em torno da média, as somas acumuladas definidas oscilam aleatoriamente em torno de 0. Contudo se a média das alterações for acima ou abaixo, apresentando uma tendência crescente ou decrescente, há indícios de variação na média do processo.

O gráfico EWMA é uma alternativa que detecta pequenos desvios na média do processo, e pode ser utilizado também para amostras com $n \geq 1$, sendo por vezes mais fácil de operar e configurar, por isso é EWMA é tipicamente utilizado em observações individuais.

3 METODOLOGIA

Foram utilizadas 61 medições de pH e cloro livre da água de duas Estações de Tratamento de Água (ETA), denominadas estação A e estação B, de um município localizado no interior do Rio Grande do Sul. Foi realizada a análise descritiva dos dados com informações dos valores de média, mínimo, máximo e desvio-padrão. Em seguida, resultados dos gráficos de controle CUSUM e EWMA foram analisados conforme as especificações da portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece os limites de 6,0 a 9,5 para o pH e de 0,2 a 2,0 mg/L para cloro livre.

4 RESULTADOS

A análise descritiva evidenciou valores de média, mínimo, máximo e desvio padrão correspondentes aos 61 dias de coleta dos dados de pH e cloro livre das estações A e B. A estação A, apresentou o valor mínimo no pH de 5,56, abaixo do LIE pela portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, e máximo de 9,21. A estação B, apresentou o valor mínimo e máximo do pH, de 6,54 e 7,72. Os valores mínimo e máximo de cloro livre na estação A foram de 0,2 e 0,7, e na estação B foram 0,06 e 1,8.

Na elaboração da carta CUSUM para a variável pH da estação A, foram detectadas mudanças, obtendo-se onze pontos fora de controle. Apesar de tais observações estarem sob controle dentro dos limites de especificação, por meio das somas acumuladas foi possível verificar que os pontos 35º ao 39º e 56º ao 61º estão fora dos limites. Do mesmo modo, a carta EWMA da variável pH da estação A evidenciou alterações em torno da média nos pontos 36º, 37º, 39º e 56º ao 58º.

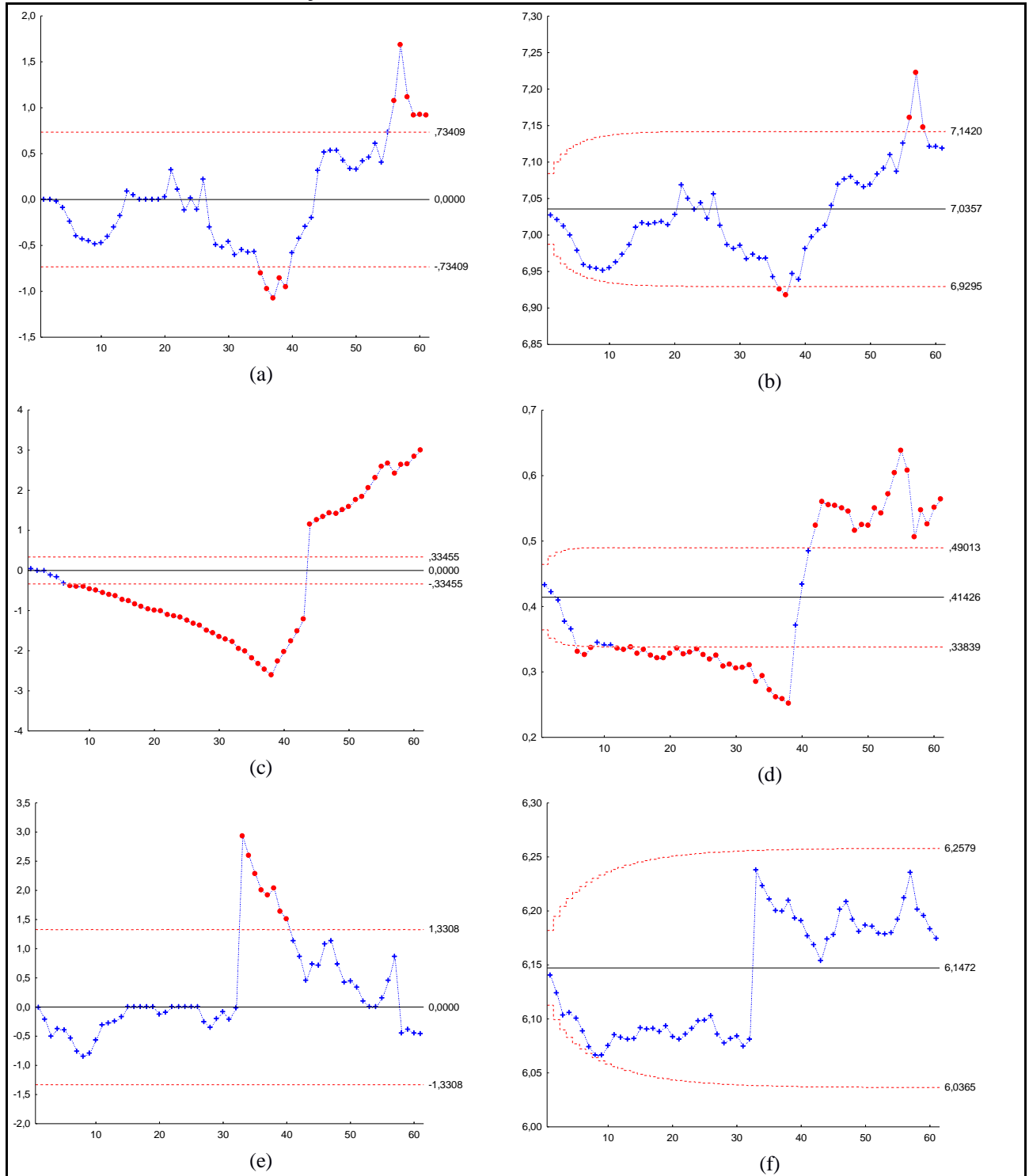
O cloro livre da estação A, avaliado por meio da carta CUSUM, apresentou tendência decrescente a partir da 7ª a 38ª observação e ascendente da 39ª até a 61ª observação. O gráfico EWMA, também evidencia mudanças na média do cloro livre da estação A, entre os pontos 6º e 8º, 12º e 38º, e 42º e 61º.

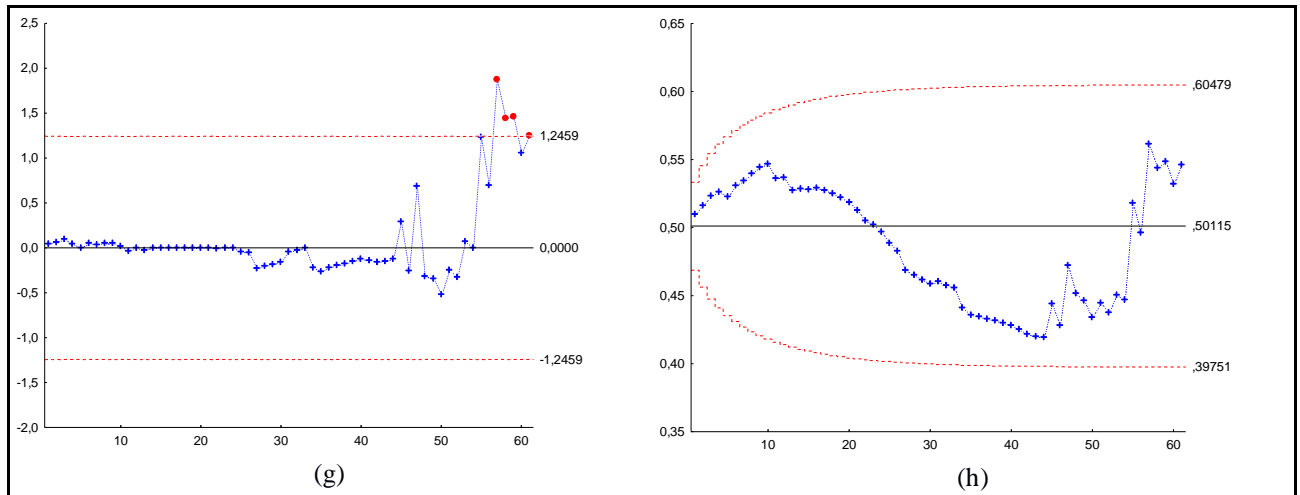
A variável pH da estação B, apresentou aproximadamente 27,87% das amostras fora dos limites de especificação, e foi possível verificar claramente uma tendência ascendente, do 32º ao 33º observação, e um decrescimento a partir do 34º ao 40º. Contudo, na carta EWMA, foi constatada ausência de pontos fora de controle, não confirmando alterações na média do processo do pH na estação B.

O gráfico CUSUM da variável cloro livre da estação B, evidenciou que 6,56% das amostras estão fora dos limites de especificação, os pontos 57 a 59 e 61º apresentaram

mudanças no processo. E o gráfico EWMA demonstra que a média do processo não sofreu alterações.

Quadro 1: gráficos CUSUM (a) e EWMA (b) para a variável pH da estação A; gráficos CUSUM (c) e EWMA (d) para a variável cloro livre da estação A; gráficos CUSUM (e) e EWMA (f) para a variável pH da estação B; gráficos CUSUM (g) e EWMA (h) para a variável cloro livre da estação B.





5 CONCLUSÃO

Os gráficos de controle das Somas Acumuladas (CUSUM) e da Média Móvel Ponderada Exponencialmente (EWMA) foram eficientes na detecção da variabilidade do processo analisado. Dessa forma, com o auxílio de tais ferramentas é possível tomar decisões mais efetivas para solucionar as possíveis causas dos problemas relacionados aos pontos fora dos limites de especificação.

REFERÊNCIAS

AIZENCHTADT, E.; INGMAN, D.; FRIEDLER, E. **Quality control of wastewater treatment: A new approach**. European Journal of Operational Research, 189. p. 445–458. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria N° 2.914, do Ministério da Saúde. Brasília, 2011.** Disponível em:

http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 13 nov. 2015.

_____. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília, 2006. 212 p. Disponível em:

http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 18 nov. 2015.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria no. 518/2004 do Ministério da Saúde**. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em: 30 nov. 2015.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

CRUZ, D.V.; FILHO, M.C.; FALCÃO, A.P.S.T.; **Controle estatístico de processos aplicado ao monitoramento do pH e turbidez das águas no abastecimento de Campina Grande – PB**. Revista Brasileira de Biometria., São Paulo, v.32, n.4, p.459-477, 2014.

HENNING, E., et al. **Um estudo para aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de água potável**. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v. 9, n.1, p. 2-13. 2014.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ROSA, L. C. **Introdução ao controle estatístico de processos.** Santa Maria: Ed. da UFSM, 2015.

ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; MOSCHINI-CARLOS, V.; (Org.). **Meio ambiente e sustentabilidade.** Porto Alegre: Bookman, 2012.

SMETI, E.M.; KORONAKIS, D. E.; GOLFINOPOULOS, S.K. **Control charts for the toxicity of finished water—Modeling the structure of toxicity.** Water Research. n.41. p. 2679 – 2689. 2007a.

_____. **An approach for the application of statistical process control techniques for quality improvement of treated water.** Desalination n. 213. p. 273–281. 2007b.