

# 4<sup>as</sup>

## JORNADAS DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA

---

21, 22 E 23 DE JUNHO DE 2016

A topographic map of a coastal region, likely the Tagus estuary in Lisbon, Portugal. The map uses a color gradient from blue (low elevation) to red (high elevation) to show terrain. The word 'ACTAS' is overlaid in large white letters at the top.

ACTAS

4<sup>as</sup> JORNADAS  
DE ENGENHARIA  
HIDROGRÁFICA

---

21, 22 E 23 DE JUNHO DE 2016

Lisboa

**Título** - Actas das 4.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica

**Autor** - Instituto Hidrográfico

**Tiragem** - 230 exemplares

**Edição e paginação** - Instituto Hidrográfico, 2016

**Impressão e acabamento** - Grafilinha - Trab. Gráficos e Publicitários, Lda.

**ISBN** - 978-989-705-097-8

**Depósito Legal** n.º 410025/16



# Aplicação de cartas de controlo na monitorização de resultados de ensaios de comparação interlaboratorial

D. Carinhas (1), C. Borges (1) e P. Infante (2)

(1) Instituto Hidrográfico, R. das Trinas, nº49, 1249-093 Lisboa; [dora.carinhas@hidrografico.pt](mailto:dora.carinhas@hidrografico.pt)

(2) CIMA-UE e ECT, Universidade de Évora.

**Resumo:** A norma NP EN ISO/IEC 17025 descreve os requisitos gerais para o reconhecimento da competência de um laboratório em realizar ensaios e/ou calibrações, incluindo amostragem, que é utilizada pelos laboratórios para desenvolver os seus sistemas de gestão da qualidade e para as atividades administrativas e técnicas. Além da referência aos procedimentos de controlo da qualidade para monitorizar a validade dos ensaios e calibrações realizadas, é referida a necessidade dos laboratórios participarem em Ensaios de Comparação Interlaboratorial (ECI) como garantia da fiabilidade dos resultados. Neste trabalho, apresentam-se resultados da aplicação de cartas de controlo de qualidade para monitorização da estatística z-score (diferença entre o resultado obtido pelo laboratório participante e o valor de referência dividida pelo erro). Quando os dados analisados apresentam autocorrelação, é testado um modelo apropriado de série temporal, ou seja, um modelo que remova a autocorrelação dos dados aplicando cartas de controlo aos resíduos.

**Palavras-chave:** Cartas de controlo, controlo estatístico do processo, ensaios de comparação interlaboratoriais.

## 1. INTRODUÇÃO

As cartas de controlo são uma importante ferramenta da qualidade, que permite distinguir entre a variação inerente ao processo e a variação resultante de causas especiais, constituindo uma representação gráfica da estabilidade ou instabilidade de um processo ao longo do tempo (Gomes *et al.*, 2010). Estas ferramentas estatísticas são habitualmente planeadas e avaliadas assumindo que as observações do processo são independentes e identicamente distribuídas (i.i.d.), hipótese que é frequentemente violada na prática, pois em muitos processos as observações são correlacionadas.

Uma estratégia frequentemente utilizada, sugerida por Reynolds e Lu (1997), consiste em ajustar as observações da característica de qualidade a um modelo de previsão apropriado e monitorizar o processo com cartas de controlo para os resíduos independentes e identicamente distribuídos (i.i.d.) resultantes.

Embora a carta de valores individuais, conhecida por carta X, seja mais frequente quando trabalhamos com observações individuais, Montgomery (2009) recomenda a carta de médias móveis exponencialmente ponderadas (carta EWMA) para medições individuais, em particular na fase de monitorização quando se pretendem detetar pequenas alterações do processo, independentemente da distribuição das observações.

## 2. METODOLOGIA

As cartas EWMA surgiram mais recentemente na literatura de modo a colmatar algumas das

deficiências das tradicionais cartas de Shewhart, no que diz respeito, por exemplo, à pouca eficácia para detetar pequenas alterações nos parâmetros do processo e à falta de robustez relativamente às hipóteses subjacentes à sua implementação, nomeadamente a independência e normalidade dos dados (Gomes *et al.*, 2010). As cartas de Shewhart tomam em conta apenas a última informação que recebem sobre os processos, e como tal perdem sensibilidade a pequenas alterações no parâmetro do processo.

A carta EWMA é essencialmente devida a Roberts (1959) e a Hunter (1986). A estatística criada pela carta EWMA é exponencialmente amortecida dando ponderações diferentes a cada observação anterior da mesma estatística.

Define-se uma estatística E que irá controlar pequenas alterações na média do processo. A expressão da variável E, para um instante t, é a descrita pela equação:

$$E_t = (1 - \lambda)E_{t-1} + \lambda Y_t, \quad t = 1, 2, \dots \quad (1)$$

onde,  $E_t$  - Valor da estatística E no instante t;  $\lambda$  - Constante de amortecimento;  $Y_t$  - Valor observado da característica em estudo no instante t.

Os limites da carta de controlo EWMA são dados em função da constante de amortecimento, do valor do ARL0 (isto é, o número médio de amostras que é necessário analisar até haver indicação do processo estar fora de controlo) desejado e da variância da característica em estudo. Os valores dos limites de controlo e da linha central destas cartas são obtidos pelas expressões,

$$LSC_E = E_0 + k\sigma_E \quad (2)$$

$$LIC_E = E_0 - k\sigma_E \quad (3)$$

$$LC_E = E_0 \quad (4)$$

onde,  $E_0$  – Valor inicial da estatística E, igual à média do processo; k – Valor do nível de controlo, para um determinado ARL0 e  $\lambda$ ;  $\sigma_E$  – Desvio padrão da estatística E dada pela expressão.

$$\sigma_E^2 = \sigma_v^2 \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} \right) (1 - (1-\lambda)^{2r}) \quad (5)$$

Para determinar os valores da constante de amortecimento e do nível de controlo, o primeiro passo necessário será definir um valor para o ARL0 que se considere aceitável, e a alteração da média que se deseje detetar. A partir desses valores, e dos ábacos da carta EWMA podem ser retirados os valores de k e de  $\lambda$  a considerar.

Nas cartas EWMA, considera-se que um processo está sob controlo estatístico caso não hajam pontos fora dos limites de controlo.

Na presença de dados onde se verifique a existência de autocorrelação significativa, a utilização das técnicas anteriormente referidas só ocorre para os resíduos ou erros de previsão das séries de dados, desde que os mesmos não apresentem correlação significativa, ou seja, possam ser considerados ruído branco (Pereira & Requeijo, 2012).

Desta forma é possível aplicar a estatística E da carta de controlo EWMA à série dos resíduos, sendo válidas as expressões, com a ressalva que o desvio padrão do processo deve ser substituído pelo desvio padrão dos resíduos ou do erro de previsão, a média do processo deve ser substituída por zero, que é o valor esperado dos resíduos ou erros de previsão.

A Figura 1 apresenta o fluxograma para a aplicação das cartas de controlo.

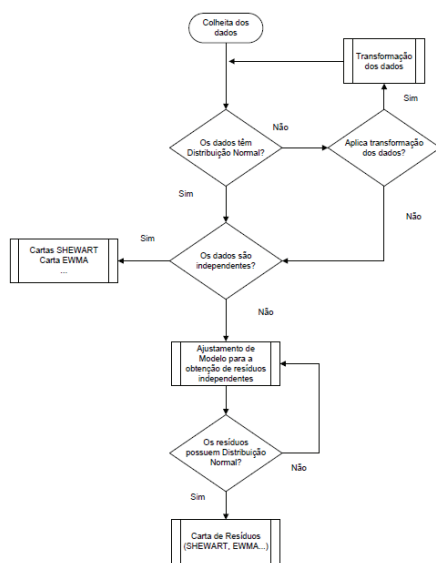


Fig. 1. Sugestão de fluxograma para aplicação de cartas de controlo.

### 3. RESULTADOS

Para se perceber a importância de se poder assumir a independência entre as observações, considere-se como exemplo a participação do Instituto Hidrográfico em Ensaios de Comparação Interlaboratorial (ECI), organizados pelo programa Quasimeme, entre abril de 2004 e abril de 2013, nomeadamente para a determinação do nutriente nitrito em águas salinas. Neste caso é monitorizada a estatística z-score (Figura 2).

O valor z-score tem a seguinte classificação:  $|z| < 2$  satisfatório,  $2 < |z| < 3$  questionável,  $|z| > 3$  insatisfatório (Wells e Cofino, 1993).

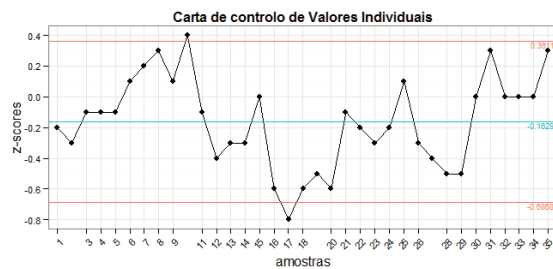


Fig. 2. Carta Shewhart de valores individuais aplicada aos z-scores.

A carta de valores individuais traduz um processo com apenas dois pontos fora de controlo estatísticos. Como todos os valores se encontram dentro das especificações (z-score entre -2 e 2) não são eliminados os dois pontos acima referenciados.

Para comparar o comportamento das cartas de controlo, aplicou-se, aos mesmos dados, a carta EWMA (Figura 3).

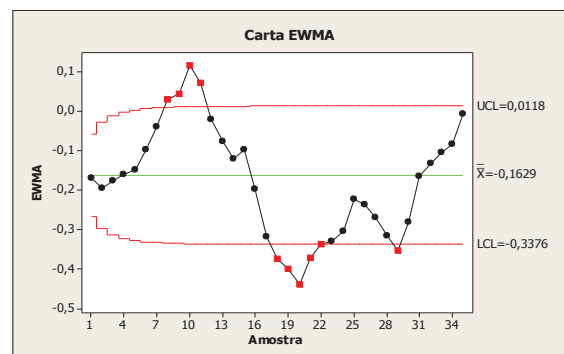


Fig. 3. Carta EWMA aplicada aos z-scores.

Verifica-se que surgem algumas observações acima do limite superior de controlo indiciando um aumento da média dos z-scores e mais tarde algumas observações abaixo do limite superior de controlo indiciando uma diminuição da média dos z-scores. Portanto, a Figura 3 é reveladora de um processo fora de controlo estatístico.

Uma das hipóteses de utilização das cartas de controlo ainda não foi testada: a existência de correlação entre os dados.

A hipótese de correlação dos dados foi testada através dos gráficos de autocorrelação e autocorrelação parcial (ACF e PACF, respetivamente).

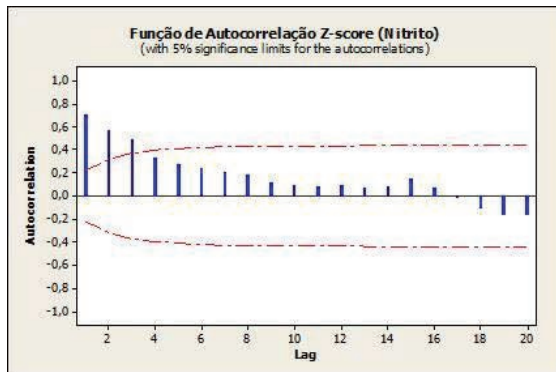


Fig. 4. Gráfico ACF.

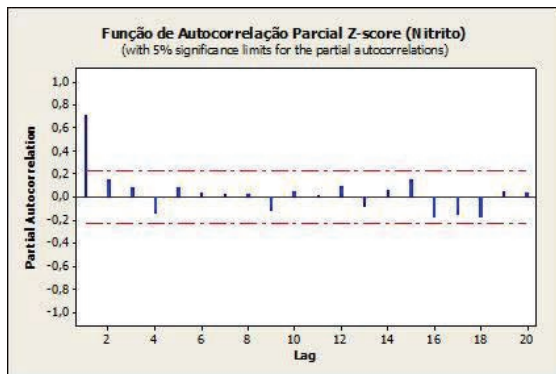


Fig. 5. Gráfico PACF.

Pelos gráficos anteriores podemos observar que vários “lags” ultrapassam os limites de controlo. Verificou-se que a hipótese de independência das observações dos z-scores não era válida, pelo que se procedeu à obtenção do modelo que se mostrou mais adequado, neste caso particular, o modelo ARIMA (1, 1, 1). Em seguida aplicou-se a carta EWMA aos resíduos com o objetivo de verificar se o processo estava, ou não, sob controlo estatístico (Figura 6).

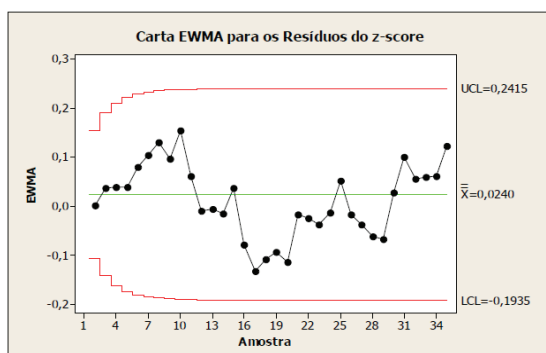


Fig. 6. Carta EWMA aplicado aos resíduos do modelo:  $X_t - 0,6211X_{t-1} = -0,9554e_{t-1}$ .

Pode ser observado, na Figura 6, que todos os pontos encontram-se dentro dos limites de controlo o que traduz um processo sob controlo estatístico com

média muito perto do valor alvo (igual a zero) para a estatística z-score.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados alguns resultados de um estudo de implementação de algumas ferramentas de controlo de qualidade, nomeadamente cartas de controlo, nos resultados de ensaios de comparação interlaboratorial na determinação de nítrito em águas salinas.

Foi possível a construção de cartas de controlo para verificar a aplicabilidade em ensaios laboratoriais. A carta EWMA apontou para um processo fora de controlo estatístico constatando-se que possui um bom desempenho da deteção de instabilidades em processos com pequenos desvios de serem apontados pelas cartas tradicionalmente utilizadas como é o caso das cartas Shewhart.

Verificaram-se as hipóteses de independência da variável z-score, procedeu-se à estimação do modelo ARIMA (1,1,1), aplicando-se posteriormente a carta EWMA para os resíduos dos z-scores e verificou-se que o processo está sob controlo estatístico.

As cartas de controlo apresentadas permitem uma monitorização da estatística z-score, identificar possíveis tendências no processo e em caso positivo implementar ações de melhoria.

Para a monitorização de resultados de ensaios de comparação interlaboratoriais recomenda-se a aplicação das cartas EWMA aos resíduos do modelo por não se verificar a independência dos dados individuais.

Em muitas aplicações do controlo estatístico do processo as soluções para as questões de autocorrelação não são fáceis de encontrar. Embora a carta de controlo aplicável aos resíduos seja uma ferramenta de inegável valor na melhoria dos processos, uma das suas desvantagens é a necessidade de ajustar e manter um modelo de séries temporais apropriado para cada variável do processo.

#### Agradecimentos

Ao Instituto Hidrográfico pela cedência dos dados, em particular à Eng.<sup>a</sup> Pilar Pestana e aos colaboradores da Secção de Química Inorgânica – laboratório de nutrientes.

#### REFERÊNCIAS

- Gomes, M. I., Figueiredo, F., Barão, M. I. (2010) Controlo Estatístico da Qualidade, 2 ed., Edições SPE.
- Hunter, J. S. (1986) The exponentially weighted moving average. J. Quality Technology n. 8, p. 1-12.
- Montgomery, D. C. (2009) Introduction to Statistical Quality Control, 6<sup>a</sup> Ed, New York, USA, Wiley.

- Pereira, Z. L.; Requeijo, J. G. (2012) *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. 2ed. Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- Reynolds, M. R.; Lu, C.W. (1997) Control Charts for Monitoring Process with Autocorrelated Data, *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, 30, 4059-4067.
- Roberts, S. W. (1959) Control chart tests based on geometric moving averages. *Technometrics* n. 1, p. 239-250.
- Wells, D.E., Cofino, W.P., Quevauviller, P. and B. Griepink (1993). Quality Assurance of Information in Marine Monitoring: A Holistic Approach. *Marine Pollution Bulletin*, vol.26. n° 7 pp 368-375.