

MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA SUPERFICIAL COM CONTROLE ESTATÍSTICO MULTIVARIADO DE PROCESSO

Carolina Cristiane Pinto¹

Fábio Palmer Caldeira Parreiras de Faria²

Gustavo Matheus de Almeida³

Recursos Naturais

Resumo

Um problema ambiental de abrangência mundial é a degradação da qualidade das águas de rios, lagos e águas subterrâneas. Desse modo, há a necessidade do estabelecimento de programas de monitoramento, os quais geram grandes quantidades de dados. Ferramentas estatísticas são então necessárias para a classificação, a modelagem e a interpretação desses conjuntos de dados. Neste trabalho, avaliou-se o conjunto de dados de uma estação de monitoramento localizada na calha do rio das Velhas (BV137), Minas Gerais, composto por doze parâmetros de qualidade da água, coletados ao longo de vinte e um anos (1997 a 2018). Para a análise dos dados, empregou-se Controle Estatístico Multivariado de Processo (CEP Multivariado), baseado em Análise por Componentes Principais (ACP). Essa técnica estatística multivariada facilita a visualização e a interpretação de problemas multivariados altamente correlacionados. O modelo ACP obtido foi capaz de explicar 76,8% da variância total dos dados originais utilizando somente cinco componentes principais. Utilizou-se o filtro de Hampel para a classificação das observações em discrepantes e não discrepantes, sendo esse o critério para a distinção entre operações normais e anormais. A aplicação das cartas de controle para as estatísticas T^2 e Q mostraram-se promissoras para a detecção e o diagnóstico de fontes de poluição, podendo servir como sistemas de suporte à decisão em atividades de monitoramento e de gerenciamento de qualidade de água. Assim, decisões estratégicas mais eficientes em relação à proteção e gestão dos corpos d'água podem ser definidas e implementadas.

Palavras-chave: Recursos Hídricos; Análise de Dados; Análise por Componentes Principais; Estatísticas T^2 e Q ;

¹Doutoranda em Engenharia Química. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Química, carolinacristianepinto@gmail.com.

²Engenheiro Químico. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Química, fabiopalmcerp@gmail.com.

³Prof. Dr. em Engenharia Química. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Química, galmeida@deq.ufmg.br.

INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade da água de rios, lagos e águas subterrâneas, tornou-se um problema ambiental de abrangência mundial (UNESCO, 2019). Nesse cenário, um sistema de monitoramento adequadamente planejado e implementado é fundamental para sinalizar e prever mudanças e tendências sobre a qualidade da água (Voza *et al.*, 2018).

Com longos períodos de coleta de dados, uma enorme quantidade de dados analíticos é disponibilizada. Desde então, o uso de métodos diversos para a classificação, a modelagem e a interpretação desses conjuntos de dados tem sido sugerido e desenvolvido (Simeonov *et al.* 2002; Simeonov *et al.*, 2001).

Uma ferramenta estatística usual para a avaliação de dados de qualidade de água é a carta de controle univariada, que é a principal ferramenta em Controle Estatístico de Processo (CEP), cujo número de aplicações em monitoramento de qualidade de água é crescente (Samsudin *et al.*, 2017; Sancho *et al.*, 2016; Follador *et al.*, 2012).

Uma questão importante em estudos de qualidade da água é a significativa correlação entre os parâmetros usuais (Bodo, 1989). Com isso, o uso de cartas de controle de natureza univariada não é adequado, sendo a solução, o uso de cartas de controle, multivariadas (Montgomery, 2004). A principal técnica estatística em aplicações de CEP multivariado é a Análise por Componentes Principais (ACP). A ACP é uma técnica capaz de lidar com a alta dimensionalidade e com a correlação espacial em problemas em geral (Ge e Song, 2013). Na Literatura, há estudos de aplicações de ACP a conjuntos de dados de qualidade de água, principalmente, com o foco em análise de *loads* e *scores* (Olsen *et al.*, 2012). Não é de conhecimento dos autores deste trabalho o uso de ACP por meio de cartas de controle, isto é, com o foco em suas estatísticas (métricas de monitoramento) T^2 e Q .

O objetivo deste estudo é monitorar, de modo simultâneo, um conjunto de parâmetros de qualidade de água superficial. Essa investigação empregou a abordagem via Controle Estatístico (Multivariado) de Processo, com o uso de ACP.

METODOLOGIA

Área de Estudo: O estudo de caso refere-se a uma estação de monitoramento (BV137 – latitude -19°32'35,887"S e longitude -43°54'8,842" W), na bacia hidrográfica do rio das Velhas (Minas Gerais), na cidade de Lagoa Santa (PDRH Rio das Velhas, 2015).

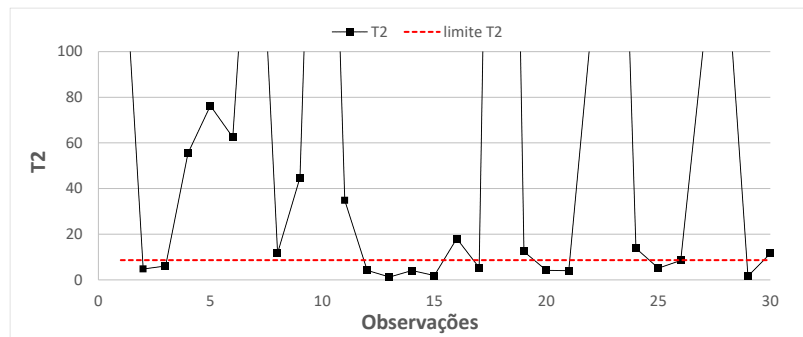
Banco de Dados: Utilizou-se um banco de dados históricos referente ao monitoramento de qualidade da água na sub-bacia do rio das Velhas, disponível pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam). O banco de dados é composto por 12 parâmetros (arsênio total, cloreto total, coliformes termotolerantes, condutividade elétrica *in loco*, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrato, oxigênio dissolvido, pH *in loco*, sólidos totais, temperatura da água e turbidez), coletados de 1997 a 2018, com um total de 148 amostras.

Construção e Utilização dos Gráficos de Controle Multivariados: Inicialmente, dividiu-se o conjunto de dados em três subconjuntos, sendo os dois primeiros característicos de condições normais. O primeiro foi usado para a identificação inicial do modelo (a ser usado como sistema de monitoramento) baseado em ACP. Na sequência, dada uma taxa de alarmes falsos fixa em 1%, foram calculados, a partir do segundo conjunto de dados, os limites superiores de controle para ambas as métricas (multivariadas) de monitoramento, T^2 e Q . O critério utilizado para distinguir entre operações normais e anormais baseou-se em uma classificação das amostras em observações discrepantes ou não discrepantes, a partir o filtro de Hampel (Lin *et al.*, 2006). Em sequência, o terceiro conjunto de dados, característico de observações não usuais, foi utilizado para a realização de testes, onde, para cada amostra (ou observação), calcularam-se os valores de T^2 e Q . As observações fora de controle foram comparadas com a classificação do filtro de Hampel para fins de validação. Dessa forma, se a observação é discrepante segundo o filtro de Hampel, os valores de T^2 e/ou Q devem estar além de seus respectivos limites de controle. Valores consideravelmente altos de T^2 e/ou Q (além das respectivas escalas; eixo y) estão associados a situações extremas de poluição.

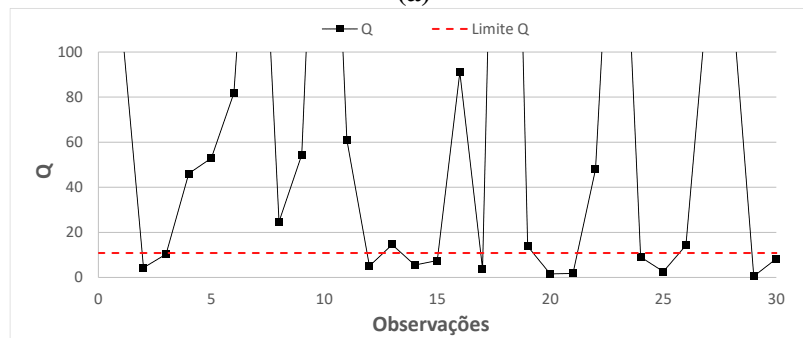
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação ao modelo ACP, cinco das doze componentes principais foram capazes de explicar 76,8% da variância total dos dados originais. A Figura 1 apresenta os gráficos de controle para as estatísticas T^2 e Q , calculadas a partir das amostras (observações) do conjunto de dados de teste.

Figura 1. Cartas de controle multivariadas para as estatísticas (a) T^2 e (b) Q .



(a)



(b)

A partir da análise das cartas de controle, observou-se que a carta de controle T^2 foi mais eficiente para a detecção de situações extremas de poluição do curso de água. Observa-se que 100% dos valores de T^2 acima do seu limite de controle correspondem a observações que foram classificadas como discrepantes pelo filtro de Hampel. Os pontos fora de controle devem ser analisados com base na experiência do gestor da área, com o suporte de ferramentas de diagnóstico. Não houve alarme falso, ou seja, nenhuma operação normal segundo Hampel foi classificada como discrepante pelo modelo ACP. A carta de controle Q detectou 75% das amostras classificadas como discrepantes e gerou um alarme falso.

Esses resultados preliminares indicam que as métricas de monitoramento T^2 e Q são sensíveis a mudanças nos parâmetros de qualidade da água e, portanto, podem ser utilizadas para indicar fontes de poluição. Esse aspecto é fundamental em um processo de tomada de decisão, pois fornece um direcionamento para a implementação de ações.

A aplicação das cartas de controle multivariadas mostrou-se promissora para auxiliar no gerenciamento do estado atual dos recursos hídricos e no controle da degradação ambiental; por exemplo, ao indicar padrões de comportamento fora de

controle, consequência dos episódios de poluição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle estatístico multivariado de processo é uma ferramenta com grande potencial de uso para o monitoramento de qualidade de água superficial, podendo servir como sinal de alerta sobre desvios em relação à condição usual de qualidade de água, e então propiciar um processo de tomada de decisão mais racional em relação à redução e prevenção de fontes de poluição em geral.

REFERÊNCIAS

- BODO, B. Robust graphical methods for diagnosing trend in irregularly spaced water quality time series. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 13, p. 407-428, 1989.
- FOLLADOR, F. A. C.; VILAS BOAS, M. A.; MALMANN, L.; SCHOENHALS, M.; VILLWOCK, R. Controle de Qualidade da Água Medido Através de Cartas de Controle de Shewhart, CUSUM e MMEP. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 9, n. 3, p. 183-197, 2012.
- GE, Z.; SONG, Z. **Multivariate statistical process control: Process monitoring methods and applications**. London: Springer Science & Business Media, 2013.
- LIN, B.; RECKE, B.; KNUDSEN, J. K. H.; JØRGENSEN, S. B. A systematic approach for soft sensor development. **Computers and Chemical Engineering**, n. 31(5-6), p. 419-425, 2006.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; LOFTIS, J. C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis e literature review and Illinois River watershed case study. **Water Research**, v. 46, p. 3110 - 3122, 2012.
- PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS 2015 – **PDRH do Rio das Velhas: Resumo Executivo**. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Belo Horizonte, 2015. 233 p.
- SAMSUDIN, M. S.; AZID, A., KHALIT, S. I.; SAUDI, A. S. M.; ZAUDI, M. A. River water quality assessment using APCS-MLR and statistical process control in Johor River Basin, Malaysia. **International Journal of Advanced and Applied Sciences**, v. 4, n. 8, p. 84-97, 2017.
- SANCHO, J.; IGLESIAS, C.; PIÑEIRO, J.; MARTÍNEZ, J.; PASTOR, J. J.; ARAÚJO, M.; SIMEONOV, V.; EINAX, J. W.; STANIMIROVA, I.; KRAFT, J. Environmetric modeling and interpretation of river water monitoring data. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, 374, 898-905, 2002.
- SIMEONOV, V.; SARBU, C.; MASSART, D.; TSAKOVSKI, S. Danube River Water Data Modelling by Multivariate Data Analysis. **Microchimica Acta**, 137, 243-248, 2001.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO. **Water Security and the Sustainable Development Goals**. 2019.
- VOZA, D.; VUKOVIĆ, M. The assessment and prediction of temporal variations in surface water quality—a case study. **Environmental Monitoring and Assessment**, 190: 434, 2018.