

IV-083 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA SUB-BACIA DO RIO DAS VELHAS, INSERIDA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Ana Luiza Cunha Soares⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (SMARH/UFMG).

Carolina Cristiane Pinto⁽²⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (SMARH/UFMG). Doutoranda em Engenharia Química na UFMG. Analista Ambiental do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam).

Elizângela Pinheiro da Costa⁽³⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre e Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (SMARH/UFMG).

Lívia Duarte Ventura Melo⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre e Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (SMARH/UFMG).

Silvia Maria Alves Correia Oliveira⁽⁵⁾

Engenheira eletricista, Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Professora Adjunta do Depto. Eng. Sanitária e Ambiental (DESA).

Endereço⁽¹⁾: Rua Doutor Rubens Guimarães, 77 – Apto 201 - Castelo - Belo Horizonte - MG - CEP: 30840-430 - Brasil - Tel: (31) 99195-9733 - e-mail: analulucunha@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da variação espacial da qualidade das águas superficiais por meio da Análise de Cluster (AC), teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e análise do percentual de violação à legislação vigente. Os dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio das Velhas foram obtidos junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam). Foram analisados 14 parâmetros em 65 estações de monitoramento, no período de 2008 a 2016. A Análise de Cluster e o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foram utilizados para caracterizar a variação espacial da qualidade das águas da bacia, bem como identificar os principais parâmetros responsáveis pela diferença entre as estações estudadas. Foram formados 10 grupos de estações, conforme a similaridade da qualidade da água, sendo justificados principalmente por pressões antrópicas similares. Na análise do percentual de violação destacaram-se os parâmetros coliformes termotolerantes/*Escherichia coli*, manganês total e fósforo total.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade das águas, Análise de Cluster, Kruskal-Wallis, percentual de violação, Bacia do rio das Velhas.

INTRODUÇÃO

A qualidade das águas superficiais pode ser alterada pela intervenção antrópica ou pelos processos naturais de variação da precipitação, intemperismo das rochas e erosão. Essas modificações podem tornar a qualidade das águas inadequada para os seus usos múltiplos como consumo humano, industrial, dessedentação animal, recreação e irrigação.

Sendo assim, o monitoramento da qualidade das águas superficiais é uma ferramenta valiosa de gestão dos recursos hídricos, uma vez que seus resultados possibilitam melhor conhecimento da situação da qualidade das águas e as principais alterações ocorridas ao longo do tempo.

Os programas de monitoramento, em geral, incluem resultados de diversos parâmetros físico-químicos e biológicos, mensurados em várias estações de amostragem durante longos períodos de tempo. Por consequência, é gerado um banco de dados complexo e extenso, o que dificulta a extração de informações úteis. Nesse sentido, a aplicação de diferentes técnicas estatísticas facilita a interpretação de dados, permitindo compreender melhor as variações temporais e espaciais da qualidade da água e identificar possíveis fatores que influenciam a qualidade da água (Omo-irabor *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2011 e Souza *et al.*, 2015).

OBJETIVO

O objetivo do trabalho é analisar a variação espacial da qualidade da água entre as estações de monitoramento da bacia do rio das Velhas, por meio da Análise de Cluster, teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* e análise do percentual de violação à Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008.

METODOLOGIA UTILIZADA

Foram utilizados os dados de monitoramento, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), das redes de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio das Velhas, sub-bacia do rio São Francisco.

A bacia hidrográfica do rio das Velhas situa-se na região central do estado de Minas Gerais, abrange uma área de 29.173 km² e possui população em torno de 4,8 milhões de habitantes, abrangendo 51 municípios. Dentre esses municípios, 15 estão localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), área de intensa urbanização que, apesar de ocupar apenas 10% da área territorial da bacia, abriga 70% de toda sua população, o que contribui para a deterioração da qualidade das suas águas superficiais. Concentra atividades industriais e tem processo de urbanização avançado, sendo por isso a área que mais contribui com a degradação das águas do rio das Velhas (CBH Velhas, 2016).

Para a aplicação das análises multivariadas o banco de dados foi definido em três etapas: seleção das estações de monitoramento, definição do período de estudo e a seleção dos parâmetros de qualidade da água.

A porcentagem de dados faltantes e de dados censurados de cada parâmetro de qualidade da água foi calculada considerando-se os dados de todas as estações. Após análise detalhada do banco de dados, optou-se por eliminar aqueles que obtiveram mais de 10% de dados faltantes e mais de 90% de dados censurados. Os demais dados censurados considerados nas análises assumiram o valor do limite de detecção. Por fim, as observações do banco de dados selecionado foram padronizadas em escala z (média 0 e desvio padrão 1: $Z=(X - \mu)/\sigma$), para eliminar a influência de diferentes unidades de medida dos parâmetros de qualidade da água.

Para avaliar a similaridade das estações de monitoramento em função das concentrações dos parâmetros de qualidade da água foi utilizada a Análise de Cluster (AC), através do método aglomerativo hierárquico, de ligação completa, considerando a distância euclidiana como medida de similaridade.

Visando identificar diferenças significativas entre as concentrações dos parâmetros de qualidade da água dos grupos formados pela AC, foi aplicado o teste estatístico não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, seguido do teste de comparações múltiplas (quando aplicável), ao nível de significância (α) de 5%. Assim, foi possível identificar os parâmetros responsáveis por diferenciar os grupos e foram gerados gráficos *box-plots* para melhor visualização dos resultados.

A porcentagem de violação dos parâmetros de qualidade da água aos limites preconizados na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008, segundo a classe de enquadramento do corpo d'água, foi calculada para cada estação de monitoramento, considerando o período selecionado. Os parâmetros de qualidade da água que apresentaram 50% ou mais de violação no período analisado foram denominados "parâmetros críticos". Da mesma forma, foram destacadas as estações de monitoramento que apresentaram maior número de parâmetros críticos.

RESULTADOS OBTIDOS

O banco de dados com frequência de monitoramento trimestral da bacia do rio das Velhas, selecionado para aplicação da análise multivariada, é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Banco de dados de monitoramento das águas superficiais da bacia do rio Velhas selecionado para aplicação da análise multivariada

Período	2º trimestre de 2008 ao 2º trimestre de 2016
Total de coletas	2.108
Dados válidos	13.560
Estações de monitoramento	AV007, AV010, AV020, AV060, AV070, AV080, AV210, AV250, AV300, AV320, AV340, BV013, BV035, BV037, BV062, BV063, BV067, BV076, BV083, BV105, BV130, BV133, BV135, BV136, BV137, BV139, BV140, BV141, BV142, BV143, BV144, BV145, BV146, BV147, BV148, BV149, BV150, BV151, BV152, BV153, BV154, BV155, BV156, BV160, BV161, BV162, SC03, SC10, SC12, SC13, SC14, SC16, SC17, SC19, SC21, SC22, SC23, SC24, SC25, SC26, SC27, SC28, SC30, SC33, SC39
Parâmetros	Cloreto total, clorofila- <i>a</i> , coliformes termotolerantes/ <i>Escherichia coli</i> , condutividade elétrica <i>in loco</i> , demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, feofitina- <i>a</i> , fósforo total, nitrato, oxigênio dissolvido, pH <i>in loco</i> , sólidos totais, temperatura da água e turbidez

A Figura 1 apresenta a localização geográfica das estações de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio das Velhas, selecionadas para o estudo.

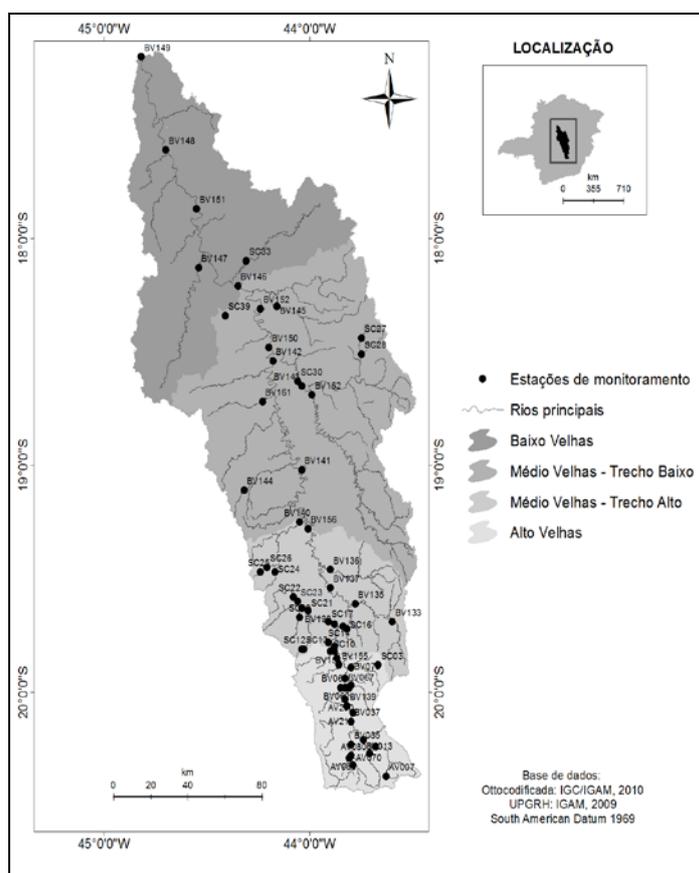


Figura 1: Localização geográfica das estações de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio das Velhas, selecionadas para o estudo.

Fonte: CALAZANS, 2015.

Para o agrupamento das 65 estações de monitoramento da bacia do rio das Velhas, foi considerada a distância euclidiana de 22,35, que resultou na formação de dez grupos, conforme apresentado no dendrograma na Figura 2 e discriminados no Quadro 1.

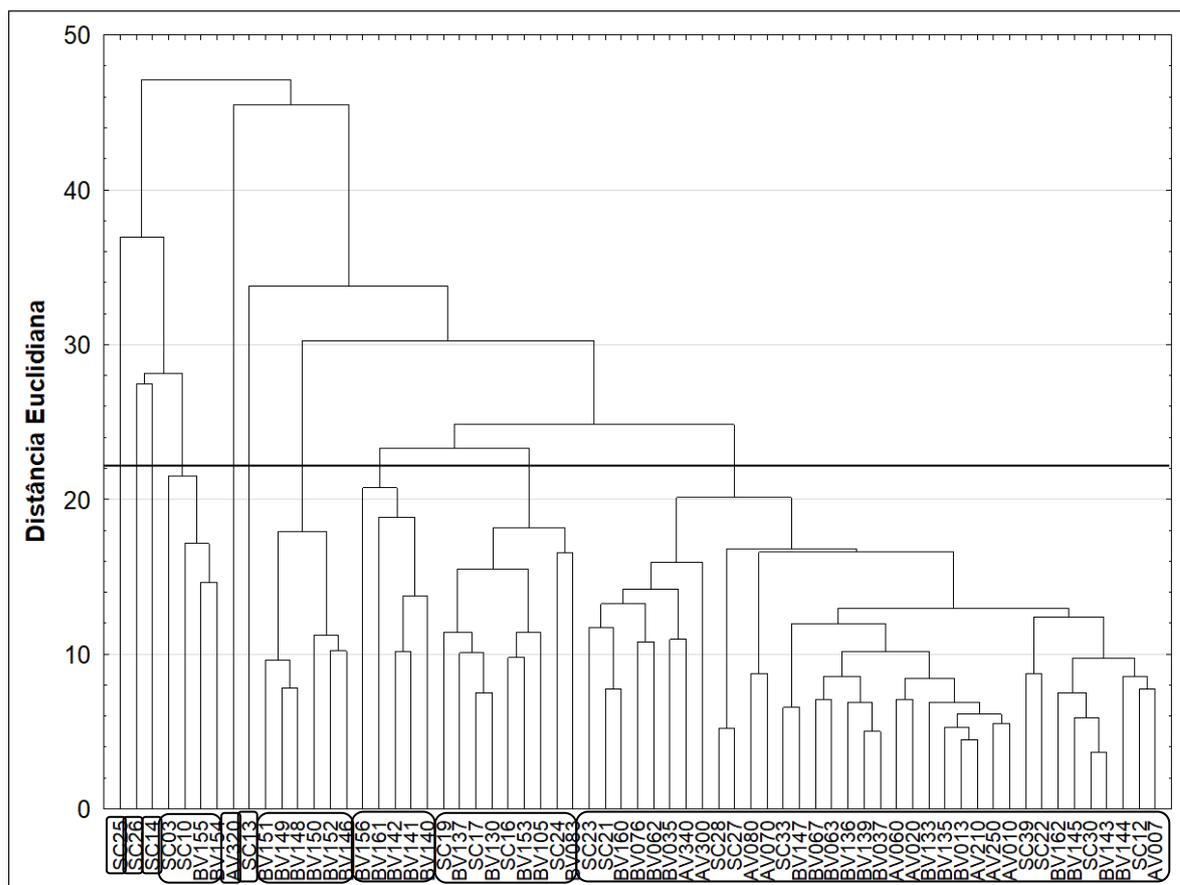


Figura 2: Dendrograma da Análise de Cluster para o banco de dados de monitoramento trimestral da bacia do rio das Velhas no período de julho de 2008 a julho de 2016: 65 estações, 14 parâmetros

Quadro 1: Grupos de estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio das Velhas, formados pela Análise de Cluster.

Grupo	Estações
1	SC25
2	SC26
3	SC14
4	SC03, SC10, BV155, BV154
5	AV320
6	SC13
7	BV151, BV149, BV148, BV150, BV152, BV146
8	BV156, BV161, BV142, BV141, BV140
9	SC19, BV137, SC17, BV130, SC16, BV153, BV105, SC24, BV083
10	SC23, SC21, BV160, BV076, BV062, BV035, AV340, AV300, SC28, SC27, AV080, AV070, SC33, BV147, BV067, BV063, BV136, BV139, BV037, AV060, AV020, BV133, BV135, BV013, AV210, AV250, AV010, SC39, SC22, BV162, BV145, SC30, BV143, BV144, SC12, AV007

O teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* apresentou diferenças significativas para todos os parâmetros ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$), em comparação dos grupos formados pela AC. Em seguida, o teste de comparações múltiplas foi responsável por identificar os agrupamentos que diferenciam entre si. A Figura 3 apresenta o parâmetro coliformes termotolerantes/*Escherichia coli* e a Figura 4 apresenta o parâmetro fósforo total.

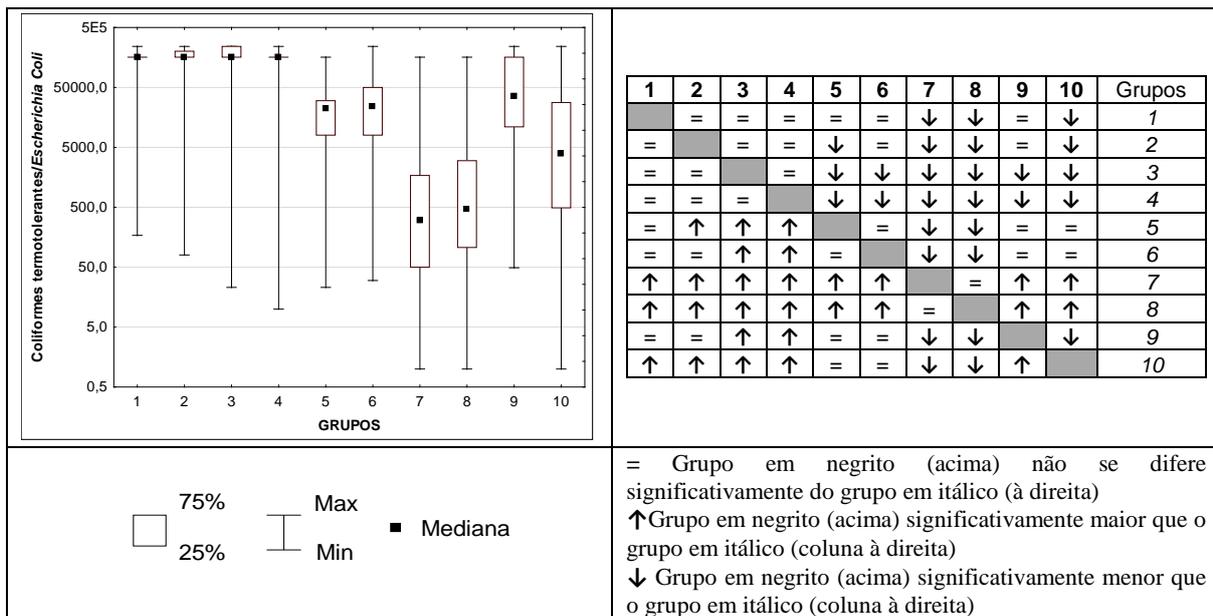


Figura 3: Box-plot das concentrações do parâmetro coliformes termotolerantes/*Escherichia coli* e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença significativa indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ($p < 0,05$), considerando os agrupamentos formados na AC.

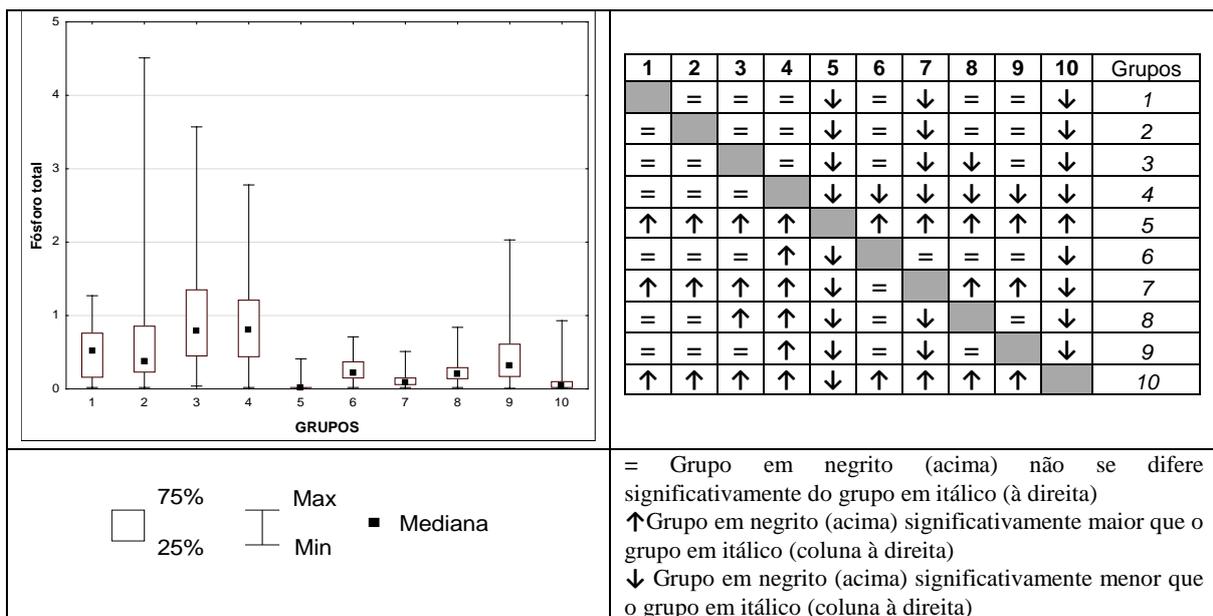


Figura 4: Box-plot das concentrações do parâmetro fósforo total e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença significativa indicada pelo teste de *Kruskal-Wallis* ($p < 0,05$), considerando os agrupamentos formados na AC.

A análise de violação foi realizada para os 35 parâmetros de qualidade da água que possuem limites na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/2008 para o período de julho/2008 a julho/2016. Os resultados da análise de parâmetros críticos (50% ou mais de violação) indicaram coliformes termotolerantes/*Escherichia coli*, manganês total e fósforo total como os parâmetros mais relevantes no monitoramento da qualidade da água da bacia do rio das Velhas. Estes parâmetros são críticos em mais de 44% das estações de monitoramento analisadas, conforme demonstra a Figura 5.

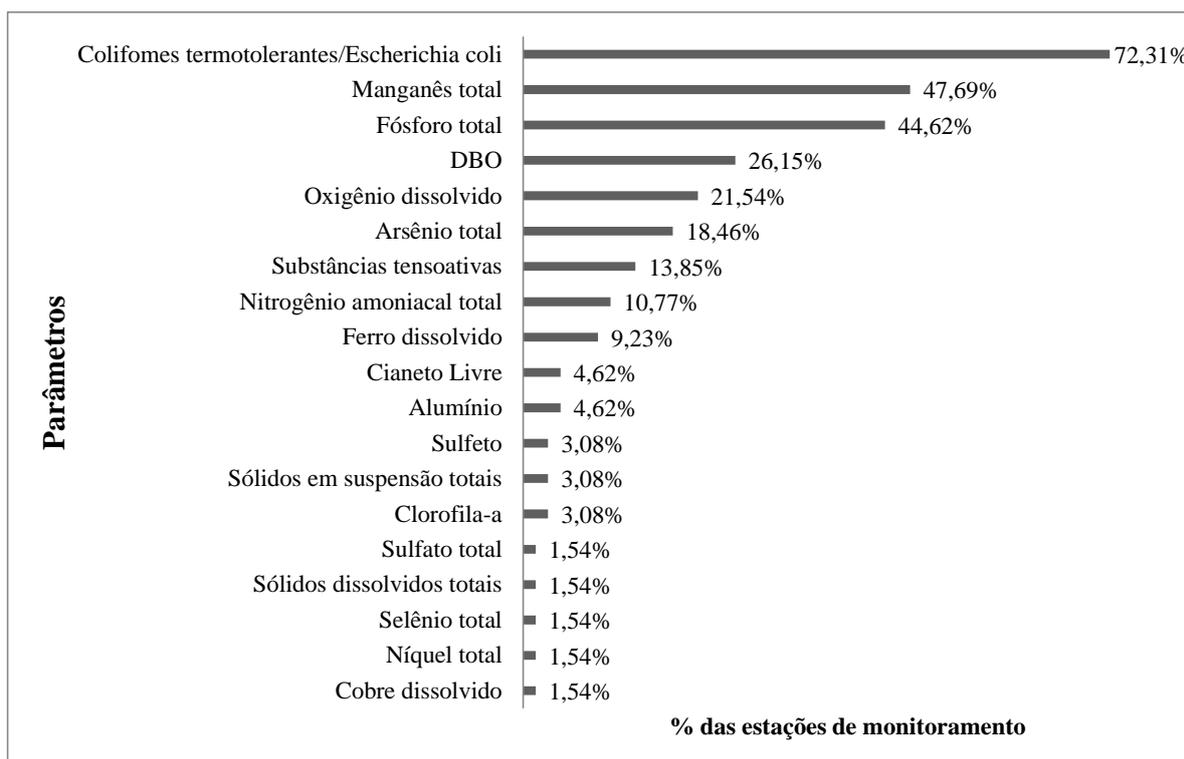


Figura 5: Porcentagem de estações de monitoramento na bacia do rio das Velhas que apresentaram 50% ou mais de violação aos parâmetros analisados.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As estações de monitoramento dos seis primeiros grupos podem ser consideradas as mais relevantes na bacia do rio das Velhas, pois possuem características únicas que as diferem das demais, já que ficaram isoladas ou em um pequeno grupo, no caso do grupo 4. Os resultados do teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* e comparações múltiplas confirmam os agrupamentos obtidos na AC ressaltando que as concentrações para o parâmetro coliformes termotolerantes/*Escherichia coli* e fósforo total nos grupos 1, 2, 3 e 4 são significativamente maiores em relação aos demais grupos. São elas: SC25, SC26, SC14, SC03, SC10, BV155 e BV154.

A estação de monitoramento SC25 se localiza no córrego do Diogo, na cidade de Sete Lagoas, antes do lançamento do esgoto da cidade e é um dos corpos d'água que apresentaram piores condições devido à violação do parâmetro coliformes termotolerantes/*Escherichia coli* na bacia do rio das Velhas, além de apresentar altas concentrações de cloreto e nitrato (IGAM, 2013).

A estação de monitoramento SC26 localizada no ribeirão do Matadouro a jusante dos lançamentos de esgoto de Sete Lagoas apresentou o IQA Muito Ruim no ano de 2015 e isso pode ser associado, além dos lançamentos de esgotos domésticos de Sete Lagoas, aos efluentes de abatedouros, laticínios, indústrias químicas e de fertilizantes (IGAM, 2016).

Os seguintes municípios sofrem interferência na qualidade das águas dos cursos d'água da bacia do rio das Velhas (IGAM, 2013): Sabará tem influência de lançamentos de esgotos sanitários no ribeirão Arrudas próximo de sua foz no rio das Velhas (BV155); Belo Horizonte interfere negativamente na qualidade das águas do ribeirão do Onça a montante da ETE Onça (SC10) e próximo de sua foz no rio das Velhas (BV154) e Santa Luzia com lançamentos no ribeirão Poderoso a jusante da ETE Cristina em Santa Luzia (SC14).

De acordo com IGAM, 2013 destaca-se que os corpos d'água que apresentaram piores condições devido à violação do parâmetro coliformes termotolerantes/*Escherichia coli* na bacia do rio das Velhas estão localizadas no córrego Caeté a jusante do lançamento de esgoto de Caeté (SC03), no ribeirão do Onça a montante da ETE

Onça (SC10), no ribeirão do Onça próximo de sua foz no rio das Velhas (BV154), no ribeirão Poderoso a jusante da ETE Cristina em Santa Luzia (SC14), e no córrego do Diogo a montante de Sete Lagoas (SC25).

O parâmetro coliformes termotolerantes/*Escherichia coli* foi considerado um parâmetro crítico em 72% das estações de monitoramento analisadas, dessa forma, os resultados das violações indicam que a bacia do rio das Velhas, em toda sua extensão, é contaminada por esgoto doméstico. Esse resultado é consequência da baixa taxa de tratamento destes na bacia ou de tratamento em nível insuficiente.

Outro parâmetro crítico na bacia do rio das Velhas, é o fósforo total, pois mais de 44% das estações de monitoramento da bacia apresentaram 50% ou mais de violação ao parâmetro. De acordo com CETESB (2009), a concentração de fósforo total pode ser proveniente das descargas de esgotos sanitários (matéria orgânica fecal e detergentes fosfatados), efluentes industriais (indústrias de fertilizantes, pesticidas, indústrias químicas em geral, indústrias alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios) ou por drenagem de áreas agrícolas e urbanas.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os parâmetros coliformes termotolerantes/*Escherichia coli*, manganês total e fósforo total são os que mais apresentaram violações para a maioria das estações de monitoramento e por isso são considerados os mais relevantes da bacia do rio das Velhas. Em geral, as estações de monitoramento mais relevantes da bacia do rio das Velhas, são as pertencentes aos grupos 1 a 4 da Análise de Cluster (SC25, SC26, SC14, SC03, SC10, BV155 e BV154), por apresentarem altas violações, e se diferenciarem significativamente das demais para a maioria dos parâmetros de qualidade da água.

Os parâmetros críticos responsáveis pela degradação da qualidade da água da bacia do rio das Velhas podem estar relacionados aos despejos de esgotos domésticos, de efluentes industriais, às atividades minerárias, à drenagem de áreas agrícolas e aos processos de erosão e assoreamento.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) e ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH-UFGM) pelo apoio no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAUJO, E. N. Estudo do comportamento espacial dos parâmetros de qualidade das águas da bacia do rio Paraopeba. (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2014.
2. CALAZANS, G. M. Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba, utilizando técnicas estatísticas multivariadas. 2015. 196 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2015.
3. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – CBH Velhas. Disponível em: <<http://cbhvelhas.org.br/a-bacia-hidrografica-do-rio-das-velhas/>>. Acesso em: 14 dez.2016.
4. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/125-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos>>. Acesso em: 14 dez.2016.
5. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio das Velhas. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 48p.
6. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015: resumo executivo. Belo Horizonte: IGAM, 2016. 179p.
7. OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; LOFTIS, J. C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis – literature review and Illinois River watershed case study. Water Research, v. 46, p. 3110-3122, 2012.

8. OMO-IRABOR, O. O.; OLOBANIYI, S. B.; ODUYEMI, K.; AKUNNA, J. Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 33, p. 666-673, 2008.
9. SOUZA, A., BERTOSSI, A. P. A., LASTORIA, G. Diagnóstico temporal e espacial da qualidade das águas superficiais do Córrego Bandeira, Campo Grande, MS. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 9, n. 3, p. 227-234, julho-setembro, 2015. DOI: <<http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i3.2312>>
10. ZHANG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; WU, J.; YU, M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n. 173, p. 17-27, 2011.