

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS DADOS DE MONITORAMENTO DA SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA, INSERIDA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Ana Luiza Cunha Soares^{1*}; Giovanna Moura Calazans² Carolina Cristiane Pinto³;
Lívia Duarte Ventura Melo⁴; Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira⁵

Resumo – Este trabalho apresenta um estudo da variação espacial da qualidade das águas superficiais por meio da Análise de Cluster, teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e análise do percentual de violação à legislação vigente. Os dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba foram obtidos junto ao Instituto Mineiro Gestão das Águas (IGAM). Foram analisados 18 parâmetros em 30 estações de monitoramento, no período de 2008 a 2013. 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 de monitoramento. As 30 estações de monitoramento foram agrupadas em 8 grupos, 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, manganês total e fósforo total. Dentre as estações de monitoramento, identificou-se a estação BP073 (Riacho das Pedras, em Betim) como a mais degradada na bacia do rio Paraopeba.

Palavras-Chave – Qualidade das águas, Análise de Cluster, Percentual de violação, Bacia do rio Paraopeba.

¹Engenheira Ambiental. Mestranda em Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. E-mail: analulucunha@gmail.com

²Engenheira Ambiental, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. E-mail: giovannacalazans@hotmail.com

³Engenheira Química, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Analista Ambiental da Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas no Instituto Mineiro de Gestão das Águas – MG. E-mail: ccristiane15@hotmail.com

⁴Engenheira Civil, Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. E-mail: lidventura@yahoo.com.br

⁵Engenheira Eletricista, Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária da UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: silvia@desa.ufmg.br

*Autor Correspondente

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e tecnológico e o crescimento populacional acelerado geram situações de conflito e escassez dos recursos hídricos por todo o planeta. A água é um elemento vital para esse progresso, além de ser essencial à sobrevivência dos seres vivos. Com todo o seu potencial hídrico, Minas Gerais busca uma política de gestão da água eficiente. Conhecer a qualidade das águas é uma ferramenta para definir estratégias que busquem a conservação, a recuperação e o uso racional dos recursos hídricos, reduzindo os conflitos e direcionando as atividades econômicas [IGAM, (2014)].

O monitoramento de corpos d'água é de extrema importância para a gestão sustentável dos recursos hídricos, no entanto, esse monitoramento por longos períodos e em várias estações de amostragem produz um banco de dados grande e complexo. Isso dificulta a análise e interpretação dos dados para se extrair informações compreensíveis e precisas de grande utilidade para a gestão adequada da qualidade da água, sendo muitas vezes subutilizados [Trindade (2013)].

Este trabalho teve como objetivo analisar a variação da qualidade da água entre as estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba, por meio da Análise de Cluster, teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e análise do percentual de violação.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido utilizando dados de monitoramento, disponibilizados pelo IGAM, das redes de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba, sub-bacia da bacia do rio São Francisco. A Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba situa-se na região central do estado de Minas Gerais e abrange uma área de 12.054 km². O rio Paraopeba, percorre 510 km da sua nascente no extremo sul da Serra do Espinhaço, município de Cristiano Ottoni até sua foz na Represa de Três Marias, no município de Felixlândia. Seus principais afluentes da margem direita são: rio Maranhão, rio Pequeri, ribeirão Casa Branca, ribeirão Grande, ribeirão Sarzedo, ribeirão Betim, ribeirão Macacos, ribeirão Cedro, ribeirão São João e na margem esquerda são o rio Brumado, o rio da Prata, o rio Macaúbas, o rio Manso, o ribeirão Serra Azul e o rio Pardo, conforme Figura 1 [IGAM (2013)].

Segundo o CBH-Paraopeba/Cibapar, a região abriga um dos mais importantes centros econômicos de Minas Gerais, localizado entre Contagem e Betim. Com atividades econômicas dinâmicas se destacam também os municípios de Sete Lagoas, Ouro Branco, Congonhas do Campo e Conselheiro Lafaiete [CIBAPAR (2016)].

Por estar inserida em áreas de transição entre Cerrado e Mata Atlântica destacam-se na bacia do rio Paraopeba a existência de Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN's), Unidades de Conservação como o Parque Estadual da Serra do Rola Moça e ainda outras reservas ambientais como a Gruta Rei do Mato, em Sete Lagoas, e área de proteção ambiental Vargem das Flores, em Contagem, possibilitando a preservação de diversas espécies da fauna e flora, algumas já ameaçadas de extinção.

2.2 Dados de monitoramento de qualidade das águas

No Estado de Minas Gerais, o monitoramento dos recursos hídricos é realizado pelo IGAM desde 1997 e permite a avaliação e o acompanhamento da condição da qualidade das águas nas principais bacias hidrográficas do Estado, possibilitando aos órgãos e entidades responsáveis identificarem e implementarem estratégias de aperfeiçoamento de seus instrumentos de gestão [SABINO *et al.* (2014)].

I SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico.

Desde a implantação da rede até o ano de 2013, foram realizadas 1.509 coletas, monitorados 62 parâmetros de qualidade da água, em 33 estações de monitoramento, com frequência de amostragem trimestral e semestral, obtendo um total de 59.860 dados válidos.

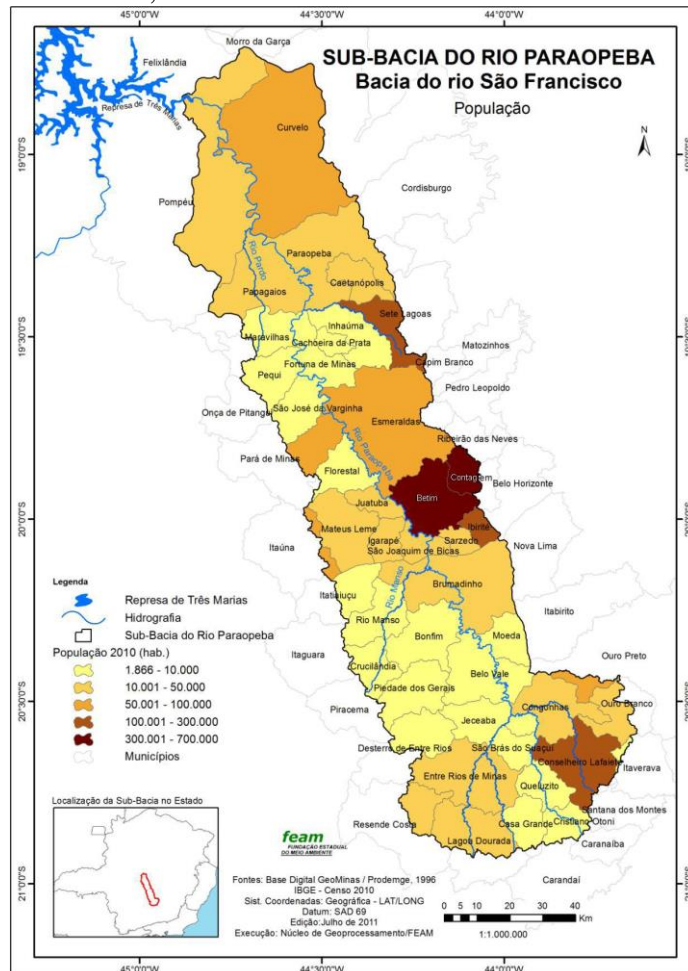


Figura 1 – Bacia do rio Paraopeba

2.3 Organização do banco de dados

A definição do banco de dados para aplicação das análises multivariadas foi realizada em três etapas: seleção das estações de monitoramento, definição do período de estudo e a seleção dos parâmetros de qualidade da água. Foram utilizadas apenas os dados de estações de monitoramento que estão ativas há, no mínimo, quatro anos, já que neste período foi observado um maior número de estações com séries completas de dados [Calazans (2015)].

Foi calculada a porcentagem de dados faltantes e de dados censurados de cada parâmetro de qualidade da água 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, critérios já utilizados em outros trabalhos [ARAÚJO (2014); OLSEN *et al.* (2012)]. 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.

2.4 Avaliação espacial da 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 dissimilaridade. Assim, foi analisada a localização geográfica dos grupos formados de maneira a identificar áreas cuja qualidade da água são similares na bacia hidrográfica.

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.

2.5 Análise de violação dos parâmetros de qualidade da água aos limites preconizados pela legislação

A porcentagem de violação dos parâmetros de qualidade da água à 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Organização do banco de dados

Das 33 estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba, três foram desconsideradas por terem o monitoramento iniciado a partir de 2012. O período de monitoramento contínuo e comum entre as estações de monitoramento ativas é de 2008 a 2013, sendo selecionado para estudo neste trabalho.

Os parâmetros que apresentaram monitoramento trimestral contínuo, considerados no estudo, além das características do banco de dados estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Banco de dados de monitoramento das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba selecionado para aplicação das estatísticas multivariadas

| | |
|----------------------------------|--|
| Período | 1º trimestre de 2008 ao 4º trimestre de 2013 |
| Total de coletas | 720 |
| Dados válidos | 13.560 |
| Estações de monitoramento | BP022, BP024, BP026, BP027, BP029, BP032, BP036, BP066, BP068, BP069, BP070, BP071, BP072, BP073, BP074, BP076, BP078, BP079, BP080, BP082, BP083, BP084, BP086, BP088, BP090, BP092, BP094, BP096, BP098, BP099 |
| Parâmetros | Cloreto total, coliformes termotolerantes, condutividade elétrica <i>in loco</i> , cor verdadeira, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, nitrato, nitrogênio amoniacal total, nitrogênio orgânico, oxigênio dissolvido, pH <i>in loco</i> , sólidos em suspensão totais, sólidos totais, temperatura da água, turbidez |

3.2 Avaliação espacial da qualidade da água

Para o agrupamento das 30 estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba, foi considerada a distância euclidiana de 21,27, que resultou na formação de oito grupos, conforme apresentado no dendograma na Figura 2.

As estações de monitoramento dos seis primeiros grupos podem ser consideradas as mais relevantes na bacia do rio Paraopeba, pois possuem características únicas que as diferem das demais, já que foram separadas isoladamente em grupos ou em pequeno grupo, no caso do grupo 4.

A maior variabilidade da qualidade da água na bacia do rio Paraopeba ocorre na região do Médio Paraopeba, onde está localizada a cidade de Betim, área de alta densidade populacional e alto nível de industrialização.

Os resultados do teste de comparações múltiplas indicam que as estações de monitoramento BP073 e BP071 (Grupo 1 e 2, respectivamente) são as estações cuja qualidade das águas superficiais são mais degradadas da bacia do rio Paraopeba. Estas estações possuem as maiores concentrações significativas para cloreto total, clorofila *a*, condutividade elétrica, DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal e orgânico, sólidos totais e menores concentrações significativas para oxigênio dissolvido, em relação às demais estações (Figura 3). Em comparação, a estação BP073 ainda apresenta concentração significativamente maior para DBO e DQO em relação à estação BP071.

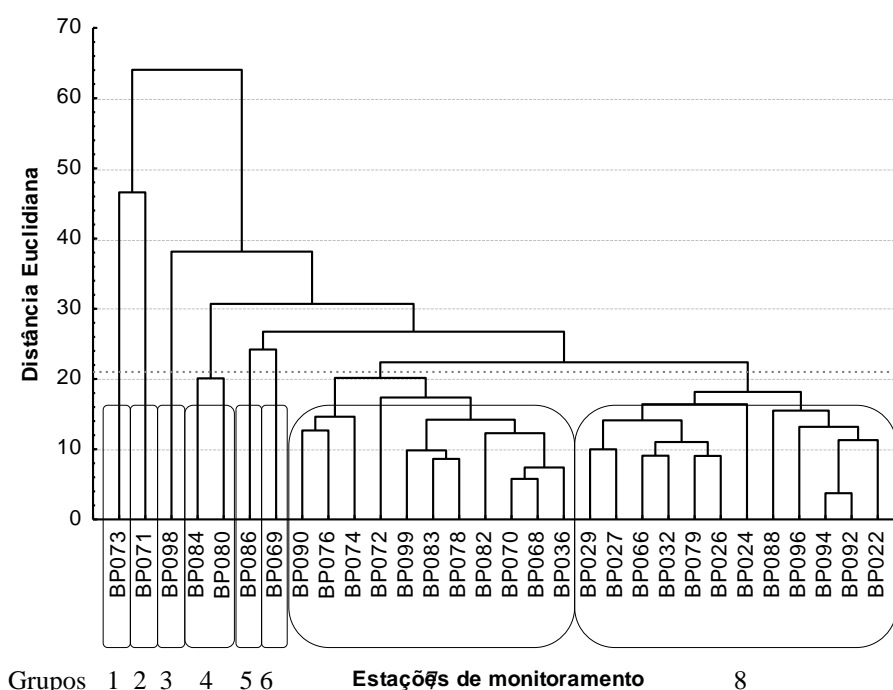


Figura 2 - Dendrograma da Análise de Cluster para o banco de dados trimensais da bacia do rio Paraopeba, referente ao período de 2008 a 2013: 18 parâmetros e 30 estações de monitoramento.

As concentrações de coliformes termotolerantes foram significativamente menores para os grupos 3, 7 e 8. Destaca-se que a maioria das observações deste parâmetro no grupo 1 se concentraram no valor do limite de detecção do método, que é de 160.000 NMP/100mL (Figura 3). Ou seja, a estação BP073 é altamente contaminada por esgoto doméstico, gerando sérios riscos à saúde da população.

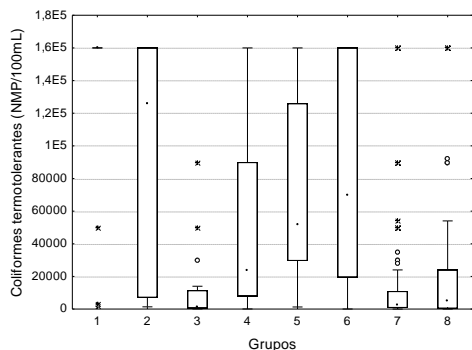
A partir dos resultados do teste de comparações múltiplas observa-se que a estação BP098 (grupo 3) pode estar próxima de áreas de pastagens ou solo exposto, pois apresenta concentrações significativas de cloreto total, condutividade elétrica e sólidos totais maiores em relação às demais estações de monitoramento, não se diferenciando das estações BP073 e BP071.

As concentrações de ferro e manganês não se diferenciaram significativamente entre a maioria dos grupos. Entretanto, destaca-se uma concentração maior desses metais no grupo 4, localizado no Quadrilátero Ferrífero. Concentrações significativas de manganês também foram observadas no grupo 5 (estação BV086).

Box-plot das concentrações dos parâmetros

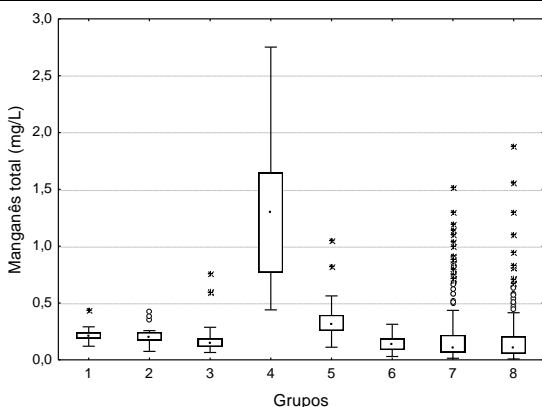
Resultados do teste de comparações múltiplas

Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)



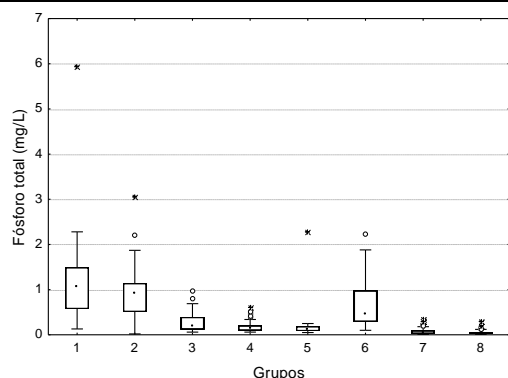
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Grupos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| | = | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | 1 |
| = | | ↓ | = | = | = | ↓ | ↓ | 2 |
| ↑ | ↑ | | ↑ | ↑ | ↑ | = | = | 3 |
| ↑ | = | ↓ | | = | = | ↓ | ↓ | 4 |
| ↑ | = | ↓ | = | | = | ↓ | ↓ | 5 |
| ↑ | ↑ | = | ↑ | ↑ | | = | ↓ | 6 |
| ↑ | ↑ | = | ↑ | ↑ | ↑ | | = | 7 |
| ↑ | ↑ | = | ↑ | ↑ | ↑ | = | | 8 |

Manganês total (mg/L)

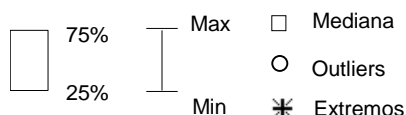


| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Grupos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| | = | = | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ | 1 |
| = | | = | ↑ | ↑ | = | ↓ | ↓ | 2 |
| = | = | | ↑ | ↑ | = | = | = | 3 |
| ↓ | ↓ | ↓ | | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | 4 |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↑ | | ↓ | ↓ | ↓ | 5 |
| ↑ | = | = | ↑ | ↑ | | = | = | 6 |
| ↑ | ↑ | = | ↑ | ↑ | = | | = | 7 |
| ↑ | ↑ | = | ↑ | ↑ | = | | | 8 |

Fósforo total (mg/L)



| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Grupos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| | = | ↓ | ↓ | ↓ | = | ↓ | ↓ | 1 |
| = | | ↓ | ↓ | ↓ | = | ↓ | ↓ | 2 |
| ↑ | ↑ | | = | = | ↑ | ↓ | ↓ | 3 |
| ↑ | ↑ | = | | = | ↑ | ↓ | ↓ | 4 |
| ↑ | ↑ | = | = | | ↑ | ↓ | ↓ | 5 |
| = | = | ↓ | ↓ | ↓ | | ↓ | ↓ | 6 |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | | ↓ | 7 |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | | 8 |



= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)
 ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)
 ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

Figura 3 - Box-plot das concentrações dos parâmetros e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença significativa indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$), considerando os agrupamentos formados na Análise de Cluster.

3.3 Análise de violação dos parâmetros de qualidade da água à legislação

A análise de violações aos limites preconizados pela DN COPAM/CERH-MG 01/2008 identificou os parâmetros coliformes termotolerantes, manganês total e fósforo total como os mais

relevantes para a bacia do rio Paraopeba (Figura 4). Trabalhos desenvolvidos na bacia do rio Paraopeba por Araújo (2014) e Sabino et al. (2008) também confirmam os resultados encontrados. Vale a pena destacar que não se conhece a concentração basal de alguns metais na bacia do rio Paraopeba, e que portanto, altas concentrações de ferro e manganês também podem estar associadas à concentração “background”, mas não se pode afirmar.

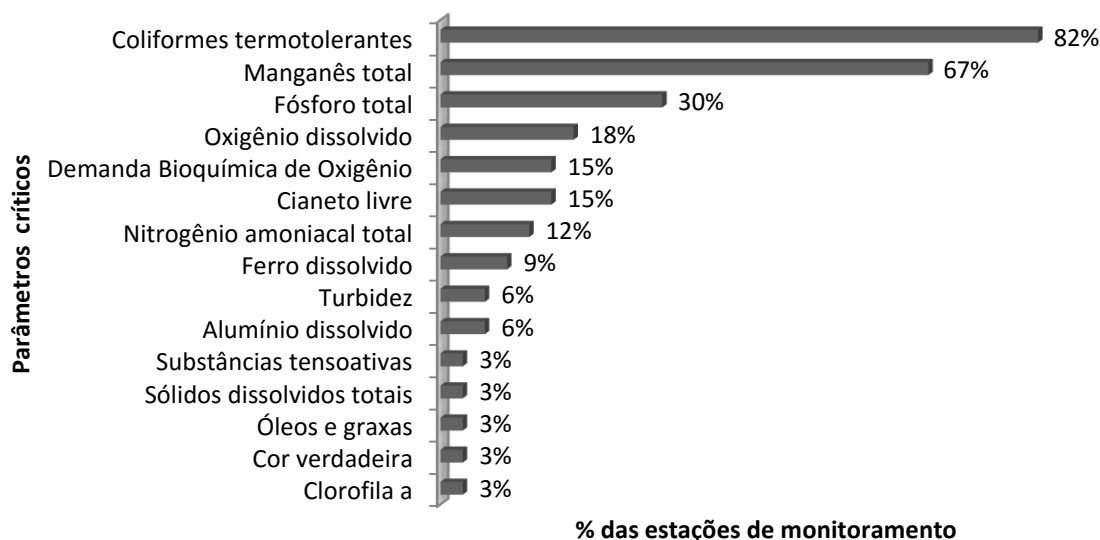


Figura 4 - Porcentagem de estações de monitoramento de frequência trimestral na bacia do rio Paraopeba que apresentaram 50% ou mais de violação aos parâmetros analisados.

Avaliando as estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba que apresentaram mais parâmetros críticos, destaca-se a estação BP073, com oito parâmetros críticos. Nota-se novamente que os resultados analisados por estação de monitoramento estão coerentes com aqueles encontrados para os agrupamentos. As estações que ficaram isoladas (Grupos 1, 2, 3, 4 e 6) ou que se agruparam em menor número (Grupo 5) no dendograma apresentaram o maior número de parâmetros críticos (Tabela 2).

Tabela 2 - Número de parâmetros críticos (50% ou mais de violação) nas estações de monitoramento mensal do rio Paraopeba

| Estações de monitoramento | Número de parâmetros críticos | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 8 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | BP073 | BP069 | BP098 | BP071 | BP024 | BP022 | BP094 |
| | | <i>BP084</i> | | <i>BP080</i> | BP027 | BP026 | |
| | | | | BP086 | BP029 | BP032 | |
| | | | | | BP036 | BP078 | |
| | | | | | BP066 | BP082 | |
| | | | | | BP068 | BP088 | |
| | | | | | BP070 | BP090 | |
| | | | | | BP072 | BP092 | |
| | | | | | BP074 | BP096 | |
| | | | | | BP076 | BP099 | |
| | | | | | BP079 | | |
| | | | | | BP083 | | |

Legenda: **Grupos 1, 2, 3, 5 e 6 (estações isoladas no dendograma); Grupo 4 (2 estações); Grupo 5 (11 estações); Grupo 7 (12 estações)**

Destaca-se a estação de monitoramento BP094, que não possui nenhum parâmetro crítico no período avaliado, ou seja, nenhum parâmetro com 50% ou mais de violação, sugerindo que esta está localizada na região da bacia do rio Paraopeba menos degradada.

4. CONCLUSÃO

Em geral, as estações de monitoramento mais relevantes da bacia do rio Paraopeba, são as pertencentes aos grupos 1 a 6 da Análise de Cluster, por apresentarem altas violações, e se diferenciarem significativamente das demais para a maioria dos parâmetros de qualidade da água. A maioria delas estão localizadas na região do polo industrial de Betim, cuja qualidade da água é afetada principalmente por esgoto doméstico e efluentes industriais. As estações de monitoramento do grupo 7 e 8 apresentam melhor qualidade da água e menores violações à legislação.

Os parâmetros que mais se destacaram para a caracterização da qualidade da água foram coliformes termotolerantes, manganês total e fósforo total. Dentre as estações de monitoramento que apresentaram alta contaminação por matéria orgânica biodegradável e aporte de sólidos, destaca-se a estação BP073 (Riacho das Pedras, em Betim), cuja qualidade da água é a mais degradada na bacia do rio Paraopeba.

É importante destacar que o fato da bacia do rio Paraopeba ter apresentado elevadas violações do parâmetro coliformes termotolerantes não necessariamente decorre da inexistência de investimentos em tratamento de esgotos, mas sim da ineficiência do tratamento utilizado para a recuperação da qualidade das águas da bacia.

REFERÊNCIAS

a) Artigo em revista

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, edição especial, p. 87-94, 2014.

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.

b) Dissertação

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.

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.

TRINDADE, A. L. C. *Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio São Francisco*. 2013. 181 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.

c) Publicação de entidades

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio Paraopeba*. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 41p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais: relatório trimestral (2º trimestre de 2014)*. 168p. 2014.

d) Site

CIBAPAR - Consórcio Intermunicipal da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba. Disponível em <<http://www.cibapar.org.br/a-bacia>>. Acesso em 28 abr. 2016.