

ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARÁ - MG

Josiani Cordova de Oliveira^{1*}; *Ana Luiza Cunha Soares*²; *Marina Salim Dantas*³; *Lívia Duarte Ventura Melo*⁴; *Carolina Cristiane Pinto*⁵; *Jessyca Irene Guimarães*⁶; *Aline Ribeiro Alkimim*⁷; *Deborah Martins de Carvalho*⁸; *Guilherme Abreu Souza*⁹; *Vinicius Henrique de Sena*¹⁰; *Gabriela Rodrigues Barroso*¹¹; *Sílvia Alves Corrêa Oliveira*¹²

O monitoramento da qualidade das águas é essencial para a gestão dos recursos hídricos, auxiliando, principalmente, na tomada de decisão para ações de planejamento e definições de políticas públicas de gestão. O presente trabalho apresenta uma análise da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Pará, no estado de Minas Gerais. Foi avaliada uma série de dados compreendida entre os anos de 2008 a 2016, envolvendo 18 parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, 26 estações de monitoramento e 17.776 dados válidos. Foi empregada uma análise estatística multivariada - Análise de Cluster (AC), bem como o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* seguido do teste de comparações múltiplas. Os resultados apontaram o córrego do Pinto (São Gonçalo do Pará) e o ribeirão Fartura (Nova Serrana) como os mais impactados, com maior degradabilidade de suas águas, e o rio Pará, no município de Passa Tempo e o rio do Peixe, em Pitangui com menor degradação ambiental. O comprometimento da qualidade das águas da bacia, de forma geral, pode ser explicado pelo lançamento de esgoto doméstico, efluentes industriais (principalmente de indústrias têxteis, curtumes e de materiais plásticos sintéticos) e a poluição difusa oriunda da agricultura.

Palavras-Chave – Estatística multivariada, rio Pará, qualidade da água.

ANALYSIS OF QUALITY OF SURFACE WATERS OF THE PARÁ RIVER HYDROGRAPHIC BASIN - MG

The water quality monitoring is essential for the management of water resources, mainly supporting in the decision-making for planning actions and definitions of public management policies. The present work show an analysis of the quality of surface waters of the Pará river locate in the state of Minas Gerais. It were evaluated a data series comprised between 2008 and 2016, involving 18 parameters, 26 monitoring stations and 17,776 valid data. A multivariate statistical analysis - Cluster Analysis (CA) was performed, as well as the nonparametric Kruskal-Wallis test followed by the multiple comparison test. The results showed the Pinto stream and the Fartura river as the most impacted ones, with greater degradability of its waters, and the Pará river, in the municipality of Passa Tempo, and the Peixe river, in Pitangui, with lower environmental degradation. The quality of

^{1*}Engenheira Agrônoma e Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade do Estado de Santa Catarina. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - josiani.oliv@gmail.com

²Engenheira Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG - analulucunha@gmail.com

³Graduanda em Engenharia Ambiental pela UFMG - marina-dantas@hotmail.com

⁴Engenheira Civil, Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG - lidventura@yahoo.com.br

⁵Engenheira Química pela Universidade Federal de São João Del-Rei, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG e doutoranda em Engenharia Química pela mesma universidade - cristiane15@hotmail.com

⁶Engenheira Ambiental, Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG - jessyca.iguimaraes@gmail.com

⁷Engenheira Química, Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG - alinealkmim@gmail.com

⁸Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais - deborah_martins08@hotmail.com

⁹Engenheiro Ambiental e mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG - gui_sabreu@hotmail.com

¹⁰Graduando em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais - vsenageo@gmail.com

¹¹Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - gabriela_r_barroso@hotmail.com

¹²Engenheira Eletricista, Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária da UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil - silvia@desa.ufmg.br

the waters of the basin is generally affected by the introduction of domestic sewage, industrial effluents (mainly from the textile, tannery and synthetic plastics industries) and the diffuse pollution caused by agriculture.

Keywords – Multivariate statistics, Pará river, water quality.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água dos cursos hídricos é definida tanto por processos naturais, como precipitação, erosão e carregamento de sedimentos, quanto por processos antropogênicos como a urbanização, industrialização e agricultura [Singh *et al.* (2009)]. Os corpos d'água superficiais são caracterizados como os mais vulneráveis à poluição devido à facilidade de acesso ao lançamento de águas residuárias industriais e domésticas, principalmente em bacias urbanas.

Diante disso, se faz necessário um programa de monitoramento que forneça uma estimativa representativa e confiável da qualidade das águas superficiais [Dixon (1996)], com resultados simplificados que mostrem a real situação da bacia estudada [Noori *et al.* (2010)].

Comumente, a avaliação das variações espaciais na qualidade da água de um rio é dada pela mensuração periódica de múltiplos parâmetros em diferentes estações de monitoramento [Fan *et al.* (2010)]. Os resultados obtidos a partir dessas avaliações criam uma matriz complexa de interpretação difícil. Essa complexidade dificulta a análise, a interpretação dos dados e a extração de informações úteis para a gestão adequada da qualidade da água, sendo o banco de dados muitas vezes subutilizado [Trindade *et al.* (2017)].

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Igam, por meio do Programa Águas de Minas, é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do estado. Estabelecido em 1997, o programa disponibiliza uma série histórica de dados da qualidade das águas no Estado e gera informações essenciais ao gerenciamento dos recursos hídricos [IGAM (2017a)].

Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pará, tributária do rio São Francisco, por meio da Análise de Cluster (AC) e do teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, identificando os cursos d'água mais e menos impactados.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Pará, afluente do alto curso do rio São Francisco, está situada na região sudoeste do Estado de Minas Gerais, o curso principal conta com uma extensão de cerca de 365 km. A área da bacia compreende aproximadamente 12.300 km², onde se situam 35 municípios, dos quais, destacam-se Divinópolis, Itaúna e Pará de Minas pela expressão econômica e tamanho populacional [IGAM (2016a)].

A principal atividade econômica desenvolvida na bacia é a mineração, predominando a extração de minerais não metálicos. No alto e médio curso do rio Pará destaca-se a extração de areia e granito, enquanto que na sub-bacia do rio do Peixe, no baixo curso, verifica-se a exploração de ardósia. O parque industrial é diversificado, abrangendo os ramos metalúrgico, têxtil e alimentício, além da produção de calçados, de fogos de artifício e dos curtumes [IGAM (2017b)]. A agricultura

e pecuária também são atividades importantes desenvolvidas na bacia do rio Pará, especialmente nos cursos alto e médio. Atualmente, a parte noroeste da bacia (municípios de Bom Despacho e Martinho Campos) é grande produtora de carvão e possui amplas áreas reflorestadas com eucalipto em virtude das atividades industriais desenvolvidas na região [IGAM (2016b)].

2.2 Organização do banco de dados

A avaliação da qualidade da água foi realizada com base nos dados semestrais e trimestrais das estações da rede básica de monitoramento (Figura 1) da bacia do rio Pará, disponibilizados pelo IGAM, para o período compreendido entre os anos de 2008 e 2016.

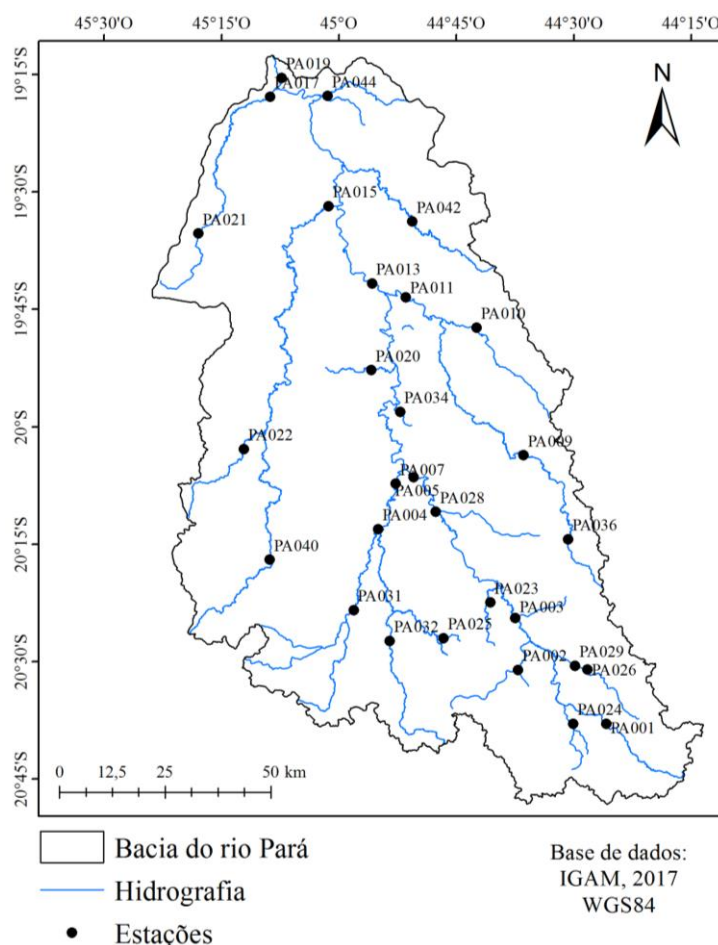


Figura 1: Mapa de localização das estações de monitoramento de água da bacia hidrográfica do rio Pará - MG.

Inicialmente, após uma avaliação minuciosa do banco de dados original, fez-se a seleção das estações de monitoramento, sendo excluídas aquelas implantadas após o ano de início do estudo. Feito isso, procedeu-se a seleção dos parâmetros, fundamentada na análise de dados faltantes e censurados, bem como na análise de importância individual de cada variável para todas as estações.

Para a análise percentual de dados faltantes, considerou-se como limite para exclusão do parâmetro, o valor de 10% (90% de dados válidos). Já para a análise de dados censurados, foram excluídos aqueles que apresentaram mais de 90% de censura. Os valores censurados, ou seja, menores ou maiores, que o limite de detecção dos métodos analíticos, foram substituídos pelo próprio limite de detecção, visto que a sua própria existência já constitui importante informação para identificação do grau de degradação de uma sub-bacia, trabalhando, assim, com o pior cenário possível [Trindade (2013)]. Os parâmetros remanescentes foram avaliados individualmente quanto

à sua significância para a caracterização da qualidade da água, de acordo com seu peso ambiental e sanitário [CETESB (2009)], sendo excluídos aqueles considerados não representativos para a qualidade da água.

A posteriori, procedeu-se a padronização do banco de dados selecionado, transformando-o em escala z (média 0 e desvio padrão 1: $Z = (X - \mu)/\sigma$), fator importante para evitar classificações erradas devido às diferenças naturais na dimensão dos dados tornando os dados adimensionais [Liu *et al.* (2003), Simenov (2003); Zhang *et al.* (2011)].

2.3 Análise multivariada e teste não paramétrico

A fim de verificar as variações espaciais na sub-bacia do rio Pará, em função da qualidade da água das diversas estações de monitoramento, considerando todos os parâmetros selecionados, foi empregada uma análise estatística multivariada, a Análise de Cluster. Utilizou-se o método aglomerativo hierárquico, de ligação completa, tendo a distância euclidiana como medida de similaridade.

Buscando ainda justificar e confirmar os agrupamentos gerados na AC, aplicou-se o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, seguido de testes de comparações múltiplas (quando aplicável), ao nível de significância $\alpha = 5\%$, com o objetivo de encontrar os parâmetros que se diferenciaram significativamente entre os grupos e assim, determinar a estação mais impactada da bacia.

Todas as análises citadas anteriormente foram realizadas no software Statistica (data analysis software system) versão 10.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Dados selecionados

Após a realização das análises, o banco de dados foi consolidado em 18 parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, 26 estações de monitoramento distribuídos no rio Pará e seus afluentes, perfazendo um total de 933 coletas e 17.776 dados válidos. Na Tabela 1 tem-se a síntese das estações e dos parâmetros selecionados.

Tabela 1- Estações e parâmetros selecionados para avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Pará - MG.

Estações	PA001, PA002, PA003, PA004, PA005, PA007, PA009, PA010, PA011, PA013, PA015, PA017, PA019, PA020, PA021, PA022, PA024, PA026, PA028, PA031, PA032, PA034, PA036, PA040, PA042, PA044
Parâmetros	Cloreto total, clorofila- <i>a</i> , coliformes termotolerantes/ <i>Escherichia coli</i> , condutividade elétrica <i>in loco</i> , demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, pH <i>in loco</i> , sólidos em suspensão totais, sólidos totais, substâncias tensoativas, sulfeto, temperatura da água, turbidez, zinco total

3.2 Análise multivariada e teste não paramétrico

A AC aplicada agrupou as 26 estações de monitoramento em dez grupos, de acordo com as suas similaridades. A Linha de Fenon utilizada para fazer o corte e assim separar os agrupamentos foi marcada na Distância de Ligação 16, conforme se observa no dendrograma (Figura 2).

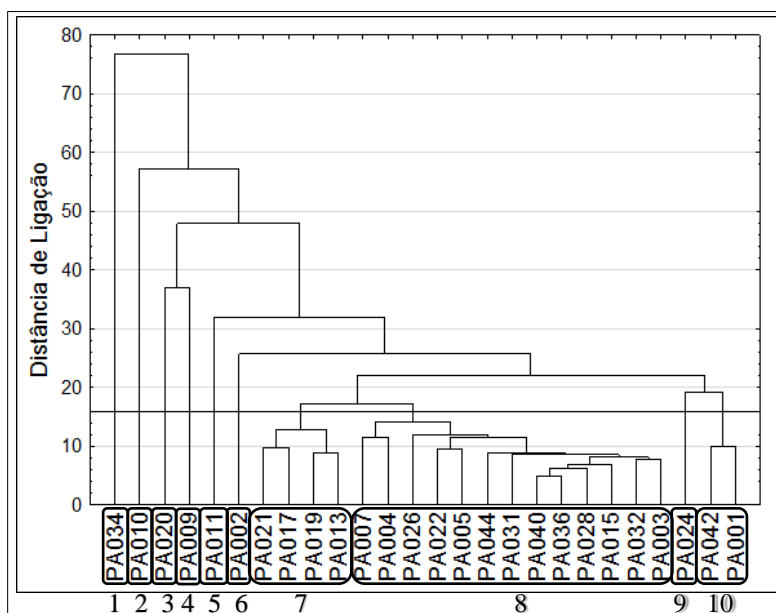


Figura 2- Dendrograma gerado a partir da Análise de Cluster aplicada para o banco de dados de monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Pará no período de fevereiro de 2008 a novembro de 2016, utilizando 26 estações e 18 parâmetros.

Os grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 9 são formados por uma única estação, sendo elas totalmente isoladas das demais. Já os grupos 7, 8 e 10 são formados por um conjunto de estações, as quais foram agrupadas por possuírem similaridades. O teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* e de comparações múltiplas identificou diferenças significativas entre todos os grupos formados, mostrando que algumas estações são mais impactadas em comparação a outras, principalmente para os parâmetros oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*), fósforo total e cloreto total.

Os parâmetros com as piores concentrações, e assim, responsáveis pelo maior impacto do Grupo 1 foram: coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*), oxigênio dissolvido, cloreto total, condutividade elétrica *in loco*, DBO, DQO, sólidos totais e sulfeto. Isso, possivelmente, pode ser explicado pelo fato da estação PA034 estar localizada no córrego do Pinto, a jusante do município de São Gonçalo do Pará, responsável pelo lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais provenientes de atividade de curtumes, indústrias têxteis e de calçados no corpo d'água. Tal resultado vai de encontro aos valores de Índice de Qualidade da Água (IQA) Muito Ruim e de Contaminação por Tóxicos (CT) Alta obtidos pelo IGAM, para essa estação, desde o ano de 2012 até 2016 [IGAM (2013); IGAM (2014); IGAM (2015) e IGAM (2016d)].

O grupo 3, composto pela estação PA020 apresentou medianas superiores às demais estações para os parâmetros fósforo total, nitrogênio amoniacal, sólidos em suspensão totais, substâncias tensoativas e turbidez. Tal estação está localizada no ribeirão da Fartura, a jusante do município de Nova Serrana, o qual lança seus esgotos no corpo hídrico, e a montante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município, o que pode explicar as elevadas concentrações encontradas, juntamente com o lançamento de efluentes de indústrias têxteis e de materiais plásticos sintéticos/calçados presentes na região [IGAM (2015)].

A Figura 3 apresenta os *box-plots* das concentrações dos parâmetros coliformes termotolerantes/*Escherichia coli*, oxigênio dissolvido, fósforo total e cloreto total.

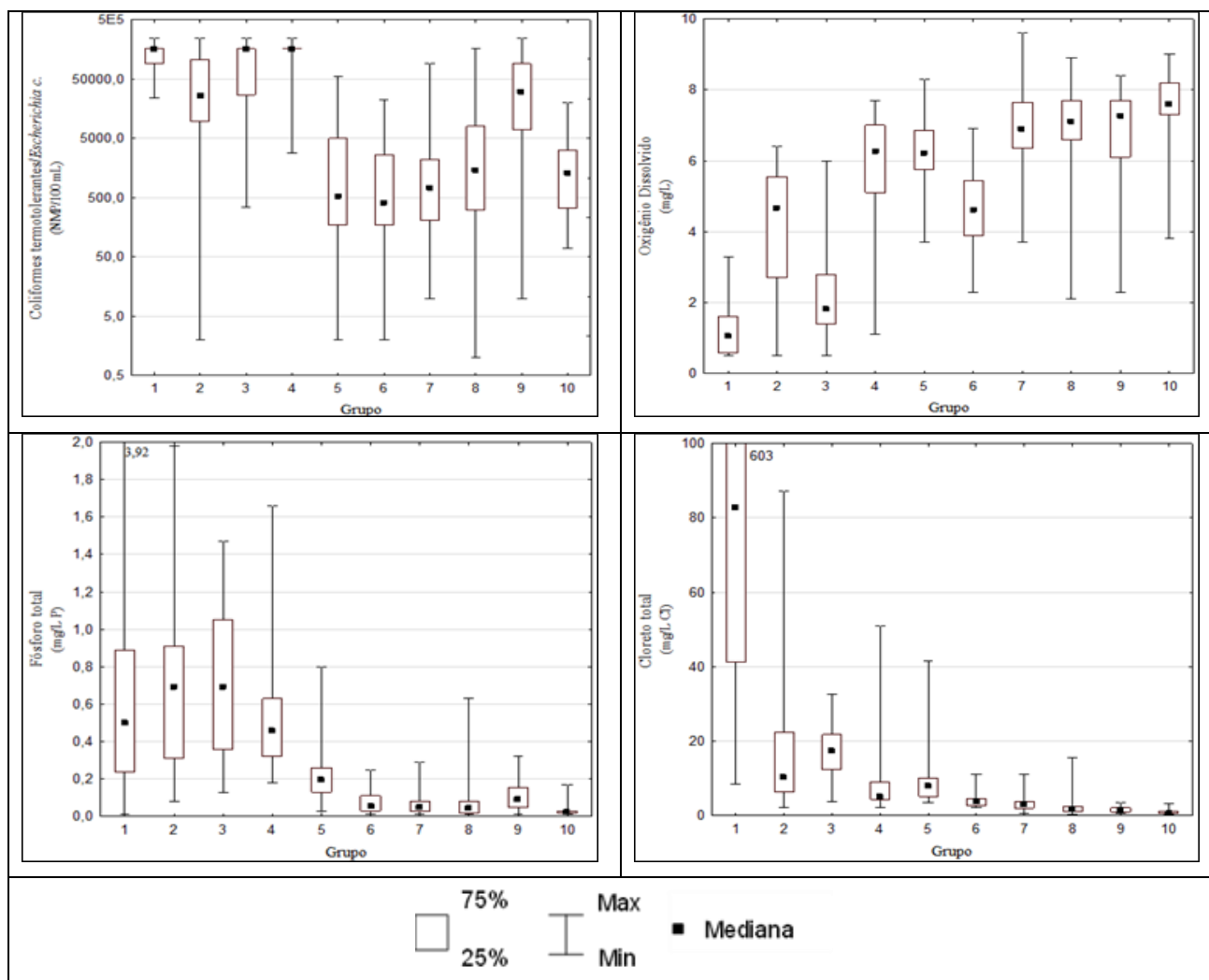


Figura 3- *Box-plots* das concentrações dos parâmetros coliformes termotolerantes/*Escherichia coli*, oxigênio dissolvido, fósforo total e cloreto total, considerando os agrupamentos formados na análise de Cluster da qualidade das águas da bacia do rio Pará - MG.

Os Grupos 2, 4 e 5, representados pelas estações PA010, PA009 e PA011, respectivamente, também apresentaram uma baixa qualidade da água. A estação PA010 está localizada no município de Pará de Minas, no ribeirão Paciência, o qual é afluente do rio São João, onde se localizam as estações PA011 e PA009, nos municípios de Pitangui e Itaúna, respectivamente. Essas estações pertencem a uma região com atividades econômicas similares, sendo as principais a agricultura, o abate de animais e as atividades de indústria mineral, têxtil e metalúrgica.

As estações PA013, PA017, PA019 e PA021 que compõem o Grupo 7, estão localizadas nos rios Pará e Picão, os quais assemelham-se pelos níveis de criticidade, provavelmente, em função do lançamento de efluentes domésticos e das atividades de bovinocultura e suinocultura desenvolvidas na bacia [IGAM (2016c)]. Além disso, tais estações apresentaram os índices de IQA e CT semelhantes nos anos avaliados [IGAM (2013); IGAM (2014); IGAM (2015) e IGAM (2016d)]. A mesma situação ocorre para o Grupo 8.

Finalmente, os Grupos 9 e 10 representam os cursos d'água menos impactados da bacia do rio Pará. A estação PA024 (Grupo 9) localiza-se no ribeirão Passa Tempo, a jusante da sede de Passa Tempo e os parâmetros que mais contribuíram para a sua boa classificação foram: nitrato, sólidos suspensos totais, sólidos totais e temperatura da água.

Já as estações pertencentes ao Grupo 10, PA001 situada no rio Pará (Passa Tempo) e PA042 situada no rio do Peixe (Pitangui), estão distantes da sede de seus municípios, em áreas com maior presença de vegetação ciliar e próximas as cabeceiras, o que contribui para o menor impacto e, por conseguinte, melhor qualidade das águas. Para este grupo, os parâmetros que se destacaram por apresentarem os menores valores de concentração foram: cloreto total, clorofila *a*, condutividade elétrica *in loco*, DQO, fósforo total e oxigênio dissolvido.

4. CONCLUSÃO

O córrego do Pinto e o ribeirão Fatura, localizados nos municípios de São Gonçalo do Pará e Nova Serrana, nesta devida ordem, foram apontados como os mais impactados, ou seja, com maior degradabilidade de suas águas. Resultado do lançamento de esgoto doméstico, efluentes industriais (principalmente das indústrias têxteis, curtumes e de materiais plásticos sintéticos) e da poluição difusa proporcionada pela agricultura. Já o rio Pará, no município de Passa Tempo e o rio do Peixe, em Pitangui, foram os que se mostraram com menor degradação ambiental.

REFERÊNCIAS

a) Artigo em revista

DIXON, W.; CHISWELL, B. (1996). Review of aquatic monitoring program design, *Water Research*, 30, pp. 1935-1948.

FAN, X.; CUI, B.; ZHAO, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, H. (2010). Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*. 2, pp. 1220-1234.

LIU, Cheng-Wuing; LIN, Kao-Hung; KUO, Yi-Ming. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *The Science of Total Environment*, n. 313, pp. 77-89.

NOORI, R.; SABAHI, M.S.; KARBASSI, A.R.; BAGHVAND, A.; ZADEH, H.T. (2010). Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. *Desalination*. 260, pp. 129-136.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, Th. (2003). Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, n. 37, p. 4119-4124.

TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. B.; BARBOSA, P. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. (2017). Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária Ambiental*. v.22 n.1, jan/fev, pp. 13-24.

SINGH, K. P.; BASANT, A.; MALIK, A.; JAIN, G. (2009). Artificial neural network modeling of the river water quality - a case study. *Ecological Modelling*. 220, pp. 888-895.

ZHANG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; WU, J.; YU, M. (2011). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, n. 173, pp. 17-27.

b) Dissertação

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) Portal eletrônico

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. Bacia hidrográfica do rio São Francisco. Disponível em <<http://www.igam.mg.gov.br/geoprocessamento/mapas/154>>. Acesso em: 30 mai. 2017b.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. Qualidade da Água. Disponível em <http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=113>. Acesso em: 30 mai. 2017a.

d) Publicação de entidade

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. (2009). *Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem*. São Paulo: Companhia ambiental do estado de São Paulo, Série de relatórios, 44p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2013). *Monitoramento da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais em 2012*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Relatório anual, 47p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2016a). *Plano diretor da bacia hidrográfica do rio Pará alto rio São Francisco Minas Gerais: Etapa 2 - caracterização do meio físico*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Plano Diretor, 107p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2016b). *Plano diretor da bacia hidrográfica do rio Pará alto rio São Francisco Minas Gerais: Etapa 4 - caracterização socioeconômica*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Plano Diretor, 452p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2016c). *Plano diretor da bacia hidrográfica do rio Pará alto rio São Francisco Minas Gerais: Etapa 3 – avaliação e análise ambiental*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Plano Diretor, 437p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2014). *Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Relatório anual, 69p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2015). *Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2014*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Relatório anual, 175p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2016d). *Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Relatório anual, 179p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2017). *Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2016*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Relatório anual, 175p.