



## **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

# **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO RIO PARAPEBA UTILIZANDO MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIADOS**

Esther Nogueira de Araujo; Giovanna Moura Calazans; Júlia Chaves Silva Nunes; Thaís Baêta Costa Barbosa & Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira<sup>1</sup>

**RESUMO** – Este trabalho apresenta um estudo da variação espacial da qualidade das águas superficiais por meio das técnicas estatísticas multivariadas. Os dados de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paraopeba foram obtidos junto ao Instituto Mineiro Gestão de Recursos Hídricos (IGAM). Foram analisados 35 parâmetros físico-químicos e microbiológicos em 359 coletas nas 30 estações de monitoramento, durante o período de 2008 a 2013. As Análises de Cluster e de Componentes Principais foram utilizadas 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 11 grupos, conforme a similaridade da qualidade da água, sendo justificados principalmente por pressões antrópicas similares. Foram encontrados dois componentes principais que explicaram 53% da variação espacial da qualidade da água. Os principais parâmetros foram associados à ocorrência natural e a pressões antrópicas, tais como diluição de efluentes domésticos e industriais, atividades agropecuárias e minerárias.

**ABSTRACT**– This study presents an evaluation of spatial variations of surface water quality using multivariate statistical tools. The monitoring data of Paraopeba river basin were obtained by “Minas Gerais State Water Resources Institute” (IGAM). Thirty-five physicochemical and microbiological parameters were measured in 359 water sampling campaigns at 30 sites during the period from 2008 to 2013. Cluster analysis and principal component analysis were performed to characterize the spatial variations of basin water quality, as well as identifying the main parameters explains the difference between the monitoring sites. Thirty monitoring sites were grouped into 11 groups according to the water quality similarity, being justified mainly by similar anthropogenic pressures. Two principal components were found and it explained 53% of spatial variation water quality. The main parameters were associated to natural factors and anthropogenic pressures such as dilution of domestic sewage, industrial effluents, agricultural and mining activities.

<sup>1</sup> UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627. Escola de Engenharia. DESA Tel.: (31) 3409-3645. Fax: (31) 3409-1879; e-mail: silvia@desa.ufmg.br

## 1 - INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são complexos sistemas de drenagem e a qualidade das águas dos corpos d'água que as formam é resultado da variação de processos naturais (precipitação, erosão, geologia) e de atividades antrópicas (urbanização, atividades industriais, agropecuárias, minerárias, diluição de efluentes), que contribuem com aportes de vazão e de cargas de poluentes (Mendiguchía *et al.* (2004)).

Neste contexto, o monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais são de extrema importância para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Segundo a ANA (2014), um monitoramento básico deve ser realizado em pontos estratégicos de uma bacia hidrográfica para acompanhamento da evolução da qualidade das águas, identificação de tendências e apoio à elaboração de diagnósticos. O monitoramento permite ainda conhecer a atual situação dos recursos hídricos e as principais alterações ocorridas com o tempo, subsidiando a fiscalização, o licenciamento ambiental e a formulação de políticas ambientais (Finotti *et al.* (2009); Strobl e Robillard (2008)).

O banco de dados gerado pelo monitoramento da qualidade das águas é extenso e complexo, pois abrange resultados de diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, mensurados em várias estações de amostragem durante anos. Dessa maneira, há certa dificuldade em extrair informações úteis, e, caso não se efetue uma adequada avaliação e tratamento desse conjunto de dados, informações importantes podem ser omitidas (Sanders *et al.* (1983)).

Devido à alta complexidade do sistema, estes dados necessitam de técnicas que considerem em uma mesma análise as diversas interações existentes no conjunto de dados. Por essa característica, destacam-se os métodos estatísticos multivariados que são aplicados com diferentes finalidades, tais como a redução dos dados ou simplificação estrutural, classificação e agrupamento de observações, investigação da dependência entre variáveis, predição, elaboração de hipóteses e testes das mesmas (Johnson e Wichern, (2007)). Esses métodos têm sido aplicados a matrizes de dados de monitoramento de qualidade da água em todo o mundo com resultados satisfatórios: Brasil (Nonato *et al.* (2007)), Estados Unidos (Gamble e Babbar-Sebens (2012)), Portugal (Vieira *et al.* (2012)), Espanha (Helena *et al.* (2010)), Turquia (Iscen *et al.* (2009)), Índia (Singh *et al.* (2005)), China (Bu *et al.* (2010)), dentre outros países.

Neste estudo, a Análise de Cluster e a Análise de Componentes Principais foram aplicadas para analisar o banco de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais, que abrange 359 coletas nas 30 estações de monitoramento, no período de 2008 a 2013, visando caracterizar a variação espacial da qualidade das águas da Bacia e identificar os principais parâmetros responsáveis pela diferença entre as estações de monitoramento.

## **2 – METODOLOGIA**

### **2.1 – Bacia do Rio Paraopeba**

A bacia do rio Paraopeba é uma sub-bacia do rio São Francisco, localizada na região central do estado de Minas Gerais, abrangendo uma área de 12.054 Km<sup>2</sup>, com 48 municípios e uma população total de 930.560 habitantes. O rio principal tem 510 km de extensão, nascendo no extremo sul da Serra do Espinhaço, município de Cristiano Ottoni e desaguando na represa de Três Marias, município de Felixlândia.

Dentre as principais atividades desenvolvidas na bacia, destacam-se as atividades siderúrgicas, metalúrgicas, têxteis, alimentícias e químicas. A exploração de minério de ferro e manganês ocorre principalmente na região do Quadrilátero Ferrífero, área de grande relevância para a economia nacional. Minas Gerais contribui com 67% do minério de ferro produzido no país, que é considerado o terceiro maior produtor mundial deste insumo. Além disso, a bacia abriga parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), zona de alta densidade demográfica, que contribui para a deterioração da qualidade das águas superficiais. A extração de areia e argila, pecuária extensiva e monoculturas de eucaliptos ocorrem em áreas localizadas no baixo curso da bacia. Quanto aos usos da água, a Bacia é caracterizada principalmente por abastecimento doméstico e industrial, irrigação, mineração, dessedentação de animais, pesca e piscicultura (IGAM (2013)).

A avaliação da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Paraopeba é de grande relevância, pois poucos trabalhos têm sido desenvolvidos nesse sentido para a Bacia, sendo uma das que apresentam os piores Índices de Qualidade da Água (IQA) e Estado Trófico (IET) no estado de Minas Gerais (IGAM (2013)). Trindade (2013) corrobora essa afirmação e destacou ainda que a qualidade da água da bacia do rio Paraopeba é afetada principalmente por contaminação orgânica, atividades minerárias e agropecuárias.

### **2.2 – Dados do Monitoramento da Qualidade da Água**

O monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais tem sido administrado pelo Instituto de Mineiro Gestão de Recursos Hídricos (IGAM) desde o ano de 1997, por meio do projeto “Águas de Minas”. Atualmente, a rede de monitoramento na bacia do rio Paraopeba conta com 33 estações de amostragem da rede básica, com dados coletados entre os anos de 1997 a 2013. Foram amostrados ao total, 45 parâmetros físico-químicos e microbiológicos, com frequência de amostragem variando de semestral a trimestral.

Para a definição do banco de dados utilizado na análise multivariada, adotou-se o período de 2008 a 2013 (período com maior número de estações de monitoramento ativas). Para a seleção dos parâmetros avaliados, adotou-se ainda, como critério de exclusão: os parâmetros que apresentaram mais de 10% de dados faltantes ou mais de 90% de dados censurados (dados cuja concentração se

encontra abaixo ou acima do limite de detecção do método analítico de mensuração), pois nesta situação estes não são capazes de fornecer tendências confiáveis da qualidade da água (Trindade (2013)); e a elevada correlação ( $R \geq 0,999$ ), segundo o teste de correlação de Spearman ( $\alpha = 0,05$ ).

De maneira a considerar um maior número de parâmetros, optou-se por analisar os resultados obtidos por uma frequência de amostragem semestral. Portanto, o banco de dados analisado neste trabalho abrangeu 359 coletas, com medição de 35 parâmetros (Tabela 1) em 30 estações de monitoramento entre os anos de 2008 a 2013, resultando em 12.547 observações válidas. A Figura 1 apresenta a distribuição geográfica das estações de monitoramento consideradas.

**Tabela 1** - Nome, notação de referência e unidade dos parâmetros estudados, presentes no banco de dados disponibilizados pelo IGAM.

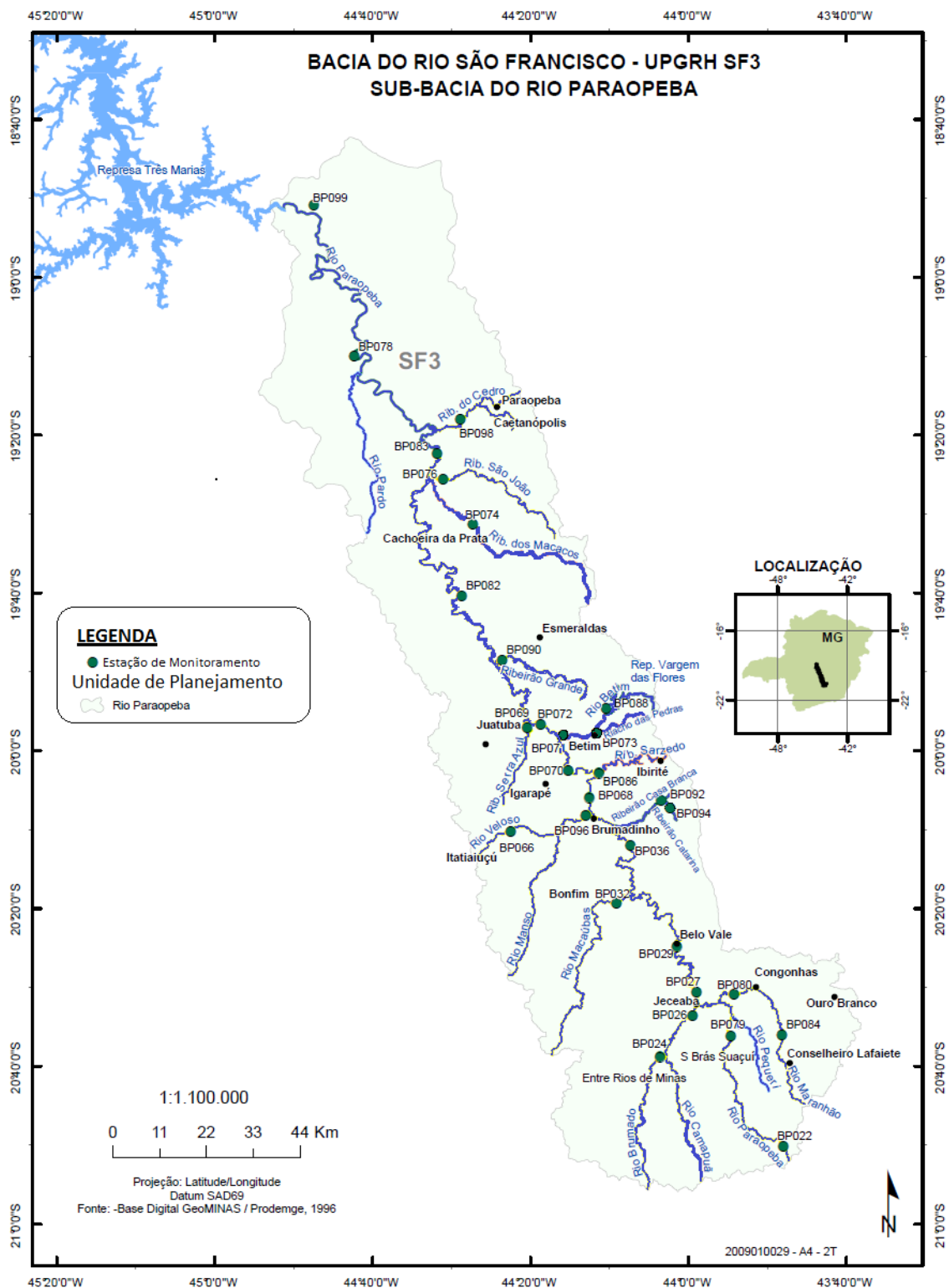
Parâmetro	Notação de referência	Unidade	Parâmetro	Notação de referência	Unidade
Alcalinidade total	Alc <sub>T</sub>	mg/CaCO <sub>3</sub>	Manganês total	Mn <sub>T</sub>	mg/l Mn
Alumínio dissolvido	Al <sub>diss</sub>	mg/l Al	Níquel total	Ni <sub>T</sub>	mg/l Ni
Arsênio total	As <sub>T</sub>	mg/l As	Nitrato	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l N
Bário total	Ba <sub>T</sub>	mg/l Ba	Nitrogênio amoniacal total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>T</sub>	mg/l N
Cálcio total	Ca <sub>T</sub>	mg/l Ca	Nitrogênio orgânico	N - org	mg/l N
Chumbo total	Pb <sub>T</sub>	mg/l Pb	Oxigênio dissolvido	OD	mg/l O <sub>2</sub>
Cloreto total	Cl <sup>-</sup>	mg/l Cl	pH in loco	pH	
Clorofila a	Cl-a	µg/l	Potássio dissolvido	K <sub>diss</sub>	mg/l K
Coliformes termotolerantes	Col.term.	NPM/100 ml	Sódio dissolvido	Na <sub>diss</sub>	mg/l Na
Condutividade elétrica in loco	CE	µmho/cm	Sólidos em suspensão totais	SST	mg/l
Cor verdadeira	Cor	mg/l Pt ou UPt	Sólidos dissolvidos totais	SDT	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	mg/l O <sub>2</sub>	Sólidos totais	ST	mg/l
Demanda Química de Oxigênio	DQO	mg/l O <sub>2</sub>	Substâncias tensoativas	MBAS	mg/l LA
Dureza total	Dur. <sub>T</sub>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Sulfato total	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> <sub>T</sub>	mg/l SO <sub>4</sub>
Fenóis totais	Fen <sub>T</sub>	mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Temperatura da água	T <sub>H2O</sub>	°C
Ferro dissolvido	Fe <sub>diss</sub>	mg/l Fe	Turbidez	Turb.	UNT
Fósforo total	P <sub>T</sub>	mg/l P	Zinco total	Zn <sub>T</sub>	mg/l Zn
Magnésio total	Mg <sub>T</sub>	mg/l Mg			

## 2.2 – Análise Multivariada

Dois métodos multivariados, Análise de Cluster (AC) e Análise de Componentes Principais (ACP) foram aplicados aos dados do monitoramento de qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba. Antes da aplicação dessas técnicas, os dados brutos foram padronizados de modo a torná-los adimensionais e evitar interferências devido as diferentes dimensões dos parâmetros analisados.

A AC teve como objetivo agrupar as estações de monitoramento em função da similaridade da qualidade da água para verificar a variação espacial desta na bacia do rio Paraopeba. Esta técnica agrupa as observações em grupos (clusters) de modo que o resultado demonstre uma alta homogeneidade dentro do grupo, e uma alta heterogeneidade entre os grupos (Lattin *et al.* (2011)). Os resultados do método podem ser indicados em um gráfico bidimensional denominado dendograma, que ilustra as sucessivas fusões das observações do banco de dados (Shrestha e Kazama (2007)). A AC foi realizada com o método aglomerativo de distância euclidiana e ligação completa para agrupamento das

30 estações de monitoramento considerando os 35 parâmetros físico-químicos e microbiológicos de frequência semestral.



**Figura 1** – Bacia hidrográfica do rio Paraopeba com indicação das 30 estações de monitoramento em funcionamento entre 2008 e 2013. Fonte: Adaptado do Relatório anual da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, 2010 (IGAM (2010))

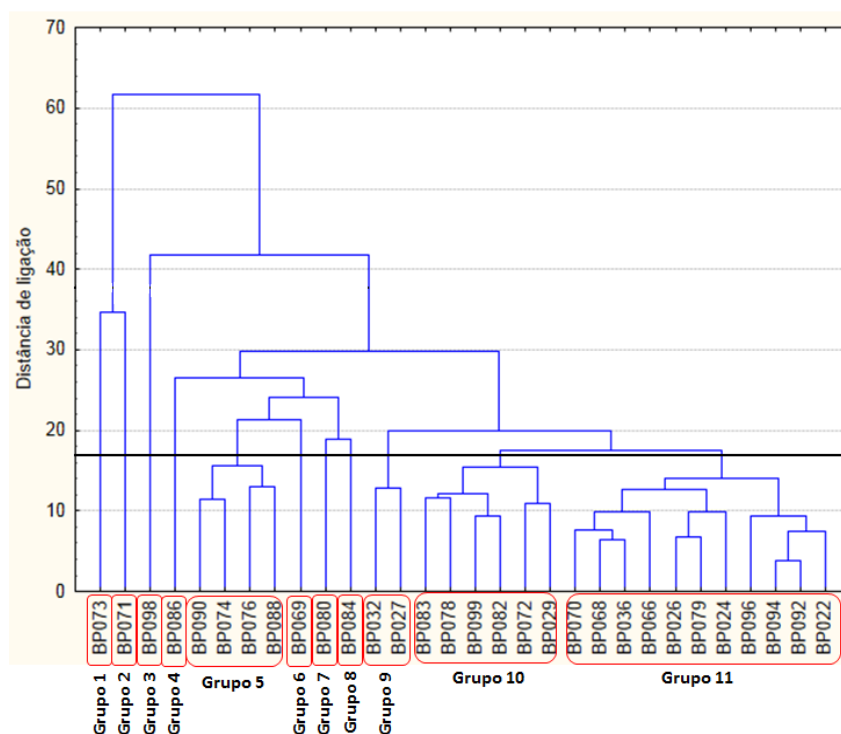
A ACP permite explicar a estrutura de variância e covariância entre diferentes variáveis, através de combinações lineares entre elas, reduzindo a dimensão dos dados, o que facilita a visualização destes e sua análise (Mingoti (2005)). A matriz de correlação entre os Componentes Principais (CP) e as

variáveis originais, conhecidas como cargas dos CP auxilia na interpretação dos principais parâmetros responsáveis por explicar grande parte da variação total dos dados (Huang *et al.* (2010); Iscen *et al.* (2009); Lattin *et al.* (2011); Ouyang (2005)). Considerou-se cargas moderadas as cargas entre 0,5 e 0,75 e cargas fortes como maiores que 0,75, sendo esses valores em módulo.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 – Análise de Cluster

O dendograma resultante da AC é ilustrado na Figura 2, e apresentou a formação de onze grupos. A distância Euclidiana indica o nível de similaridade dos agrupamentos formados, ou seja, quanto menor a distância, maior a similaridade entre os grupos. Neste estudo, adotou-se a distância de ligação de 16,8. Os grupos 1, 2, 3, 4, 6, 7 e 8, formados isoladamente pelas estações BP073, BP071, BP098, BP086, BP069, BP080 e BP084, respectivamente, representam os corpos de água que obtiveram as maiores frequências de “Muito Ruim” e “Ruim” na comparação dos valores do Índice de Qualidade da Água (IQA) entre as estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba no período de 1997 a 2012 (IGAM, 2013). Destaca-se ainda a similaridade entre os grupos 1 (BP073) e 2 (BP071), que se localizam próxima a cidade de Betim, área com alta densidade populacional e alto nível de industrialização. A proximidade geográfica das estações de monitoramento BP076 e BP074 justifica o seu agrupamento no grupo 5, e a qualidade da água se assemelha às das estações BP090 e BP088, o que foi identificado por IGAM (2013) por meio do cálculo do IQA.



**Figura 2** - Dendograma da Análise Cluster para agrupamento das estações de monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, para o período de 2008 a 2013: 30 estações e 35 parâmetros.

Os grupos 7 (BP080) e 8 (BP084) se encontram ambos no rio Maranhão. Ambas sofrem ações antrópicas advindas do esgotamento sanitário dos municípios de Congonhas e Conselheiro Lafaiete, respectivamente. Contudo, as estações também sofrem pressões antrópicas diferentes entre si. A estação de monitoramento BP080 recebe pressão da extração e beneficiamento do minério de Ferro e a BP084 têm seus principais usos da água para dessedentação animal, irrigação e atividades agroindustriais.

O agrupamento das estações BP032 e BP027 também vai ao encontro dos resultados do IQA calculados por IGAM (2013), ambas apresentando IQA médio. Esses resultados são preocupantes, pois o uso das águas nessas estações é principalmente destinado ao abastecimento público, e a qualidade da água é afetada por lançamento de esgoto sanitário do município de Bonfim, agricultura, pecuária, erosão e assoreamento.

O grupo 10 é constituído das estações de monitoramento localizadas na calha do rio Paraopeba (BP083, BP078, BP099, BP082, BP072 e BP029). As quatro primeiras estações possuem maior similaridade em qualidade da água, pois se encontram em áreas em que as águas do rio Paraopeba possui um IQA “bom” segundo IGAM (2013). Esse comportamento encontrado também pode ser justificado pela capacidade de dissolução de poluentes do curso principal, o que dificulta a identificação de grandes diferenças quando se trata de avaliar concentrações de poluentes. Desse modo, a comparação entre carga de poluentes seria mais adequada, entretanto, a ausência de dados pluviométricos impede esta avaliação.

O último agrupamento (grupo 11), constituído pelas estações de monitoramento BP022, BP079, BP036, BP068 e BP070, BP024, BP026, BP66, BP092, BP094 e BP096 é justificado pela localização geográfica destas no alto e médio curso da bacia, cuja qualidade da água é caracterizada por influências antrópicas tais como mineração e lançamento de esgotos doméstico.

### 3.2 – Análise de Componentes Principais

Ao extrair os Componentes Principais (CP), apenas sete CP apresentaram autovalores maiores que o valor um (1,0) (Tabela 2), e explicam 74% da variância total encontrada na qualidade das águas da Bacia.

**Tabela 2** – Resultado da ACP, com as cargas obtidas para cada Componente Principal para a bacia do rio Paraopeba.

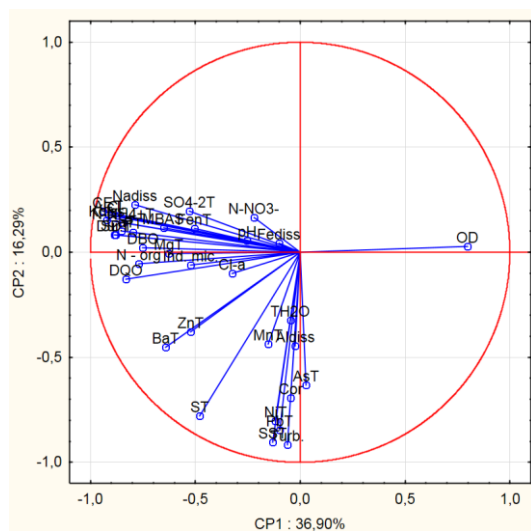
	Componentes Principais						
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
Autovalores	12,92	5,70	2,01	1,56	1,42	1,23	1,08
% de variância explicada	36,90	16,29	5,75	4,44	4,06	3,52	3,09
% cumulativa de variância	36,90	53,20	58,94	63,39	67,44	70,97	74,05

Contudo, apenas os dois primeiros CP apresentaram cargas fortes ( $> 0,75$  em módulo), explicando 53% da variância total dos dados. O CP1 explica 36,9% da variância total dos dados analisados, apresentando contribuição negativa de todas as variáveis, exceto o OD, com contribuição

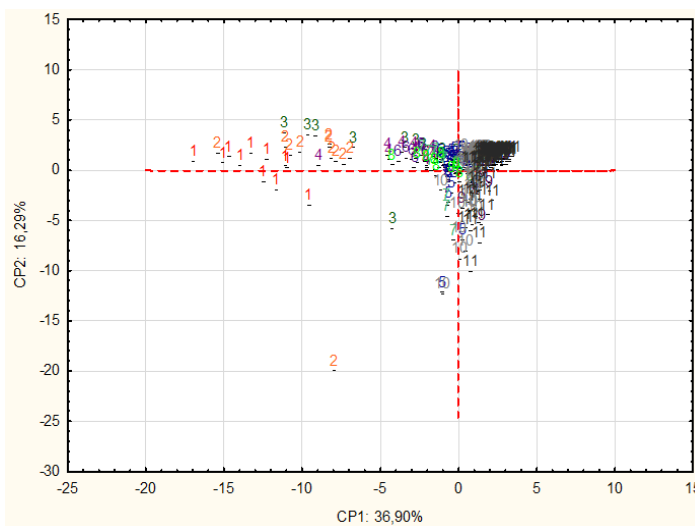
positiva. O CP1 contém variáveis de cargas fortes e moderadas ligadas a íons que podem ser de ocorrência natural ( $Alc_T$ ,  $Ca_T$ ,  $CE$ ,  $Dur_T$ , e  $SDT$ ), ligados ao aporte de matéria orgânica ( $DBO$ ,  $DQO$ ,  $P_T$ ,  $N-NH_4^+_T$ ,  $N-org$  e  $Col.Term.$ ), a poluição por carga difusa ( $P_T$  e  $K_{diss}$ ) e ainda substâncias de possível proveniência industrial ( $P_T$ ,  $Na_{diss}$ ,  $Ba_T$ ,  $Fen_T$ ,  $MBAS$  e  $Zn_T$ ).

O CP2 apresentou cargas fortes apenas em variáveis ligadas a efluentes industriais ou minerárias ( $Pb_T$ ,  $Ni_T$ , e  $As_T$ ), substâncias de possível ocorrência natural ( $As_T$ ) (BORBA (2000)) e a sólidos presentes nos corpos d'água ( $Cor$ ,  $SST$ ,  $ST$  e  $Turb$ ), com cargas fortes e moderadas negativas. Com tantas possíveis associações, não foi prudente a rotulação dos CP a apenas um tipo de fonte de poluição.

Esses resultados podem ser visualizados no gráfico das cargas dos dois primeiros CPs, ilustrado na Figura 3. Quanto menor o ângulo entre o vetor de peso e o eixo do CP, maior é a importância do parâmetro correspondente (Nonato *et al.* (2007)). Para validação dos grupos formados pela AC, foi gerado o Diagrama de Scores dos CPs 1 e 2 (Figura 4), visando identificar os grupos que mais se relacionam com os componentes principais encontrados.



**Figura 3** – Gráfico das cargas dos dois primeiros CPs (CP1 x CP2).



**Figura 4** – Diagrama de Scores por agrupamento (CP1 x CP2).

É possível observar que os grupos 1 (BP073), 2 (BP071) e 3 (BP098) se aproximam e apresentam valores significativamente elevados e negativos, em relação ao eixo do CP1, com scores mais reduzidos dos grupos 4, 6 e 8, o que confirma que estas estações representam as áreas de pior qualidade da água. O grande destaque aos grupos 1 e 2 está associado à grande densidade populacional e industrial da região do município de Betim (IGAM, 2010; FEAM, 2011; ANA, 2012), ressaltando-os no CP1, em relação aos outros grupos. Quanto ao grupo 3, este se encontra impactado a efluentes domésticos e poluição difusa. Além disso, pode-se concluir que os grupos 1, 2, 3, 4, 6, 7 e 8 gerados pela AC sofrem pressões antrópicas relacionadas ao aporte de matéria orgânica de origem doméstica, industrial e carga difusa, associadas ao CP1.



Os grupos 9, 10 e 11, são os que apresentam os maiores scores negativos com relação ao eixo do CP2, seguido do Grupo 5, podendo-se associá-los a processos erosivos e atividades minerárias. Os demais dados, se aproximam da intersecção dos eixos, ponto (0,0), possivelmente por ter menos interferências dos parâmetros mais relevantes dos CPs 1 e 2.

### 3 – CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram a formação de 11 agrupamentos para as 30 estações de monitoramento avaliadas, sendo justificados principalmente por pressões antrópicas similares. Destacase as estações BP073, BP071 e BP098 como as estações que apresentaram a pior qualidade da água na bacia com base nos parâmetros analisados, sendo as duas primeiras localizadas na região de Betim, área com alta densidade populacional e alto nível de industrialização e a última localizada a jusante do município de Caetanópolis, sendo impactada por efluentes domésticos e poluição difusa.

Foram encontrados dois componentes principais que explicam 53% da variação espacial da qualidade da água. Os principais parâmetros responsáveis pela diferença entre as estações de monitoramento estão relacionados ao aporte de matéria orgânica, poluição por carga difusa, efluentes industriais e atividades minerárias.

A qualidade das águas superficiais das estações de monitoramento localizadas no alto curso da Bacia apresentam influências de atividades minerárias e de efluentes domésticos, enquanto que as demais áreas da bacia apresentaram, além de efluentes domésticos, influências de atividades como a agricultura, pecuária, erosão e assoreamento. Os resultados obtidos considerando o monitoramento semestral foram bastante coerentes com a realidade observada na região de estudo, podendo contribuir para ações de melhorias nas áreas críticas identificadas neste estudo.

**AGRADECIMENTOS** - Agradecimentos ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e, principalmente, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo constante apoio.

### BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. (2012). *“Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil 2012”*. Brasília: ANA. 265 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. (2014). *O que significa monitorar a qualidade das águas?* Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede\\_monitoramento.aspx](http://pnqa.ana.gov.br/rede/rede_monitoramento.aspx)> Acesso em: 27/05/2014.

BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; RAWLINS, B.; MATSCHULLAT, J.(2000). *“Arsenic in water and sediment in the iron quadrangle, state of Minas Gerais, Brazil”*. Revista Brasileira de Geociências, v. 3, n. 30, p. 558-561.

BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. (2010). *“Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China”*. Ecotox. and Environm. Safety, v. 73, p. 907-913.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE-FEAM. (2011) *“Plano para incremento do percentual de tratamento de esgotos sanitários na bacia hidrográfica do rio Paraopeba”*. Belo Horizonte,303p.

- FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SILVA, M. D'A.; CEMIN, G. (2009). “*Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas*”. Caxias do Sul, RS: Educs. 272 p.
- GAMBLE, A.; BABBAR-SEBENS, M. (2012) “*On the use of multivariate statistical methods for combining in-stream monitoring data and spatial analysis to characterize water quality conditions in the White River basin, Indiana, USA*”. *Environ Monit Assess.* n. 184, v.2, p. 845-875
- HELENA, B.; PARDO, R.; VEJA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M. e FERNANDES, LUIS. (2000). “*Temporal Evolution of Groundwater Composition in an Alluvial Aquifer (Pisuerga River, Spain) by Principal Component Analysis*”. *Water Research*, v. 34, n. 3, p. 807-816.
- HUANG, F.; WANG, X.; LOU, L.; ZHOU, Z.; WU, J. (2010). “*Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques*”. *Water Research*, v. 44, p. 1562-1572.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS-IGAM. (2010) “*Monitoramento da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do rio Paraopeba em 2009*”. Belo Horizonte, 305 p.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS-IGAM. (2013). “*Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio Paraopeba*”. Belo Horizonte. 41p.
- İSCEN, C. F.; ALTIN, A.; SENOGLU, B.; YAVUZ, H. S. (2009). “*Evaluation of surface water quality characteristics by using multivariate statistical techniques*”: A case study of the Euphrates river basin, Turkey. *Environ Monit Assess*, v. 151, p. 259-264.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. (2007). “*Applied Multivariate Statistical Analysis*”. Pearson, 6ªed.
- LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. (2011) “*Análise de Dados Multivariados*”. São Paulo: Cengage Learning, 455 p.
- MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M.D.; GARCÍA-VARGAS, M. (2004) “*Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain)*”. *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, v.515, p.143-9.
- MINGOTI, S. A. (2005). “*Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*”. Belo Horizonte: Editora UFMG. 297p.
- NONATO, E. A.; VIOLA, Z. G. G.; ALMEIDA, K. C. B.; SCHOR, H. H. R. (2007) “*Tratamento Estatístico dos Parâmetros da Qualidade das Águas da Bacia do Alto Curso do Rio das Velhas*”. *Química Nova*, v. 30, n. 4, p. 797-804.
- OUYANG, Y. (2005) “*Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis*”. *Water Research*, v. 39, p. 2621-2635.
- SANDERS, T. G.; WARD, R. C.; LOFTIS, J. C.; STEELE, T. D.; ADRIAN, D. D.; YEVJEVICH, V. (1983). “*Design of Networks for Monitoring Water Quality*”. *Water Resources Publications*, 328 p.
- SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. (2007). “*Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan*”. *Environmental Modelling and Software*, v. 22, p. 464-475.
- SINGH, K. P.; MALIK, A.; SINHA, S. (2005) “*Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques - a case study*”. *Analytica Chimica Acta*, v. 538, p. 355-374.
- STROBL, R.O.; ROBILLARD, P.D. (2008) “*Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: a review*”. *Journal of Environmental Management*, v. 87, n. 4, p. 639-648.
- TRINDADE, A. L. C. (2013) “*Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio São Francisco*”. UFMG, (Dissertação de mestrado).
- VIEIRA, J. S.; PIRES, J. C. M.; MARTINS, F. G.; VILAR, V. J. P.; BOAVENTURA, R. A. R.; BOTELHO, C. M. S. (2012) “*Surface Water Quality Assessment of Lis River Using Multivariate Statistical Methods*”. *Water Air Soil Pollut*, v. 223, p. 5549-5561.