

Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce

Influence of environmental and anthropogenic factors in surface water in Matipó river, Doce river tributary

Submetido em: 09/09/16

Revisado em: 13/12/16

Aprovado em: 26/12/16

**Deyse Almeida dos Reis
Aníbal da Fonseca Santiago
Laura Pereira do Nascimento
Edilson Gonçalves de Oliveira
Lilian de Souza Marques
Hubert Mathias Peter Roeser**

RESUMO

O presente estudo foi realizado numa bacia hidrográfica do rio Matipó, um afluente do rio Doce, em Minas Gerais – Brasil. O principal objetivo foi avaliar a influência das atividades humanas e das características naturais na qualidade das águas superficiais. Para tal, foram realizadas amostragens de água em 25 estações de coleta situadas ao longo do curso do manancial, em duas etapas, uma realizada durante o período chuvoso e a outra durante o período de estiagem. Para a compreensão e discussão dos dados obtidos foi aplicada a Análise das Componentes Principais (PCA). Foram mensuradas 15 variáveis de águas superficiais reduzidas em 5 componentes principais, sendo que juntas explicaram 72,15% da variância dos dados. A análise do gráfico dos escores, permitiu identificar 5 grupos formados por pontos onde a interferência antrópica foi mais perceptível. A análise de PCA possibilitou averiguar quais fatores ambientais e antrópicos influenciam na qualidade da água rio utilizado como estudo de caso. Os impactos ambientais verificados na bacia hidrográfica, como o desmatamento, erosão, lançamento de esgoto doméstico e uso de fertilizantes de forma inadequada, foram os principais fatores que interferiram na qualidade da água.

Palavras-chave: Análise multivariada; Qualidade das águas; Uso e ocupação do solo; Rio Doce; Rio Matipó.

ABSTRACT

This study was carried out at a Matipó river basin, a tributary of the Doce river, in Minas Gerais – Brazil. The aim of this study was to evaluate the influence of anthropogenic activities and the natural characteristics of its surface water quality. Water samples of 25 stations located along the spring course were collected in two stages, one during the rainy season and the other in the dry season. To understand and discuss data, the Principal Component Analysis (PCA) was applied. Fifteen surface water variables reduced by five principal components, which altogether explained 72.15% of the data variance, were measured. By analysing the graphic, five groups, formed by points where the anthropogenic interference was more noticeable, were identified. PCA enabled to assess whether the environmental and anthropogenic factors influence the water quality. The environmental impacts observed in the watershed as deforestation, erosion and sewage release were the main factors which interfered in the quality of the water.

Keywords: Multivariate analysis; Water quality; Land occupation and land use; Doce river; Matipó river.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Doce possui relevante importância histórica, social e econômica para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O processo de ocupação territorial, o uso dos recursos hídricos sem planejamento, a aplicação de técnicas de agricultura inapropriadas, a industrialização sem uma gestão ambiental adequada e o aumento da população re-

sultaram em uma queda da qualidade e quantidade de água do rio Doce e seus tributários.

Dentre seus afluentes destaca-se o rio Matipó, localizado em Minas Gerais, na Zona da Mata. Ao longo dessa bacia hidrográfica ocorrem numerosas situações potencialmente geradoras de impacto no ambiente aquático. Entre elas ressaltam a agricultura, a mineração, a pecuária e a urbanização.

A agricultura, ao longo da bacia do rio Matipó, é composta principalmente pelo cultivo de arroz, feijão, cana-de-açúcar, milho e café. Esse último é um dos principais produtos da área, sendo que em 2015 foram plantados 42.571 hectares, o que gerou a produção de 49.519 toneladas de café. No mesmo ano, a produção de cana-de-açúcar foi de 99.111 toneladas (Instituto Brasileiro de Estatística-IBGE, 2015).

A mineração, por sua vez, é representada na região pela extração e beneficiamento da areia, bauxita, gnaissse, granito, quartzito (Serviço Geológico Brasileiro-CPRM, 2012). E quanto à pecuária, ela consiste na criação de gado de corte e leiteiro, sendo registradas, em 2015, 139.442 cabeças (IBGE, 2015).

A urbanização na região ocorreu de forma desordenada e sem planejamento. Dos nove municípios que compõem a bacia hidrográfica, somente um realiza tratamento do esgoto, e mesmo assim apenas 60% do montante gerado. Isso equivale a afirmar, portanto, que 90% desses municípios não fazem nenhum tratamento de suas águas residuárias (Sistema Nacional de Informações- SNIS, 2015).

O uso territorial e ocupação do solo são importantes fatores que podem influenciar as águas de uma determinada bacia hidrográfica. Ressalta-se, ainda, que num manancial, além de fatores antrópicos, ocorrem influências das condições geológicas regionais.

Dante dessa assertiva, muitos estudos, como os de Lee et al. (2010), Calijuri et al. (2012), Guedes et al. (2012), Souza e Gostaldini (2014), utilizaram abordagens multivariadas para analisar a interferência dos processos antropogênicos e naturais na qualidade da água de distintas regiões. Nesses estudos, as técnicas de análise multivariada foram importantes para a obtenção das informações relevantes, auxiliando na compreensão e no entendimento dos mesmos.

Dentre as técnicas de análise exploratória, pode-se citar o método da Análise das Componentes Principais – PCA (*Principal Component Analysis*). Essa ferramenta tem sido utilizada para analisar conjuntos de dados ambientais, que são geralmente complexos, devido ao grande número de variáveis envolvidas e à forte relação existente entre elas (CAMPANHA et al., 2010).

A PCA tem como princípio matemático produzir uma aproximação de dados X, em termos do produto de duas matrizes: T (escores) e P (pesos). Essas duas matrizes T e P geram as componentes principais que for-

mam um novo sistema de coordenadas (BRERETON, 2003). A partir desse novo sistema, obtém-se a máxima variância comum, e as informações dos dados podem ser assimiladas por um número menor de componentes, isto é, reduz-se a dimensão dos dados primários (GONTIJO et al., 2014). Sarbu e Pop (2005) colocam que essas componentes principais correspondem a combinações lineares das variáveis originais.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência das atividades humanas e das características naturais na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Matipó por meio de técnicas de estatística multivariada para a compressão e discussão dos dados obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A região de estudo foi a bacia hidrográfica do rio Matipó, localizada no Brasil, no estado de Minas Gerais, conforme Figura 1. A área total de drenagem da bacia é de 2.559,50 km². O rio Matipó e seus afluentes percorrem nove municípios do estado de Minas Gerais até a confluência com o rio Doce, no município de Raul Soares.

O rio principal, Matipó, possui 158,65 km de extensão. A vazão média de longo período da foz obtida a partir dos dados dos Atlas das Águas foi de 37,63 m³ s⁻¹ (ATLAS, 2007).

Destaca-se que a nascente do rio Matipó localiza-se na Serra do Brigadeiro, importante unidade de conservação, a qual abriga uma relevante biodiversidade da Mata Atlântica, em especial o maior primata das Américas, *Brachyteles hypoxanthus*, o Muriqui-do-norte, ameaçado de extinção (DA SILVA JÚNIOR et al., 2009).

Nesta região ocorrem alguns conflitos devido aos múltiplos usos de suas águas. Um desses impasses diz respeito à relação entre as empresas do setor elétrico e a comunidade afetada. Outro impasse é devido ao fato de as águas da bacia hidrográfica abastecerem uma estação de bombeamento de um mineroduto que leva o minério de ferro de Minas Gerais ao Espírito Santo. Esse mineroduto pertence a Samarco, empresa responsável pela barragem que rompeu em 2015 no município de Mariana. Segundo os dados da empresa, em 2014 foram retiradas do manancial 1.335.193 m³ de água.

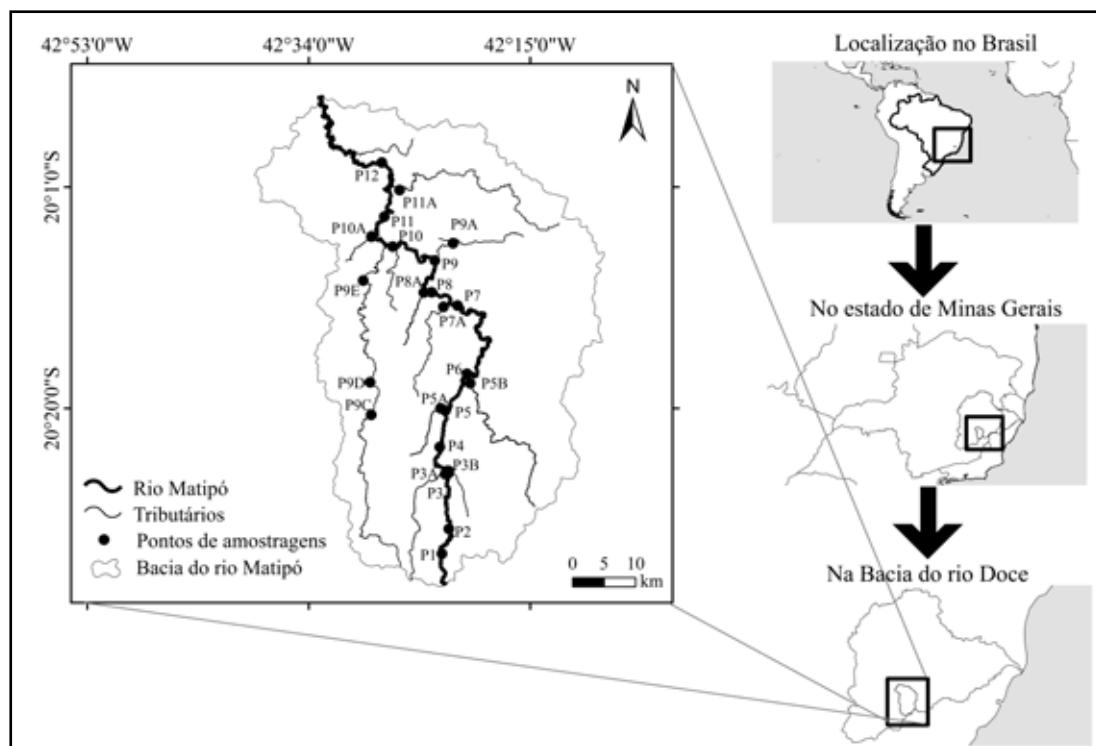


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Matipó e dos pontos de monitoramento

A bacia hidrográfica abriga uma população de 105.655 habitantes e é a principal fonte para o abastecimento de água para o consumo humano e recreação e para dessedentação de animais (IBGE, 2015). Além disso, é fonte para abastecimento industrial, irrigação e geração de energia. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) o potencial hidrelétrico da região, em 2015, foi em torno de 27,8 MW.

Características gerais da bacia hidrográfica do rio Matipó

A bacia hidrográfica do rio Matipó está inserida nas unidades geomorfológicas: Serra da Mantiqueira e Depressão do rio Doce. A geologia local é composta por rochas: charnockito, depósitos de areia, depósitos de cascalho, enderbito, gnaisse, kinzigitto, mármore, metabasalto, metacalcário, metacalcário calcítico, metacalcário dolomito, metagrauvaca, metatonalito, rocha calcissilicática tonalito e xisto (CPRM, 2012). Já o relevo é formado por terrenos planos, ondulados e montanhosos; e as altitudes variam de 249 m a 1789 m.

O tipo de solo predominante na região são latossolos de coloração vermelha e amarela. Destacam-se na região os solos do tipo argissolo vermelho, antes denominados podzólico vermelho-escuro (CPRM, 2012).

A área está localizada em região de clima subtropical úmido, segundo a classificação do Köppen (1931), com verões chuvosos e invernos secos. A região apresenta médias anuais de precipitação entre 1000 a 1500 mm ano⁻¹; e as médias anuais de temperatura variam de 19 °C a 22 °C.

Coletas e análises limnológicas

As amostras foram coletadas no período chuvoso (14 a 17 de março) e na estação de estiagem (12 a 14 de agosto) em 2014; foram vinte e cinco pontos de amostragem ao longo da bacia hidrográfica (Figura 1).

Os pontos de amostragem localizados no rio principal foram numerados de 1 a 12. As estações de amostragem localizadas nos tributários receberam letras alfabéticas além da numeração cardinal. A coleta de amostras nos tributários visou verificar como estes influenciam o rio principal.

Para as análises de turbidez e oxigênio dissolvido foram utilizados equipamentos portáteis da marca DIGIMED, Modelo DM-TU e Modelo DM-4P, respectivamente. As análises de condutividade elétrica, pH, potencial oxirredução e temperatura foram realizadas com auxílio do multiparâmetro portátil da marca Myron L. Company, Modelo Ultrameter II, 6P.

Para a determinação da concentração dos ânions cloreto, nitrato e sulfato, foi utilizado o método de cromatografia iônica por meio do equipamento Dionex ICS-90. As concentrações dos metais cálcio, ferro, manganês, potássio e zinco foram mensuradas pelo método de Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Reflexão Total (TXRF), equipamento BRUKER, S2 Picofox e sua calibração foi realizada pela adição de um padrão interno do metal Gálio. Para a análise da alcalinidade utilizou-se o método titulométrico (2320 B), conforme descrito no *Standard Methods* (APHA, 2012). No Quadro 1 são

Quadro 1: Abreviações e unidades associadas a cada variável estudada

Variáveis	Abreviações	Unidades
Alcalinidade	Alc.	mg L ⁻¹
Cálcio	Ca	mg L ⁻¹
Cloreto	Cl ⁻	mg L ⁻¹
Condutividade Elétrica	CE	µS cm ⁻¹
Ferro	Fe	mg L ⁻¹
Manganês	Mn	mg L ⁻¹
Nitrato	NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹
Oxigênio Dissolvido	OD	mg L ⁻¹
pH	pH	unidade de pH
Potássio	K	mg L ⁻¹
Potencial oxirredução	ORP	mV
Sulfato	SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹
Temperatura	T	° C
Turbidez	Turb.	UNT
Zinco	Zn	mg L ⁻¹

apresentadas as unidades e as abreviações utilizadas para as variáveis estudadas.

Sistema de Informação Geográfica

O mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Matipó foi gerado a partir do recorte do *shape file* do mapa de bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais em escala 1:1.000.000 (CPRM, 2012) e foi utilizado o *software* ArcGIS ® 10.3.

Para a obtenção das coordenadas geográficas das estações amostrais, foi utilizado o *Global Position System* (GPS), modelo GPS II, marca Garmim, sistema de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000, Fuso 23K.

Tratamentos dos dados

Para a análise de dados foi aplicada a técnica estatística de Análise das Componentes Principais. A PCA foi realizada com quinze variáveis (alcalinidade, cálcio, cloreto, condutividade elétrica, ferro, manganês, nitrato, oxigênio dissolvido, pH, potássio, potencial oxirredução, sulfato, temperatura, turbidez e zinco). Os valores mensurados das variáveis são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

As análises estatísticas foram desenvolvidas com o auxílio do *software* R, versão 3.1.3, desenvolvido por *R Foundation for Statistical*. Para os procedimentos de estatística multivariados utilizou-se o pacote *FactoMineR*.

Para realizar a PCA utilizou-se o auto-escalamento como pré-processamento. Outra restrição foi adicionada aos comandos do programa para evitar que duas variáveis compartilhassem informação. Desta forma foi garantido ortogonalidade, componentes não correlacionadas e independência dos dados.

O *software* R® também foi utilizado para obter a tabela de correlação de Pearson entre as variáveis e as componentes principais, conforme a Tabela 3. O coeficiente de correlação varia de 1 a -1, indicando o grau de intensidade e o sentido dessa correlação, positivo ou negativo. Foi adotada a definição de intensidade definida por Liu et al. (2003), da seguinte forma: fraca ($0 < |r| < 0,50$); moderada ($0,50 \leq |r| < 0,75$); e forte ($0,75 \leq |r| \leq 1$).

Ressalta-se que os valores baixos e negativos na tabela não tem esse significado irrelevante. Os valores negativos significam que a componente principal em questão é influenciada negativamente pela variável, e os valores baixos significam que a variável pouco

Tabela 1 - Parâmetros físicos e químicos mensurados no período chuvoso

Pontos de amostragem	Chuvoso														
	Alc.	Ca	Cl ⁻	CE	Fe	Mn	NO ₃ ⁻	OD	pH	K	ORP	SO ₄ ²⁻	T	Turb.	Zn
P1	9,10	1,25	1,07	16,48	0,34	<LQ	0,37	6,40	6,71	0,65	125,00	0,22	23,00	4,87	0,04
P2	9,75	1,82	1,22	20,80	0,41	<LQ	0,72	6,50	6,90	1,24	159,00	0,20	23,50	9,42	0,02
P3	14,30	2,85	0,92	24,74	1,75	0,05	0,78	6,50	6,50	1,31	122,00	0,26	23,40	18,63	0,03
P3A	9,75	1,50	2,15	36,59	0,47	0,03	0,50	6,50	6,62	2,30	163,00	0,21	22,80	9,91	0,03
P3B	17,55	3,42	3,86	46,56	0,44	0,03	1,97	6,50	6,85	2,35	124,00	0,60	23,70	10,84	0,02
P4	9,75	3,49	3,48	56,63	1,55	0,02	2,99	6,40	6,50	3,82	172,00	0,36	24,20	17,19	0,05
P5	9,10	3,36	4,17	33,64	0,27	0,01	1,38	6,80	6,61	8,32	157,00	0,96	24,50	52,30	0,04
P5A	18,20	3,61	3,70	41,54	0,68	0,06	1,81	6,00	6,60	3,08	141,00	0,23	23,20	16,00	0,05
P5B	13,65	3,24	4,28	42,75	1,00	0,01	2,78	6,60	6,79	3,42	146,00	1,42	25,60	111,00	0,04
P6	13,65	2,29	3,79	33,60	1,07	0,03	1,95	5,90	6,50	2,44	157,00	1,29	25,40	82,30	0,02
P7	14,30	4,55	5,70	47,56	0,63	0,01	3,04	6,70	6,71	3,95	152,00	1,17	25,60	102,00	0,19
P7A	15,60	3,43	1,61	32,12	2,98	0,04	2,30	7,40	6,79	1,68	140,00	0,38	25,90	23,60	0,06
P8	13,65	2,71	2,58	50,90	1,11	<LQ	2,45	7,20	6,63	1,92	159,00	0,90	26,60	56,10	0,03
P8A	16,25	3,11	4,02	77,01	0,46	0,04	1,02	8,00	6,33	3,63	138,00	0,47	26,30	13,76	0,04
P9	20,15	3,24	<LQ	43,04	0,60	<LQ	<LQ	7,70	6,99	2,58	167,00	<LQ	27,70	9,09	0,03
P9A	26,00	5,52	2,14	50,33	1,51	<LQ	2,07	7,90	6,89	2,27	141,00	0,40	24,70	11,96	0,05
P9B	57,85	5,77	5,14	96,46	0,48	0,07	0,60	6,70	6,82	4,88	115,00	0,90	27,90	5,26	0,03
P9C	10,40	2,50	2,43	32,84	0,42	<LQ	3,87	7,20	6,40	3,40	180,00	1,49	24,80	908,00	0,17
P9D	14,95	2,65	8,15	51,22	0,69	<LQ	2,00	6,60	6,80	2,45	242,00	0,97	24,70	187,00	0,04
P9E	18,20	3,14	3,49	45,65	0,46	<LQ	4,44	7,70	7,04	3,13	160,00	1,02	28,50	51,00	0,03
P10	20,80	4,32	3,78	54,72	0,53	<LQ	3,82	7,10	6,96	3,25	162,00	1,05	26,30	28,90	0,09
P10A	45,50	8,30	4,86	116,80	1,44	0,03	1,05	5,70	6,78	5,90	180,00	0,23	25,80	15,77	0,03
P11	18,20	2,30	8,90	84,98	1,44	0,04	3,09	6,70	6,44	4,40	166,00	0,88	26,40	27,20	0,03
P11A	20,15	2,75	4,41	56,93	0,44	0,01	1,34	7,20	6,80	2,92	157,00	0,50	29,00	31,50	0,03
P12	18,85	4,13	3,17	46,75	0,69	0,02	2,84	7,80	6,87	1,79	159,00	0,81	30,06	23,10	0,04

<LQ: Limite de quantificação

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos mensurados no período de estiagem

Pontos de amostragem	Alc.	Ca	Cl ⁻	CE	Fe	Mn	NO ₃ ⁻	OD	pH	K	ORP	SO ₄ ²⁻	T	Turb.	Zn	Estiagem	
																Media	Desv. Std.
P1	9,10	1,04	1,79	21,10	0,14	0,01	0,93	6,77	6,64	0,39	116,00	0,32	17,80	7,33	0,02		
P2	10,40	3,23	<LQ	23,32	0,51	0,01	<LQ	7,01	6,72	1,52	198,00	<LQ	18,60	3,84	0,03		
P3	13,00	2,94	1,92	37,02	0,40	0,03	2,48	7,74	6,59	0,91	162,00	0,46	19,70	7,34	0,05		
P3A	7,80	2,90	0,98	18,25	0,37	0,03	1,20	6,82	6,51	1,36	195,00	0,20	17,30	7,32	0,16		
P3B	11,70	2,83	1,95	33,07	0,33	0,02	2,12	7,11	6,73	1,38	165,00	0,28	19,30	5,27	0,06		
P4	7,80	2,93	1,30	26,30	0,51	0,01	1,58	8,29	6,62	1,61	196,00	0,31	18,10	5,66	0,05		
P5	10,40	1,75	1,64	27,11	0,41	0,10	5,36	8,87	6,85	0,38	147,00	0,52	19,50	4,75	0,02		
P5A	20,80	1,71	1,04	30,03	0,53	0,02	0,83	7,71	6,69	0,76	131,00	0,09	19,30	18,54	0,03		
P5B	19,50	2,34	3,16	43,23	0,27	0,03	4,42	9,90	6,89	1,28	138,00	0,61	22,10	9,20	0,01		
P6	20,80	2,53	2,99	43,63	0,63	0,05	3,31	7,23	6,32	0,98	152,00	0,76	19,00	14,68	<LQ		
P7	16,90	3,97	3,27	49,66	0,57	0,01	3,99	9,26	6,81	2,15	112,00	0,75	19,10	5,55	0,08		
P7A	14,30	2,83	1,48	26,90	0,43	0,03	1,02	9,34	7,05	1,48	137,00	0,20	19,80	10,51	0,06		
P8	18,20	3,74	3,72	42,72	0,75	0,03	3,53	9,68	7,04	2,04	123,00	0,81	19,90	5,85	0,11		
P8A	19,50	3,63	0,77	37,36	0,94	0,06	0,48	10,01	6,90	1,85	112,00	0,30	19,40	5,18	0,05		
P9	16,90	2,01	2,39	40,48	0,43	0,02	2,43	9,75	7,07	0,74	170,00	0,72	20,30	7,15	0,03		
P9A	22,10	2,00	1,97	44,41	0,43	0,02	5,41	7,52	7,02	0,75	165,00	0,47	16,70	6,15	0,03		
P9B	49,40	12,21	3,94	96,92	1,52	0,04	2,35	6,71	6,90	5,91	88,00	0,68	16,60	4,71	0,14		
P9C	14,30	2,31	1,94	34,78	1,26	<LQ	3,15	9,17	6,97	<LQ	141,00	0,71	21,40	6,89	<LQ		
P9D	19,50	6,51	2,81	51,22	0,41	0,05	2,45	6,43	6,18	2,04	194,00	1,48	20,60	12,05	0,04		
P9E	9,10	5,40	3,49	68,29	1,33	0,05	4,26	9,36	6,65	2,80	223,00	1,16	20,10	10,48	<LQ		
P10	19,50	5,48	3,81	52,10	0,38	0,02	5,70	8,94	6,98	3,05	198,00	0,93	22,30	3,74	0,04		
P10A	52,00	3,70	3,79	116,80	0,31	0,01	1,06	7,41	7,02	2,36	198,00	0,20	21,70	7,55	0,03		
P11	18,20	5,01	2,74	48,03	0,28	0,05	8,13	9,41	7,01	2,52	211,00	0,76	23,50	5,22	0,07		
P11A	18,20	3,36	1,76	47,79	0,23	0,03	1,20	8,79	6,92	2,26	121,00	0,42	22,00	7,08	0,03		
P12	20,80	13,04	3,30	99,82	0,87	<LQ	4,14	7,27	6,86	6,13	219,00	0,86	22,50	8,24	0,11		

<LQ: Limite de quantificação

Tabela 3 - Correlação das variáveis limnológicas analisadas com as componentes principais (PC) 1, 2, 3, 4 e 5 da PCA.
Valores em destaque foram correlacionados fortemente e moderadamente

Variável	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Alc.	0,60	-0,62	0,07	0,03	-0,07
Ca	0,72	-0,27	0,28	0,38	-0,10
Cl ⁻	0,74	0,17	-0,10	-0,40	0,01
CE	0,83	-0,38	0,08	-0,07	-0,07
Fe	0,29	-0,18	-0,21	0,29	0,46
Mn	0,04	-0,18	0,10	0,23	0,80
NO ₃ ⁻	0,16	0,35	0,77	-0,12	0,26
OD	-0,33	-0,12	0,77	-0,06	0,12
pH	-0,03	-0,42	0,61	-0,30	-0,17
K	0,84	0,01	-0,09	0,07	-0,14
ORP	0,23	0,46	0,21	-0,28	-0,16
SO ₄ ²⁻	0,50	0,63	0,21	-0,10	0,19
T	0,47	0,15	-0,33	-0,48	0,26
Turb.	0,17	0,70	-0,06	0,24	-0,02
Zn	0,28	0,37	0,24	0,68	-0,27
% da variância explicada	24,47	17,38	13,14	9,52	7,64
% acumulada	24,47	41,85	54,99	64,51	72,15

contribui para explicar a variância da componente. Porém, uma variável pode apresentar valores baixos para uma componente principal e alto para outra. No caso de uma variável pouco contribuir para as componentes principais pode indicar que esta variável poderia ser descartada para a avaliação da qualidade ambiental do sistema.

Na Tabela 3 são expostas as cinco componentes principais retidas. Para a determinação do número de componentes retidas foi utilizada o critério de variância. Adotou-se reter as quantidades de componentes que acumularam mais de 70% da variabilidade total dos dados (Lattin; Carroll; Green, 2011). Mesmo percentual foi utilizado em trabalhos como os de Liu et al. (2003) e Calijuri et al. (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) o rio Matipó deve ser enquadrado como Classe 2 (Brasil, 2005).

Ao comparar os dados das análises físicas e químicas, realizadas na área de estudo, com os limites estabelecidos na resolução citada os resultados indicaram uma boa qualidade da água, pois os parâmetros não ultrapassaram os limites regidos pela norma. Com exceção da turbidez que em algumas coletas esteve acima de 100 UNT, ferro e zinco que também ultrapassaram os limites estipulados.

Ao analisar os resultados espacialmente verifique-se um aumento da concentração de algumas variáveis da montante a jusante da bacia hidrográfica. Nas Figuras 2, 3 e 4 são demonstradas algumas variáveis em que as concentrações mensuradas não sinalizaram valores de preocupação ambiental segundo a legislação ambiental. Porém, observa-se que as concentrações foram maiores em pontos que possuem interferência antrópica como lançamento de esgoto doméstico e criação de animais. Cita-se o caso do oxigênio dissolvido, as medidas mensuradas não se apresentaram, em nenhum ponto amostral, valores menores que 5 mg L⁻¹. Isso não significa a inexistência de contaminação por

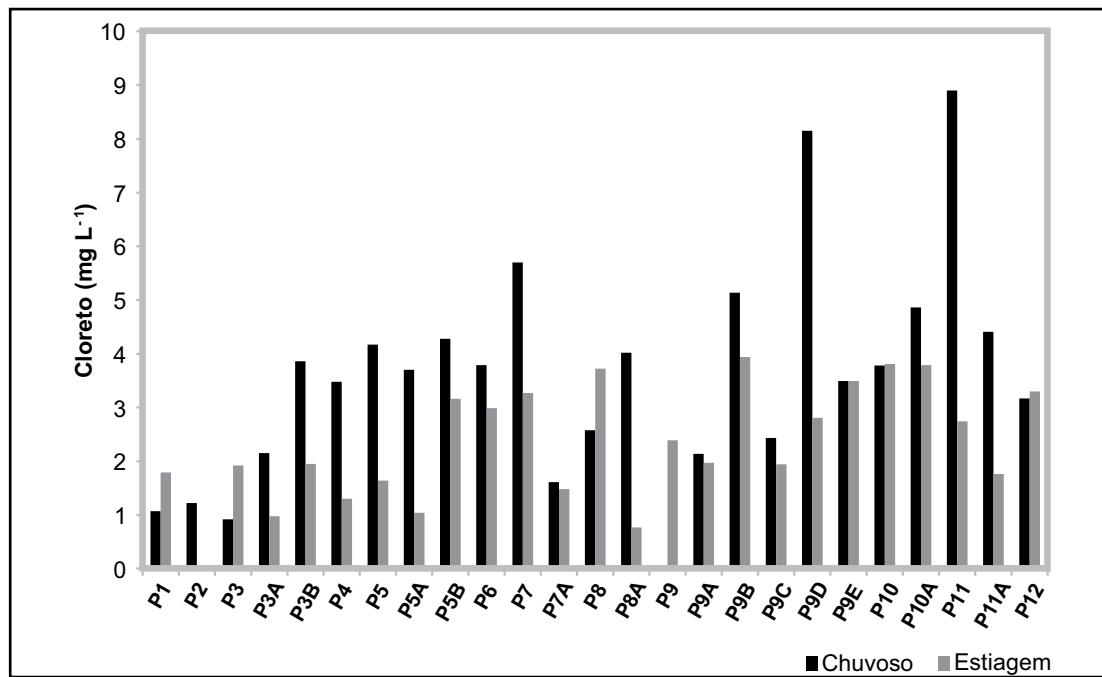


Figura 2 - Concentrações de cloreto

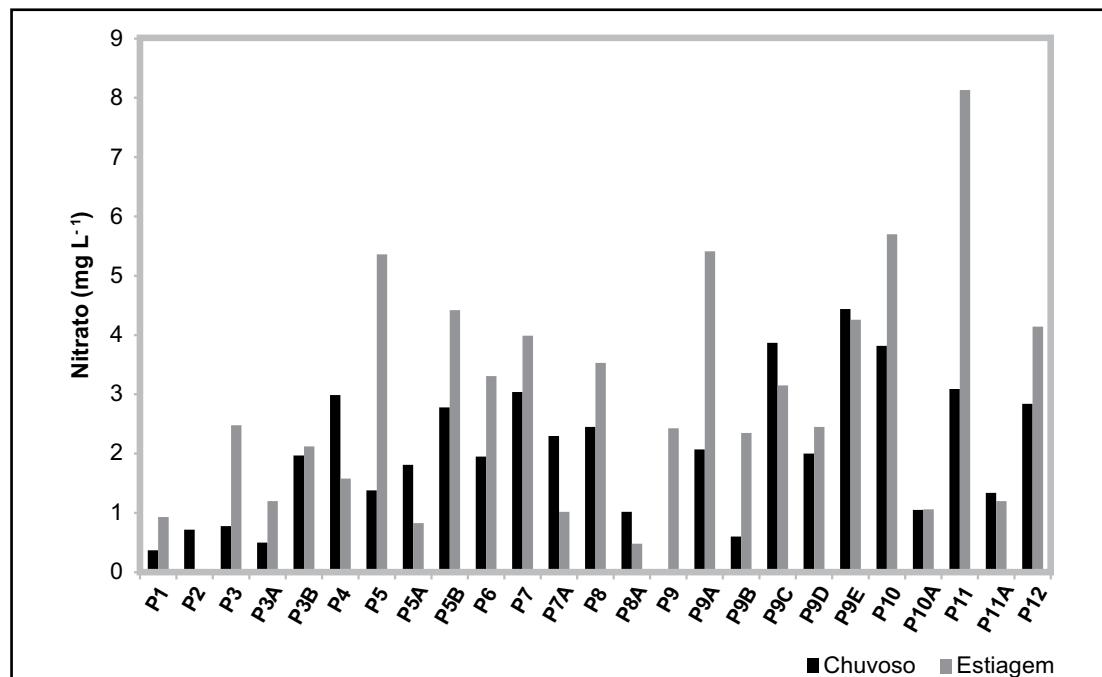


Figura 3 - Concentrações de nitrato

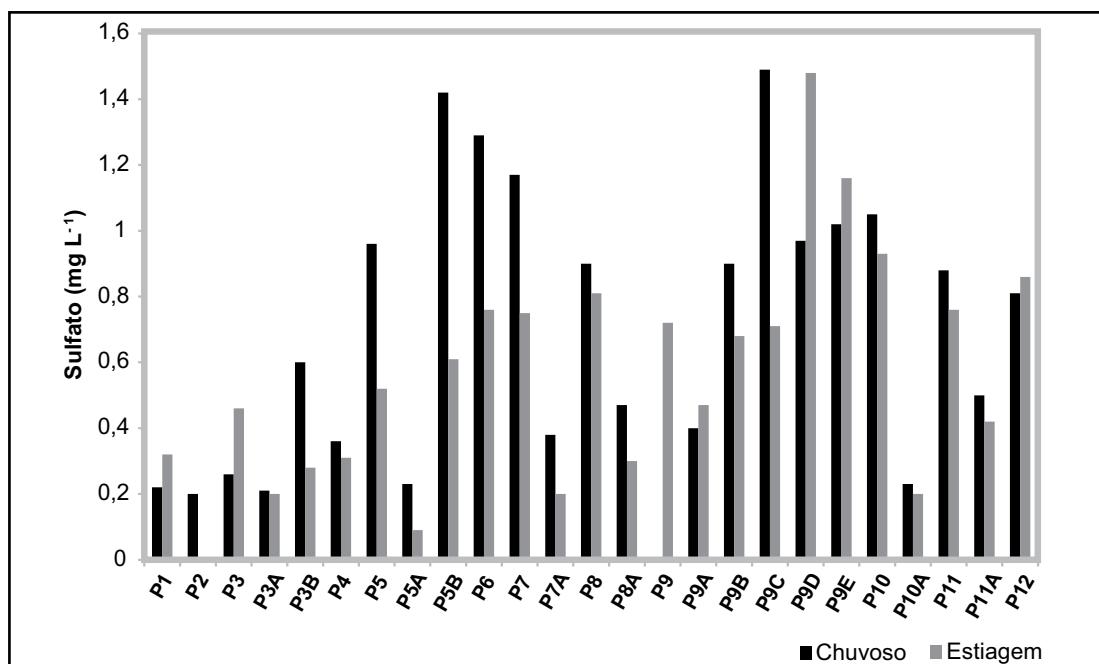


Figura 4 - Concentrações de sulfato

carga orgânica, considerando que apenas município de Santa Margarida da bacia possui tratamento de esgoto (SNIS, 2015); além das fontes difusas como a provenientes da pecuária. Os altos valores de oxigênio dissolvido estão principalmente relacionados a capacidade de autodepuração dos corpos d'água.

Em relação a sazonalidade não houve diferenças significativas entre os períodos para a maioria das variáveis analisadas. Com exceção da turbidez que no período chuvoso apresentou maiores valores (Figura 5).

Em função do número e diversidade de amostras e variáveis foi realizada a análise de componentes principais para auxiliar na interpretação dos resultados na área de estudo.

Em relação à análise dos dois períodos de sazonalidade (chuvisco e estiagem), as cinco componentes principais explicaram 72,15% da variância, sendo as duas primeiras componentes principais responsáveis por 41,85% da variância dos dados, conforme apresentado na Tabela 3.

A primeira componente principal explicou 24,47% da variabilidade dos dados. Condutividade elétrica e potássio influenciaram fortemente. Enquanto o

cálcio e cloreto influenciaram moderadamente essa componente. A condutividade elétrica e os cloreto podem estar relacionados ao escoamento superficial e aos processos erosivos da bacia hidrográfica estudada – os quais propiciam a entrada dos íons dissociados para o corpo hídrico –, como também ao lançamento de esgoto doméstico diretamente no manancial. Tal como nesta pesquisa, Parra et al. (2007) verificaram que o lançamento de esgoto sem tratamento prévio influenciou nas concentrações dessas variáveis no rio Conceição, comprometendo os usos da água

A influência forte do cálcio e potássio na PC1 pode ser explicada pela litologia local. O feldspato, mineral presente em todas as rochas da região de estudo, ao sofrer intemperismo, pode liberar esses elementos para o ambiente aquático. Em estudos realizados por Moura, Boaventura e Pinelli (2010), fatores ambientais também foram atribuídos ao potássio devido ao fato de o solo da região ser constituído de argilominerais, fontes desse metal. Contudo, o cálcio foi conferido às atividades antropogênicas, pois a região não possui rochas fontes desse elemento.

A segunda componente principal explicou 17,38% do total da variância, tendo como variável signifi-

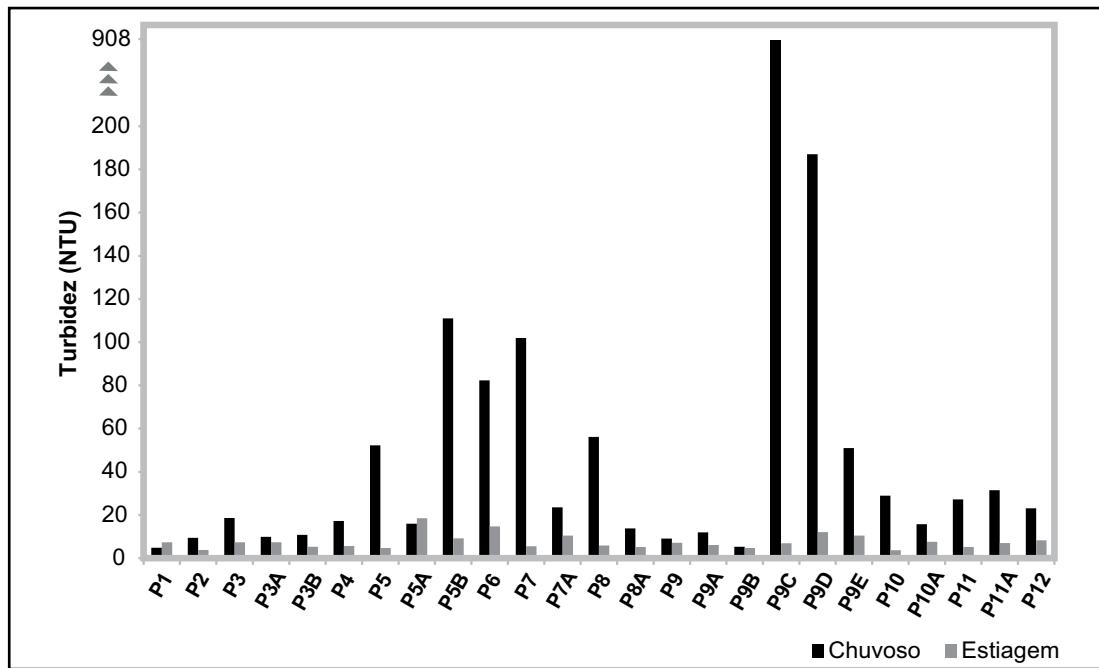


Figura 5 - Análise da turbidez ao longo da bacia hidrográfica

tivamente forte a alcalinidade; e moderadamente o sulfato e a turbidez. A alcalinidade mensurada na área de estudo pode ser devido à presença de hidrogenocarbonatos na água, pois os valores de pH analisados compreenderam entre 6,18 e 7,07. As concentrações de sulfato podem ser atribuídas ao lançamento de esgoto sem tratamento prévio, que provavelmente contém detergentes à base de sulfatos oriundos do uso doméstico (SOUZA e GASTALDINI, 2014). A turbidez pode ser explicada pelas características da bacia hidrográfica, pois a área de estudo apresenta atividades de agricultura e pecuária; as margens da bacia hidrográfica se apresentam instáveis com evidências de erosão, sem mata ciliar. Além disso, o lançamento de esgoto doméstico é também fator que pode elevar a turbidez do corpo d'água. Assim como os resultados desta pesquisa, outros estudos demonstraram que os esgotos domésticos são fontes pontuais de poluição da água, como os de Campanha et al. (2010) e Guedes et al. (2012). Tais estudos colocaram a necessidade de adotar alternativas de destino e tratamento das águas residuárias para melhorar a qualidade da água.

A terceira componente foi atribuída ao nitrato, oxigênio dissolvido e pH. O nitrato e o oxigênio dissolvido influenciaram fortemente e o pH modera-

damente a PC3. Essa componente explicou 13,14% da variância dos dados obtidos. As concentrações de nitrato podem estar relacionadas com a contaminação por esgoto doméstico e pela utilização de fertilizantes nitrogenados utilizados nos cultivos, os quais, por lixiviação, atingem a água superficial. As características das águas com influência das atividades agrícolas também foram questões discutidas por Lee et al. (2010), os quais consideraram esse tipo de atividade como sendo significativa para influenciar a qualidade da água dos corpos hídricos. O oxigênio dissolvido e o pH, que apresentaram uma correlação forte com a PC3, podem ser considerados como uma resposta do ambiente aquático, pois são variáveis sensíveis à poluição e podem ser influenciadas por outros fatores ambientais.

A componente 4 foi responsável por explicar 9,52% da variação dos dados, sendo moderadamente influenciada pelo zinco. Pode-se relacionar essa componente às características geoquímicas da área de estudo, uma vez que a região apresenta rochas fontes de zinco, tais como xistos e metabasalto.

Por sua vez, a componente principal 5 explicou 7,64% da variância. O manganês apresentou o maior coeficiente na composição dessa componente, seguido pelo ferro. Essa componente provavelmente

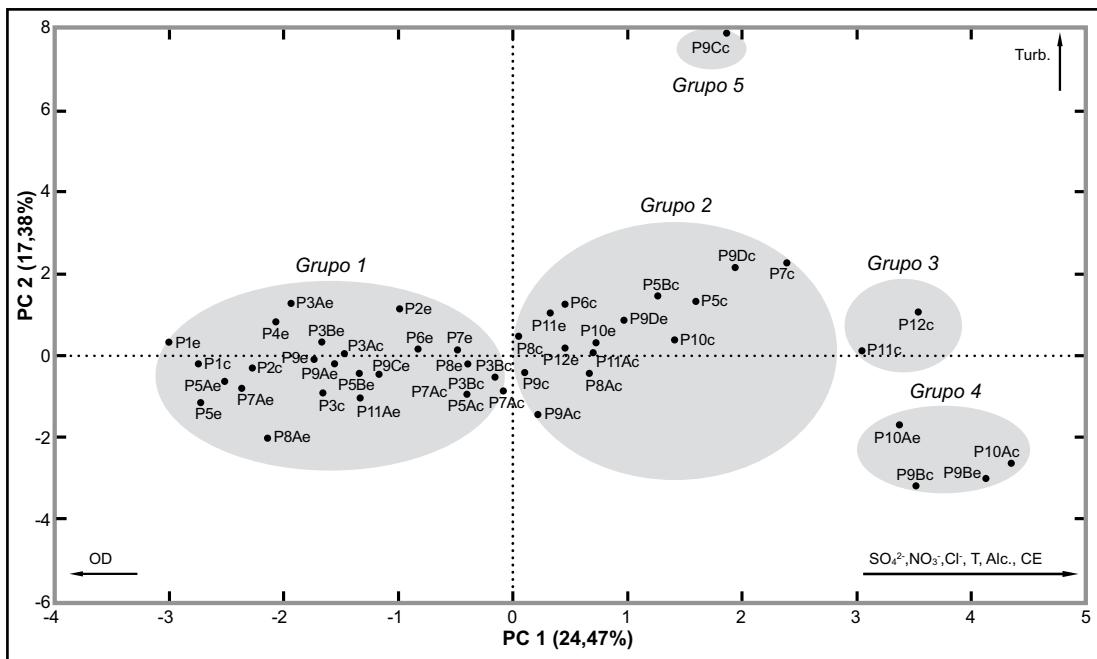


Figura 6 - Análise das componentes principais (PCA) durante ambos os períodos (chuvisco e estiagem)

se relaciona a fatores naturais, visto que na região predominam os solos classificados como latossolos de coloração vermelha e amarela, os quais possuem alta quantidade de óxido de ferro (EMBRAPA, 2013). Como a região é suscetível à erosão, devido à exposição do solo, pode ter ocorrido o desprendimento de partículas do solo, as quais são carreadas aos corpos hídricos, podendo haver a dissociação do ferro e do manganês nos corpos d'água. Calijuri et al. (2012) também apontaram a forte correlação do ferro e do manganês (tendo em vista determinada componente principal) com as características pedológicas da região de estudo caracterizadas pelos latossolos vermelhos distróficos, fontes de tais elementos químicos.

A distribuição das amostras pela PCA foi apresentada na Figura 6. Tem-se o gráfico dos escores para a PC1 (24,47%) versus PC2 (17,38%). Nesta figura foi possível visualizar a formação de 5 grupos. Os pontos receberam nos finais, em minúsculo, a letra “e” que se refere ao período de estiagem; e a letra “c” que se refere ao período chuvoso.

Em relação ao grupo 1, o oxigênio dissolvido foi a variável que mais influenciou as amostras de água, sendo a maioria do período de estiagem. Segundo

Esteves et al. (2011), esse fato era esperado, pois com a diminuição da temperatura há um aumento da concentração de oxigênio dissolvido. Para Queiroz (2010), essa variável abaixo de valores referenciados afeta o ecossistema aquático, influencia a biodiversidade local e interfere em alguns usos do manancial como, por exemplo, o abastecimento doméstico. Mas este não foi o caso verificado na bacia hidrográfica do rio Matipó. Em todos os pontos de amostragem a concentração do oxigênio dissolvido foi acima de 5 mg L⁻¹.

O grupo 2, em sua maioria, apresenta amostragens realizadas no período chuvoso. As variáveis que influenciaram as amostras de água dos pontos deste grupo foram: sulfato e nitrato. Essas variáveis podem ser oriundas dos esgotos domésticos, como já foi exposto, visto que a região não possui tratamento para efluentes. Outras fontes de nitrato podem ser da agricultura, devido aos fertilizantes à base de nitratos utilizados nos cultivos; ou da pecuária, devido à presença dos excrementos de animais. Com a precipitação, os níveis de nitrato podem aumentar, pois o esterco e a matéria orgânica presente no solo podem ser lixiviados ao manancial. Este fato foi verificado

nos estudos realizados por Lee et al. (2010), pois nos pontos de amostragens próximos às atividades agropecuárias as concentrações de nitrato foram maiores.

Quanto ao grupo 3, ele é composto por pontos de amostragem localizados no rio principal (P11 e P12). As variáveis cloreto e temperatura foram responsáveis por influenciar as amostras nestes pontos. Essas estações de amostragem se localizam próximos à cidade de Raul Soares e recebem o aporte de esgoto doméstico do município. Sabe-se que descargas de esgoto em rio faz com que as concentrações de cloreto aumentem em tais ecossistemas.

Já o grupo 4, ao ser analisado, apresenta uma característica peculiar. Tanto as amostras de água do período chuvoso quanto as do período de estiagem foram influenciadas pelas mesmas variáveis alcalinidade e condutividade elétrica nos pontos de amostragem P9B e P10A. A estação de amostragem do P9B é caracterizada por receber esgoto doméstico diretamente no manancial, e do P10A por apresentar em seu redor atividades de agropecuária. Em ambientes poluídos por matéria orgânica, oriunda dos fatores citados, a alcalinidade se altera pela decomposição da matéria orgânica e aumenta a condutividade elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas do escoamento superficial (CALIJURI et al., 2012).

O ponto P9C representa, por sua vez, o grupo 5 e foi fortemente influenciado pela turbidez no período chuvoso. Ao analisar a água neste período verificou-se o valor de 908 UNT para a turbidez (Figura 3). O ponto de amostragem apresentou presença de sulcos de erosão e ausência de mata ciliar nas proximidades. Com a precipitação, que ocorreu no dia anterior à coleta, partículas de solo provavelmente foram arrastadas pelo escoamento superficial. Isto pode ter ocasionado um aumento de material suspenso, elevando desta forma os valores de turbidez. A erosão é um fator de desprendimento de partículas de solo que podem vir a atingir o corpo d'água com o deflúvio na bacia hidrográfica.

A influência da erosão na produção de sedimentos em bacias hidrográficas que interferiu em variáveis como a turbidez e sólidos dissolvidos foi discutida em pesquisas como Cunha, Calijuri e Mendiondo (2012) e Souza e Gastaldini (2014). Esses estudos demonstraram que áreas devastadas e com evidências de erosão propiciam o aumento de valores das variáveis

citadas. Por fim, Quaresma et al. (2015) ressaltam a importância de caracterizar o comportamento dos sedimentos que o rio transporta para que a qualidade da água não seja afetada.

CONCLUSÕES

Nesta pesquisa constatou-se o potencial da abordagem multivariada para a compreensão da dinâmica da qualidade da água em bacias hidrográficas. Importa ressaltar que, mesmo com o uso de menor número de variáveis, foi possível identificar importantes influências de atividades antrópicas nos resultados de cloreto, nitrato, sulfato e turbidez; e dos fatores ambientais nos resultados ferro, manganês e zinco.

Foi aplicada a análise das componentes principais (PCA) em 15 variáveis analisadas em águas superficiais. Essas foram reduzidas em 5 componentes principais que juntas explicaram 72,15% da variância dos dados. Dessas cinco, as duas primeiras componentes principais foram responsáveis por 41,85% da variância dos dados e foram fortemente influenciadas pela alcalinidade, condutividade elétrica e potássio. As componentes principais 3, 4 e 5 explicaram juntas 30,30% e foram fortemente influenciadas pelo manganês, nitrato e oxigênio dissolvido.

A análise das componentes principais permitiu, portanto, identificar quais as variáveis influenciaram de forma mais significativa no ambiente. Verificou-se, com isso, que os impactos ambientais verificados na bacia hidrográfica, como o desmatamento, erosão, lançamento de esgoto doméstico e uso inadequado de fertilizantes, foram os principais fatores que interferiram nos resultados das variáveis mensuradas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro obtido para o desenvolvimento desta pesquisa ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), e à Fundação Gorceix.

Referências

ANEEL – AGÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA. SIGEL – Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico. 2015. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>>. Acessado em: 15 jul. 2015.

APHA- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater: selected analytical methods approved and cited by the United States Environmental Protection Agency.** American Public Health Association, 2012.

ATLAS digital das águas de Minas: uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Coordenação técnica, direção e roteirização Humberto Paulo Euclides. Belo Horizonte: RURALMINAS ; Viçosa : UFV, [2007] . 1 CD_ROM + manual (78p). ISBN 85.7601-082-8.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005.** Estabelece a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

BRERETON, R. G. **Chemometrics: data analysis for the laboratory and chemical plant.** John Wiley & Sons, 2003.

CALIJURI, M. L.; COUTO, E. A.; SANTIAGO, A. F.; CAMARGO, R. A.; SILVA, M. D. F. M. Evaluation of the influence of natural and anthropogenic processes on water quality in Karstic region. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, n. 5, p. 2157-2168, 2012.

CAMPANHA, M. B.; MELO, C. A.; MOREIRA, A. B.; FERRARESE, R. F. M. S.; TADINI, A. M.; GARBIN, E. V.; PEREIRA-FILHO, E. R. Variabilidade espacial e temporal de parâmetros físico-químicos nos rios Turvo, Preto e Grande no estado de São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 33, n. 9, p. 1831-1836, 2010.

CPRM- SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **Bases cartográficas.** (2012). Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>. Acessado em: 10 jul. 2016.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. D. C.; MENDIONDO, E. M. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 369-376, 2012.

DA SILVA JÚNIOR, W. M.; MEIRA-NETO, J. A.; DA SILVA, F. M. C.; MELO, F. R.; MOREIRA, L. S.; BARBOSA, E. F.; PERES, C. A. S. Habitat quality of the woolly spider monkey (*Brachyteles hypoxanthus*). **Folia primatologica**, v. 80, n. 4, p. 295-308, 2009.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos.** Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ESTEVES, F. A et al.. **Fundamentos de limnologia.** 3 ed. Rio de Janeiro: Interciênciac, 2011. 826p.

GONTIJO, E. S. J.; OLIVEIRA, F. S. D.; FERNANDES, M. L.; SILVA, G. A. DA; ROESER, H. M. P.; FRIESE, K. Application of a Multivariate Exploratory Analysis Technique in the Study of Dissolved Organic Matter and Metal Ions in Waters from the Eastern Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, n. 2, p. 208-218, 2014.

GUEDES, H. A.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A.; RIBEIRO, C. B.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. (2015). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/index.php>>. Acessado em: 05 jul. 2016.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. Fundo de Cultura Econômica, Buenos Aires, 1931.

LATTIN, James; CARROLL, J. Douglas; GREEN, Paul E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LEE, J. Y.; YANG, J. S.; KIM, D. K.; HAN, M. Y. Relationship between land use and water quality in a small watershed in South Korea. **Water Science and Technology**, v. 62, n. 11, p. 2607-2615, 2010.

LIU, C.-W.; LIN, K.-H.; KUO, Y.-M. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. **Science of the Total Environment**, v. 313, n. 1, p. 77-89, 2003.

MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama-Distrito Federal. **Química nova**, v. 33, n. 1, p. 97-103, 2010.

PARRA, R. R.; ROESER, H. M. P.; LEITE, M. G. P.; NALINI JR, H. A.; GUIMARÃES, A. T. A.; PEREIRA, J. C.; FRIESE, K. Influência antrópica na geoquímica de água e sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais- Brasil. **Geochimica brasiliensis**, v. 21, n. 1, p. 36-49, 2007.

QUARESMA, V. S.; CATABRIGA, G.; BOURGUIGNON, S. N.; GODINHO, E.; BASTOS, A. C. Modern sedimentary processes along the Doce river adjacent continental shelf. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 4, p. 635-644, 2015.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; BOAS, M. A. V. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010.

SARBU, C.; POP, H. F. Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis. A case study: the quality of Danube water (1985-1996). **Talanta**, v. 65, n. 5, p. 1215-1220, 2005.

SNIS- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Aplicativo Série Histórica**. (2015). Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acessado em: 15 jul. 2016.

SOUZA, M. M. de; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol 1 da série Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 3. ed. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMG, 2005.

Deyse A. dos Reis Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.

E-mail: deysereis.reis@gmail.com

Contribuição do autor:

Revisão do conteúdo abordado. Auxílio no geoprocessamento, nas análises estatísticas e na redação.

Aníbal da F. Santiago Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.

E-mail: anibalsantiago@gmail.com

Contribuição do autor:

Revisão do conteúdo abordado. Auxílio na interpretação dos resultados das análises físicas e químicas da pesquisa, nas análises estatísticas e na redação.

Laura P. do Nascimento Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.

E-mail: lauraifmg@gmail.com

Contribuição do autor:

Revisão e auxílio na parte de geoprocessamento e na redação.

Edilson G. de Oliveira Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.

E-mail: edilson.ecologia@gmail.com

Contribuição do autor:

Revisão das variáveis físicas e químicas da água e redação.

Lilian de S. Marques Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.

E-mail: smbio.lilian@gmail.com

Contribuição do autor:

Revisão das variáveis físicas e químicas da água e redação.

Hubert M. P. Roeser Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.

E-mail: hubert-deamb@em.ufop.br

Contribuição do autor:

Revisão e auxílio na interpretação dos resultados de metais com a geologia local.