

## NOTA TÉCNICA

**Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG***Temporal variation of limnological parameters in a supply source in Juiz de Fora, MG***Cézar Henrique Barra Rocha<sup>1</sup> e Hiago Fernandes Costa<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Professor Associado II, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Faculdade de Engenharia -

Departamento de Transportes e Geotecnia, Núcleo de Análise Geo Ambiental (NAGEA)

www.ufjf.br/analiseambiental; barra.rocha@gmail.com

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora - Faculdade de Engenharia

hiagofc@hotmail.com

Recebido: 14/07/14 - Revisado: 01/10/14 - Aceito: 24/11/14

**RESUMO**

*A disponibilidade de bases de dados temporal dos parâmetros limnológicos de um manancial pode ser tratada estatisticamente para entender como está a sua qualidade. A Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora monitora mensalmente a captação da Represa de São Pedro, disponibilizando os dados de 1998 a 2012, os quais foram tratados estatisticamente por meio do teste t de Student e da Análise Fatorial / Análise de Componentes Principais (AF/ACP). Através do primeiro teste, foi possível constatar a influência sazonal sobre os parâmetros cor, demanda bioquímica de oxigênio, ferro, oxigênio consumido e condutividade. A AF/ACP excluiu as três últimas variáveis citadas e o pH, resultando na extração de três componentes principais que juntas explicaram 73% da variação total dos dados. A primeira componente refletiu o aporte de material alóctone carregado pelo escoamento superficial e erosão; a segunda e terceira componentes estão associadas à contribuição orgânica como lançamento de esgotos, excrementos de animais e fertilizantes, respectivamente, acentuados principalmente pelo uso do solo e pela ausência ou fragmentação das matas ciliares. Estes fatores sugerem interferência antrópica negativa sobre a água do manancial estudado.*

**Palavras Chave:** AF/ACP. Uso da terra. Bacia hidrográfica

**ABSTRACT**

*The availability of temporal data bases of limnological parameters of a catchment can be treated statistically to understand the quality status. The Municipal Sanitation Company of Juiz de Fora monitors the water catchment of São Pedro Reservoir monthly, providing data from 1998 to 2012, which were statistically treated using Student's t test and Factor Analysis / Principal Components Analysis (FA/PCA). The first test determined the seasonal influence on the color, biochemical oxygen demand, iron, oxygen consumed and conductivity parameters. The AF / ACP excluded the last three mentioned variables and pH, resulting in the extraction of three major components that together explained 73 % of the total variation in the data. The first component reflected the contribution of allochthonous material carried by runoff and erosion; the second and third components are associated with the organic contribution such as the discharge of sewage, animal excrement and fertilizers, respectively, increased mostly by land use and by the absence or fragmentation of riparian forests. These factors suggest negative human interference in the water of the studied catchment.*

**Keywords:** FA/ PCA. Land use. Basin

## INTRODUÇÃO

A Represa de São Pedro, também conhecida como Represa dos Ingleses, está inserida numa área altamente valorizada conhecida por Cidade Alta. Foi a Região que mais se urbanizou nos últimos anos devido aos atrativos paisagísticos, proximidade de bairros residenciais, centro e da BR-040.

Dados do IBGE indicam que a população da cidade de Juiz de Fora em 1991 era de 385.996 habitantes; já no último censo, realizado no ano de 2010, este número aumentou para 516.247 habitantes, o que equivale a um crescimento populacional de 25,2% em menos de 20 anos (IBGE, 2014). Desta maneira, é possível notar que a demanda hídrica para a cidade também aumentou e, conseqüentemente, a exploração dos seus mananciais destinados ao abastecimento público.

O adequado gerenciamento dos recursos hídricos tem sido uma constante preocupação dos gestores públicos. Para que haja fornecimento de água com boa qualidade e quantidade é necessário estabelecer um planejamento do uso e cobertura da terra nas bacias de mananciais de abastecimento (BHATTA-CHARYYA; KAPIL, 2010; THURSTON et al., 2012; SHEELA et al., 2012; ABILDTRUP et al., 2013; YU et al., 2013; ROCHA et al., 2014).

O ideal seria a preservação das florestas principalmente em bacias de represas. Isto é difícil devido a especulação imobiliária, falta de legislações específicas para mananciais e fiscalização. Contudo, as matas ripárias situadas nas margens já conseguem muitas vantagens para o manancial envolvido. São as funções previstas para as áreas de preservação permanente (APP), depreciadas na reformulação do Novo Código Florestal (AB'SÁBER, 2010; CASATTI, 2010; TUNDISI; TUNDISI, 2010; BRASIL, 2012a; BRASIL, 2012b).

Similarmente às faixas de segurança de rodovias e aceiros em parques, as APP's hídricas funcionam como faixas de segurança para a qualidade da água do corpo hídrico que elas envolvem. Reduzem o impacto de fontes de poluição através do efeito "filtro", ressaltando a retenção de sedimentos finos, matéria orgânica, produtos tóxicos e nutrientes carreados pelas precipitações (lixiviação), minimizando os processos de assoreamento do corpo d'água, evitando a erosão e estabilizando os solos marginais, sendo uma verdadeira barreira física.

A serrapilheira depositada nestas zonas, conjuntamente com as raízes das espécies, as próprias espécies e o tipo de solo produzem o efeito "esponja", absorvendo a água e liberando na época da estiagem, evitando o rebaixamento acentuado do nível do lençol freático e da água superficial. As condições de saturação do solo nesta região também influenciam na composição de espécies vegetais, sendo consideradas importantes fontes de sementes para o processo de regeneração natural, constituindo corredores ecológicos para a fauna e propágulos (pólen e sementes).

Apesar do município de Juiz de Fora ainda ser de certo modo privilegiado em relação a disponibilidade hídrica (RIBEIRO; PIZZO, 2011), a situação da Represa de São Pedro é bastante preocupante. Ribeiro e Pizzo (2011) alertam que devido à baixa disponibilidade de água da Represa e ao elevado grau de degradação ambiental ocasionado pela ocupação intensa e

desordenada no entorno da mesma, ela poderá ser desativada pela CESAMA (Companhia de Saneamento Municipal) caso nada seja feito, no que diz respeito a alguma medida que busque a recuperação ambiental de sua bacia hidrográfica. Além disso, estes mesmos autores ainda alertam para o fato de que a área abastecida pela Represa necessita ser complementada, na época de estiagem, por outros sistemas de abastecimento da cidade, como os sistemas Dr. João Penido e Norte. É uma lógica invertida, pois se busca água cada vez mais longe, aumentando-se os custos de manutenção das redes.

Carneiro et al. (2010) afirmam haver uma desarticulação entre os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos e os de planejamento do uso do solo, marcada pelo forte grau de informalidade e até mesmo ilegalidade na ocupação do solo.

Diante deste contexto, se verifica a necessidade de um planejamento para a ocupação da região em que está inserida a Represa e também um monitoramento contínuo das suas águas. Tal monitoramento, visando o controle da qualidade da água, busca avaliar diversos parâmetros, os quais muitas vezes são difíceis de analisar e interpretar devido à grande quantidade de dados. Para auxiliar este tipos de estudo buscam-se recursos a fim de superar tais dificuldades, como exemplo, a Análise Multivariada, especificamente neste artigo, a Análise Fatorial e Análise de Componentes Principais AF/ACP. Este tipo de análise promove a extração de informações significativas de grandes quantidades de dados e assim, a redução do número de variáveis com o mínimo de perdas das informações (AUTIN; EDWARDS, 2010; VANZELA et al., 2010; AKBAR et al., 2011; AWADALLAH et al., 2011; MENDONÇA; SOUZA, 2011; SPEZIA et al., 2011; TU, 2011; BABOROWSKI et al., 2012; GUEDES et al., 2012; SHEELA et al., 2012; ROCHA et al., 2014).

É importante ressaltar, que a qualidade da água, logicamente, não é afetada somente por ações antrópicas, mas também por causas naturais e causas naturais associadas à ação antrópica. Um exemplo de causa natural é a precipitação, que pode ser um importante agente regulador dos cursos d'água e também é uma importante variável a ser estudada em monitoramentos de qualidade da água (SILVA et al., 2008). Fritzsons et al. (2003) descrevem que a precipitação é um fenômeno meteorológico que influencia diretamente a vazão e qualidade de um corpo hídrico. Porém, é difícil estabelecer uma relação direta, já que diferentes intensidades de precipitação estabelecem diferentes níveis de impacto no solo, gerando processos erosivos de variados graus conforme a interação desta precipitação com o uso e ocupação da terra. Não foi possível trabalhar esta variável devido à ausência de dados oficiais de pluviometria para a Bacia de contribuição da Represa de São Pedro. Entretanto, a Lei Municipal 9.811/2000 - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDU (JUIZ DE FORA, 2000), baseada em médias históricas oficiais para Juiz de Fora, afirma que a cidade apresenta uma sazonalidade bem definida, sendo a estação chuvosa de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações e a estação seca de maio a setembro, período mais frio e com menor presença de chuvas.

Desta forma, este trabalho teve por objetivo verificar como se comportam as variáveis limnológicas, de acordo com

o regime pluviométrico, assim como aplicar a AF /ACP a fim de se compreender a dinâmica e quais parâmetros possuem maior contribuição para a variância total dos dados na Represa de São Pedro. Um objetivo secundário é diminuir o esforço de campo e de laboratório através da seleção desses parâmetros para monitoramentos futuros.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia de contribuição da Represa de São Pedro -BCRSP está localizada na cidade de Juiz de Fora, Zona da Mata mineira, sendo um município de suma importância para várias cidades vizinhas, tanto em relação à área da saúde, quanto em relação à área de comércio e da educação.

As informações limnológicas utilizadas foram cedidas pela Companhia de Saneamento Municipal (Cesama) e são referentes às análises da água na captação da Represa de São Pedro (limite esquerdo da barragem), com coordenadas geodésicas: 21° 46' 43,9" S e 43° 24' 29,2" W (Datum WGS-84). A área total de drenagem da Bacia de contribuição da Represa é de aproximadamente 13 km<sup>2</sup> e seus principais tributários são os córregos São Pedro e Grota do Pinto, sendo este manancial responsável atualmente por 8% do abastecimento público do município atendendo 15 bairros (CESAMA, 2014).

A BCRSP é cortada pela Rodovia BR-040 e vem sofrendo forte pressão imobiliária com conversão de áreas de Mata (21%), Várzea (1%) e Represa (2%) em Pastagens (73%) e Edificações (3%), conforme demonstrado na Figura 1. Nesta Carta, cabe destacar a proximidade da BR-040, do Centro de Convenções Expominas e do Condomínio Alphaville ao corpo d'água principal. Existem muitas Edificações que despejam seus esgotos diretamente nos córregos ou na Represa, além da predominância de Pastagens próximas as margens dos mesmos.

Analizou-se 13 parâmetros monitorados pela Cesama na captação durante 13 anos: pH, cor, turbidez, ferro (Fe), manganês (Mn), fósforo total (PT), alcalinidade ( $\text{HCO}_3^-$ ), cloreto, dureza, oxigênio consumido (OC), condutividade, demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{DBO}_{5,20}$ ) e nitrogênio total (NT) referentes às medições mensais realizadas entre o período de 1998 a 2012, sendo que não se obteve acesso aos dados dos anos de 2003 e 2004.

Os dados foram divididos em duas estações de acordo com o definido pela Lei Municipal 9.811/2000 (Juiz de Fora, 2000). Procedeu-se ao cálculo da média de cada parâmetro para as duas estações anualmente e verificou-se a ocorrência de normalidade - Teste Kolmogorov-Smirnov. Foi aplicado o teste t de Student, com o auxílio do Microsoft Office Excel 2010, para verificar a ocorrência de variação estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias históricas das matrizes formadas com os dados de seca e chuva. Não houve mensuração de alguns

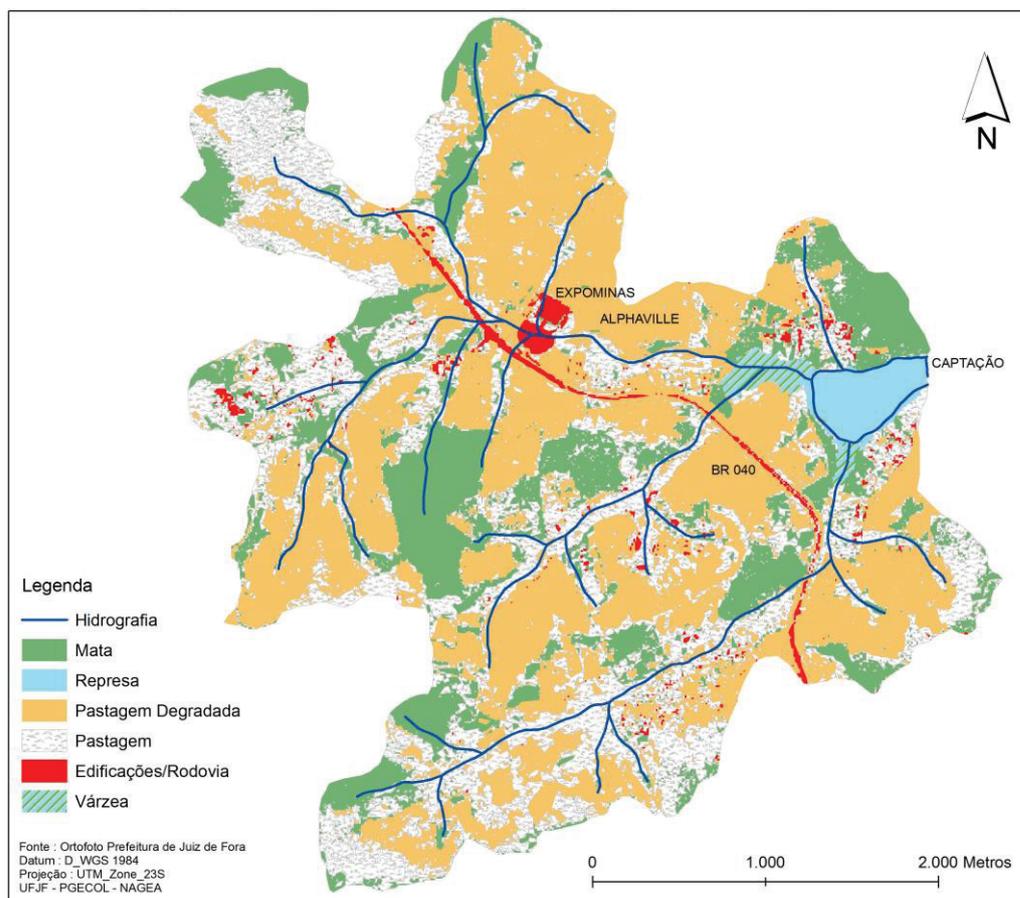


Figura 1 – Carta de Uso e Cobertura da Terra na Bacia de contribuição da Represa de São Pedro em Juiz de Fora - MG

dados durante vários meses de um mesmo ano, impossibilitando calcular uma média referente à estação daquele ano. Por esse motivo, para os parâmetros ferro e condutividade foram excluídos os anos de 1998 a 2002; para o manganês, também foram excluídos da matriz os anos de 1998 a 2002 e os anos de 2011 e 2012; para o fósforo total e nitrogênio total, o intervalo de 1998 a 2002 e os anos de 2005 e 2011; para a dureza, o ano de 2012; para o OC, 2006; e por fim, para a  $DBO_{5,20}$  foi excluído o intervalo de 1999 a 2002.

Segundo Ribas e Vieira (2011), à análise de fator interessa investigar se as covariâncias ou correlações de um conjunto de variáveis observadas podem ser explicadas em termos de um número menor de construtos ou fatores comuns. Mais especificamente, a análise fatorial exploratória investiga se as covariâncias ou correlações entre um conjunto de  $n$  variáveis observadas ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) podem ser explicadas em termos de número menor,  $m$  de fatores comuns ( $A, B, \dots, M$ ), onde  $m < n$ .

A Análise Fatorial, em resumo, representa uma forma exploratória de conhecer o comportamento dos dados a partir de uma dimensão reduzida do espaço original dos parâmetros. Esta técnica permite selecionar as variáveis mais representativas do corpo hídrico, favorecendo a definição de indicadores mais sensíveis, tanto para adoção de um programa de monitoramento, como para avaliação das alterações ocorridas nos recursos hídricos (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

O principal objetivo da ACP é reduzir a complexidade das inter-relações entre um número potencialmente grande de variáveis observadas a um número relativamente pequeno de combinações lineares com essas variáveis, que resultam nos componentes principais. Este objetivo será atingido se um número relativamente pequeno de componentes extraídos possuírem a capacidade de explicar a maior parte da variabilidade dos dados originais. Os componentes principais têm a propriedade adicional de ser independentes entre si, ou seja, de não ser correlacionados (RIBAS; VIEIRA, 2011).

Para estudo da relação entre os parâmetros de qualidade da água foi aplicada a análise fatorial com análise de componentes principais. As variáveis foram organizadas em fatores conforme suas inter-relações, o que definiu uma estrutura inerente às mesmas. Além de permitir um melhor entendimento sobre as relações entre as variáveis, a formação dos fatores permitirá ainda a redução do número dessas (HAIR et al., 2007). Assim, pode-se alcançar economia nos recursos de pesquisa como coleta de dados, análise laboratorial e estudos. Devido às diferenças de escalas e unidades, os dados foram padronizados para escores padrões.

A adequação dos dados à AF foi verificada por meio dos testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e esfericidade de Bartlett. As análises multivariadas (AF/ACP) foram realizadas no software SPSS® 15.0, e consistiram em três etapas, descritas por Toledo e Nicolella (2002): elaboração da matriz de correlação, extração dos fatores comuns com possível redução das variáveis explicativas e rotação dos eixos relativos aos fatores comuns visando facilitar e simplificar a interpretação.

Os dados originais, em forma de matriz, foram expressos por  $X = (X_{ij})$  em que,  $i = 1 \dots n$  amostragens (39) e  $j = 1 \dots p$  variáveis limnológicas (13). As amostragens abrangeram

os anos de 1998 a 2012 havendo, entretanto, ausência de dados em vários meses e em dois anos completos, que são os anos de 2003 e 2004.

Adotou-se o coeficiente de correlação superior a 0,5, como sugerido por Cohen (1988) e Helena et al. (2000) para expressar uma forte correlação entre as variáveis limnológicas e valores entre 0,30 a 0,49 para expressar uma moderada correlação (COHEN, 1988). Na extração das componentes principais foi utilizada a matriz de correlação, visando eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas. A principal característica da ACP, além da ortogonalidade, é que as componentes principais são obtidas em ordem decrescente de máxima variância. Assim, a primeira componente explica o máximo da variabilidade total dos dados; a segunda, explica o máximo de variabilidade dos dados restantes, não correlacionados com a primeira e assim sucessivamente (ANDRADE et al., 2007; GUEDES et al., 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se verificar a interferência da precipitação sobre as variáveis estudadas foi realizado o teste  $t$  de Student, o qual apresentou valores de  $p$  menores que 0,05 em 5 das 13 variáveis monitoradas. Dentre estas variáveis estão a cor, o Fe, o OC, a condutividade e a  $DBO_{5,20}$ , o que implica em dizer que houve interferência do período chuvoso ao menos nestes 5 parâmetros, como visto na Tabela 1.

Analisando a matriz de correlações na Tabela 2, foi possível perceber fortes correlações positivas entre alguns parâmetros, ocorrendo várias acima de 0,6, destacando: Cor – Mn ( $r = 0,73$ ); Cor – DBO ( $r = 0,70$ ); Cor – Turbidez ( $r = 0,67$ ); Turbidez – Mn ( $r = 0,68$ ); e Turbidez – DBO ( $r = 0,68$ ).

As correlações entre cor, turbidez e DBO já eram esperadas visto que a cor é influenciada pela presença de substâncias e materiais dissolvidos na água, assim como o aumento da concentração de compostos orgânicos dissolvidos, originados da decomposição pelos microrganismos, sendo que a presença destes componentes é o que define a turbidez. A correlação entre cor e turbidez também foi encontrada por Andrade et al. (2007). Nota-se ainda, de acordo com o teste  $t$  de Student, que a cor e a  $DBO_{5,20}$  foram influenciadas pela precipitação, possuindo um aumento de suas médias quando comparadas às médias do período de seca.

Já a relação entre cor, turbidez e manganês está no fato de que a presença do manganês em água vem da dissolução de compostos do solo os quais quando lixiviados aumentam a turbidez. Além disso, o manganês tem a capacidade de gerar uma coloração marrom à água (VON SPERLING, 2005).

Para a verificação da adequabilidade dos dados, foi realizado o teste de esfericidade de Bartlett ( $p=0,000$ ), o qual testa a hipótese de que não há correlações significativas entre as variáveis na matriz de correlação. O teste possibilitou descartar a hipótese nula, o que nos remete a afirmar que há correlações significativas entre os parâmetros trabalhados. Necessita-se ainda analisar a adequação da amostra, verificando o índice de adequação da amostra (KMO) que segundo Hair et al. (2007) quantifica o

**Tabela 1 – Resultados do Teste t Student, valores de Média e Desvio Padrão das variáveis monitoradas com destaque em cinza para ocorrência de variação estatisticamente significativa**

Variáveis	Teste t de Student (valor de p)	Média e Desvio Padrão (1998-2012)	
		SECA	CHUVA
pH	0,270	7,09 ± 0,21	7,00 ± 0,13
Cor (uH)	4,43 x 10 <sup>-6</sup>	45,44 ± 18,04	84,67 ± 24,14
Turbidez (uT)	0,076	9,23 ± 3,41	11,43 ± 4,00
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	0,001	0,77 ± 0,35	1,61 ± 0,47
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	0,061	0,23 ± 0,10	0,39 ± 0,20
P Total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,803	0,39 ± 0,279	0,40 ± 0,13
Alcalinidade (mg.L <sup>-1</sup> )	0,591	11,10 ± 4,68	11,76 ± 1,62
Cloreto (mg.L <sup>-1</sup> )	0,147	9,82 ± 5,28	11,69 ± 8,34
Dureza (mg.L <sup>-1</sup> )	0,654	12,35 ± 8,52	12,96 ± 5,00
OC (mg.L <sup>-1</sup> )	3,46 x 10 <sup>-4</sup>	2,27 ± 0,58	3,71 ± 1,10
Condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> )	2,20 x 10 <sup>-5</sup>	19,74 ± 1,34	27,98 ± 2,46
DBO <sub>5,20</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,014	8,38 ± 3,90	15,25 ± 6,29
N Total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,408	1,77 ± 0,88	1,32 ± 0,88

**Tabela 2 – Matriz de correlação paramétrica das variáveis limnológicas da Represa de São Pedro**

	Cor	Turb.	Mn	PT	Alcal.	Clor.	Dur.	DBO <sub>5,20</sub>	NT
Cor	1,00								
Turb.	0,67	1,00							
Mn	0,73	0,68	1,00						
PT	0,05	0,07	0,05	1,00					
Alcal.	0,51	0,35	0,56	0,31	1,00				
Clor.	0,16	0,16	0,37	0,42	0,42	1,00			
Dur.	0,56	0,35	0,45	0,35	0,52	0,38	1,00		
DBO <sub>5,20</sub>	0,70	0,68	0,58	0,06	0,35	0,12	0,51	1,00	
NT	0,08	-0,02	0,06	0,05	0,11	0,05	0,06	0,06	1,00

Cor (uH); Turb. – Turbidez (uT); Mn – Manganês (mg. L<sup>-1</sup>); PT – Fósforo Total (mg. L<sup>-1</sup>); Alcal. – Alcalinidade HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg. L<sup>-1</sup>); Clor.- Cloreto (mg. L<sup>-1</sup>); Dur.- Dureza (mg. L<sup>-1</sup>); DBO<sub>5,20</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg. L<sup>-1</sup>); NT – Nitrogênio Total (mg. L<sup>-1</sup>)

grau de intercorrelações entre as variáveis. Este segundo teste resultou em um KMO = 0,776, o que permite a aplicação da análise, pois valores acima de 0,5 são considerados aceitáveis.

Para se determinar quais foram as variáveis mais importantes para explicar as características das águas, foi realizada a análise fatorial/análise de componentes principais (AF/ACP), a qual proporcionou a exclusão de 4 das 13 variáveis estudadas. A primeira variável excluída por apresentar uma comunalidade menor do que 0,5 foi o pH (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2010). O OC foi excluído por estar explicando mais de uma componente, mesmo após a realização de uma rotação Varimax. Ao processar os dados sem o pH e o OC, o Fe e a condutividade passaram a apresentar comunalidade menor do que 0,5, sendo excluídos da matriz.

Nesta análise foram extraídas três componentes principais, as quais apresentaram uma melhor configuração para os dados trabalhados neste estudo. Estas componentes principais explicaram juntas, aproximadamente, 73% da variação total dos dados.

A primeira componente (CP1) foi constituída pelo maior número de variáveis assim como encontrado por Andrade et al.

(2007), Bernardi et al. (2009) e Guedes et al. (2012). As variáveis que constituem a primeira componente foram as únicas que obtiveram correlações acima de 0,5 com alguma outra, mostrando assim a maior importância destes parâmetros na composição das componentes principais.

Das variáveis que restaram para a análise, a primeira componente explicou 43,96% da variância total dos dados; a segunda componente foi responsável por explicar 17,39%; enquanto que a terceira explicou 11,72% da variância total dos dados, conforme a Tabela 3.

A primeira componente (CP1) que foi composta por cor, manganês, DBO<sub>5,20</sub>, turbidez, dureza e alcalinidade, explicou 43,96% da variância total e seus parâmetros associam-se à presença de sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, íons e de matéria orgânica. Tais variáveis refletem o aporte de material alóctone carreado, o que de acordo com Vasco et al. (2011) é uma das principais fontes de poluição difusa em um corpo d'água durante eventos de chuvas. Devido à característica que o manganês possui de poder se apresentar na forma solúvel ou insolúvel, justifica-se sua forte correlação com a cor e a turbidez. O manganês também se correlaciona com a DBO<sub>5,20</sub> pelo fato

de íons metálicos se associarem facilmente com matéria orgânica dissolvida formando complexos (BORGES et al., 2007), interferindo também nas correlações entre estas variáveis, a cor e a turbidez. Além disso, o manganês ainda interfere na dureza por se tratar de um cátion metálico em solução. Segundo Von Sperling (2005) a alcalinidade, que é caracterizada devido à presença de  $\text{HCO}_3^-$  na água, pode possuir como fontes a dissolução de rochas, os despejos industriais, a reação do  $\text{CO}_2$  atmosférico com a água ou a decomposição de matéria orgânica. No presente estudo, a dureza apresentou uma forte correlação com a alcalinidade, devido à mesma estar ligada a complexos carbonatos. A dureza possui ainda um elevado coeficiente de Pearson com a cor, por esta também ser constituída por íons dissolvidos.

A segunda componente (CP2) foi capaz de explicar 17,39% da variação e ela foi constituída por apenas dois parâmetros: fósforo total (PT) e cloreto, os quais possuem uma correlação moderada entre si. Segundo Von Sperling (2005), o fósforo pode ter origem antropogênica de fontes como despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes; os cloretos, que são compostos que se dissociam em solução liberando  $\text{Cl}^-$ , podem se originar da dissolução de minerais e da intrusão salina de forma natural, ou de forma antropogênica através do lançamento de esgotos domésticos, devido ao fato da presença do cloreto na urina, assim como de águas utilizadas na irrigação.

Por fim, a última componente (CP3) explicou 11,72% sendo representada apenas pelo nitrogênio total (NT). A presença de nitrogênio em água pode ter diversas origens, tanto origem antrópica através do despejo doméstico, como também, como afirma Von Sperling (2005) ser proveniente de outras fontes como despejos industriais, excrementos de animais e fertilizantes.

A distribuição das variáveis entre as três componentes extraídas possibilita depreender que a componente CP1 se caracteriza por um grupo de sólidos e está estreitamente ligada ao escoamento superficial e processos erosivos na bacia da Represa, possuindo, inclusive, a cor e a  $\text{DBO}_{5,20}$ , influenciadas pelos distintos regimes pluviométricos de acordo com o teste t (Tabela 1). Em estudos sobre a qualidade das águas superficiais

na Bacia do Baixo Acarajú, Andrade et al. (2007) também encontraram um grupo de sólidos ligado ao escoamento superficial e a processos erosivos como primeira componente.

Em relação às variáveis que representam a CP2, pode-se perceber que, segundo Von Sperling (2005), ambas estão ligadas ao lançamento de esgoto doméstico, sendo que o fósforo ainda possui estreita relação com o lançamento de detergentes em água. Para Andrade et al. (2007) os cloretos encontrados em água podem ser originados de fontes como a lavagem de roupas e esgoto doméstico. Resultados semelhantes foram encontrados por Girão et al. (2007). Logo, essa variável se relaciona ao lançamento de esgoto doméstico, assim como à presença de despejo de detergentes em água. Já a CP3 obteve como representante o nitrogênio total (NT), que pode ser caracterizada por excrementos de animais e fertilizantes, não sendo constatada, por meio do teste t, a influência sazonal sobre esta componente.

Resultados semelhantes com relação às componentes principais citadas foram encontrados por Rocha et al. (2014) na Represa Dr. João Penido, outro manancial de abastecimento de Juiz de Fora, o que leva a acreditar que este problema tornou-se crônico neste município. De forma geral, reflete a falta de planejamento e fiscalização dos órgãos responsáveis em várias cidades do Brasil e do Mundo.

## CONCLUSÕES

Por meio do teste t de student foi possível constatar a influência sazonal sobre alguns parâmetros analisados, inclusive sobre a cor e a  $\text{DBO}_{5,20}$  que compõe a primeira componente.

A realização da estatística multivariada AF/ACP permitiu a eliminação de algumas variáveis como pH, OC, Fe e condutividade, resultando ainda na extração de três componentes principais que explicaram aproximadamente 73% da variação total dos dados sem a necessidade de rotação dos eixos.

A CP1 está caracterizada por um grupo de sólidos resultante do escoamento superficial e de processos erosivos. A CP2 sugere aporte de carga orgânica oriunda de esgotos

Tabela 3 – Matriz de pesos fatoriais das variáveis limnológicas nas três componentes principais selecionadas

Variáveis	CP1	CP2	CP3
Cor	0,86	-0,27	0,03
Mn	0,85	-0,13	-0,17
$\text{DBO}_{5,20}$	0,77	-0,39	0,01
Turbidez	0,77	-0,33	-0,17
Dureza	0,73	0,26	0,14
Alcalinidade	0,71	0,31	0,19
PT	0,25	0,79	-0,01
Cloreto	0,45	0,65	-0,09
NT	0,05	-0,10	0,97
<b>Autovalor</b>	3,96	1,57	1,05
<b>% da variância explicada</b>	43,96	17,39	11,72
<b>% da variância acumulada</b>	43,96	61,35	73,07

CP – Componente principal.

domésticos visto que as Edificações encontradas nas margens não dispõem de fossas e lançam seus esgotos diretamente nos corpos d'água. A CP3 pode estar associada ao excremento de animais e uso de fertilizantes para manter as Pastagens que representam 73% da área total da BCRSP.

Estes fatores conjugados apontam para uma interferência antrópica negativa sobre a Represa de São Pedro, principalmente pelos usos do solo inadequados (edificações e pastagens) em toda área da Bacia e ausência ou fragmentação das Matas nas APPs (margens), o que poderá refletir no encarecimento do tratamento dessas águas para abastecimento público, no caso limite, na sua desativação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora (CESAMA) pelos dados cedidos e a Universidade Federal de Juiz de Fora pelas bolsas de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Do Código Florestal para o Código da Biodiversidade. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, p. 331-35, 2010.
- ABILDTRUP, J.; GARCIA, S.; STENGER, A. The effect of forest land use on the cost of drinking water supply: A spatial econometric analysis. *Ecological Economics*, v. 92, p. 126–136, 2013.
- AKBAR, T. A.; HASSAN, Q. K.; ACHARI G. A methodology for clustering lakes in Alberta on the basis of water quality parameters. *Clean – Soil, Air, Water*, v. 39, n. 10, p. 916-24, 2011.
- AWADALLAH, A. G.; FAHMY, H.; KARAMAN, H. G. Trend detection in water quality data using time series seasonal adjustment and statistical tests. *Irrigation and Drainage*, v. 60, n.2, p. 253–262, 2011.
- AUTIN, M. A.; EDWARDS, D. Nonparametric harmonic regression for estuarine water quality data. *Environmetrics*, v. 21, n.6, p. 588–605, 2010.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 3, 2007, p. 683-90.
- BABOROWSKI, M.; SIMEONOV, V.; EINAX, J. W. Assessment of water quality in the Elbe River at flood water conditions based on cluster analysis, principle components analysis, and source apportionment. *Clean – Soil, Air, Water*, v.40, n.4, p. 373–380, 2012.
- BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. B.; GOMES, J. P. O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W. R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio madeira e afluentes, Amazônia ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, v. 23, n. 1, p. 79-90, 2009.
- BHATTACHARYYA, K. G.; KAPIL, N. Impact of urbanization on the quality of water in a naturalreservoir: a case study with the DeeporBeel in Guwahaticity, India. *Water and Environment Journal*, v. 24, n. 2, p. 83–96, 2010.
- BORGES, E. C. L.; MORETO A. A.; NEVES, E. F. A.; BORGES NETO, W. B.; BEZERRA, J. M. Estudo da capacidade de complexação e sua relação com algumas variáveis ambientais em cinco represas do Rio Tietê/Brasil. *Química Nova*, v. 30, n. 7, p. 1505-11, 2007.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012a. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, 28 mai. 2012. Disponível:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 08 out. 2013.
- BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012b. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, 17 out. 2012. Disponível:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm)>. Acesso em: 10 nov. 2013.
- CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; ZAMPRONIO, G. B.; MARTINGIL, M. de C. A gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano-metropolitanas: O controle de inundações na bacia dos rios Iguaçu/Sarapuí, na Baixada Fluminense. *Ambiente & Sociedade*, v.13, p.29-49, 2010.
- CASATTI, L. Alterações no Código Florestal Brasileiro: impactos potenciais sobre a ictiofauna. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, p. 31-34, 2010.
- COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2.ed. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1988. 567 p.
- CESAMA - COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL. *Mananciais- Represa de São Pedro*. Disponível em: < <http://www.cesama.com.br/?pagina=rsaopedro>>. Acesso em: 07 mai. 2014.
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. *Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial*. *Opinião Pública*, v.16, p.160-185, , 2010.
- FRINTZONS, E.; HIND, E. C.; MANTOVANI, L. E.; RIZZI, N. E. As alterações da qualidade da água do Rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 8, n. 4, p. 239-48, 2003.
- GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.

- GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J.H.P. 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.558-63, 2012.
- HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; Black, W. C. *Análise multivariada de dados*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 593p
- HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, v. 34, n. 3, p.807-16, 2000.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Canais – Cidades@ - MG – Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=313670&search=minas-gerais|juiz-de-fora>>. Acesso em 07 mai. 2014.
- JUIZ DE FORA. Lei nº 9.811 de 27 de junho de 2000. Institui o plano diretor de desenvolvimento urbano de Juiz de Fora. Disponível em: < [http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c\\_norma.php?chave=0000023630](http://www.jflegis.pjf.mg.gov.br/c_norma.php?chave=0000023630) >. Acesso em: 07 mai. 2014.
- MENDONÇA, E. C. C. N.; SOUZA, P. S. de. Aplicação da técnica de análise de componentes principais para caracterização de águas de poços artesianos de áreas urbanas de Goiânia e Aparecida de Goiânia. *Plurais*, v.1, p.19-36, 2011.
- RIBAS, J. R.; VIEIRA, P. R. C. *Análise Multivariada com o uso do SPSS*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2011. 284 p.
- RIBEIRO, C. R.; PIZZO, H. S. Avaliação da sustentabilidade hídrica de Juiz de Fora/MG. *Mercator*, v. 10, n. 21, p. 171-88, 2011.
- ROCHA, C. H. B.; FREITAS, F. A.; SILVA, T. M. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.4, p.431-436, 2014.
- SHEELA, A. M.; LETHA, J.; JOSEPH, S.; CHACKO, M.; SANAL KUMAR, S. P.; THOMAS, J. Water quality assessment of a tropical coastal lake system using multivariate cluster, principal component and factor analysis. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, v. 17, n. 2, p. 143–159, 2012.
- SPEZIA, L.; FUTTER, M. N.; BREWER, J. Periodic multivariate Normal hidden Markov models for the analysis of water quality time series. *Environmetrics*, v. 22, n.3, p. 304–317, 2011.
- SILVA, A.E.P.; ANGELIS, C.F.; MACHADO, L.A.T.; WAICHAMAN, A.V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazonica*, v. 38, n.4, p.733-42, 2008.
- THURSTON, L. P.; SMITH, C. A.; GENSKOW, K.; PROKOPY, L. S. ; HARGROVE, W. L. The Social Context of Water Quality Improvement Evaluation. *New Directions for Evaluation*, n. 135, p. 41–58, 2012.
- TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agrícola*, v. 59, n. 1, p.181-86, 2002.
- TU, J. Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression. *Applied Geography*, v. 31, n. 1, p. 376-392, 2011.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 4, p. 67-75, 2010.
- VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P.S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L.C. Avaliação espacial e temporal da qualidade de água na sub bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v.6, n.1, p. 118-30, 2011.
- VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.1, p.55–64, 2010.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 ed. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMG, 2005. 452 p.
- YU, D.; SHI, P.; LIU, Y.; XUN, B. Detecting land use-water quality relationships from the viewpoint of ecological restoration in an urban area. *Ecological Engineering*, v. 53, p. 205– 216, 2013.