

Processos condicionantes de alterações em variáveis limnológicas: uma abordagem estatística na Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG)

Conditioning processes of changes in limnological variables: a statistical approach in the dam of São Pedro, Juiz de Fora (MG), Brazil

Cézar Henrique Barra Rocha¹, Thiago Martins da Silva², Fabiano Amarante Freitas³

RESUMO

Os mananciais de abastecimento de água são ativos ambientais que precisam da atenção de toda a sociedade. O monitoramento de variáveis limnológicas possibilita inferir sobre as condições do recurso hídrico, além de oferecer indicativos de toda a dinâmica natural ou antrópica compreendida na bacia hidrográfica. A precipitação é um dos principais mecanismos atuantes nos parâmetros de qualidade de água, o que justifica sua relevância nesse tipo de análise. O teste *t* de Student e a análise fatorial/análise de componentes principais constituíram importantes ferramentas na interpretação dos dados limnológicos da captação da Represa de São Pedro, Juiz de Fora, Minas Gerais. O teste *t* de Student possibilitou verificar quais parâmetros apresentaram variação sazonal estatisticamente significativa. Já os resultados da análise fatorial/análise de componentes principais apontaram as variáveis mais relevantes na qualidade da água do manancial. A análise conjunta dos resultados estatísticos definiu os processos condicionantes das alterações nas variáveis estudadas, indicando o escoamento superficial como principal determinante das variáveis que compõem as componentes após rotação da matriz de componentes principais, Fator Varimax FV1 e FV4, e a contribuição orgânica, não associada à precipitação, como reflexo das variáveis da FV2 e FV3.

Palavras-chave: análises de componentes principais; recursos hídricos; bacia hidrográfica; sazonalidade.

ABSTRACT

The water reservoirs for public supply are environmental assets that need the attention from the whole society. Monitoring limnological variables allows inferring about water resources conditions, besides providing indications of natural or anthropogenic dynamics comprised in the watershed. Rainfall is one of the main mechanisms involved in water quality parameters, and its impact is relevant. The application of Student's *t*-test and factor analysis/principal components analysis was highly effective for the interpretation of limnological data in the reservoir of the dam of São Pedro, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil. Student's *t*-test has enabled to find out which parameters have shown statistically significant seasonal variation. The results of factor analysis/principal components analysis have pointed the most relevant variables in water quality of the source. The analysis of all statistical results has defined the conditioning processes of changes in the variables studied, indicating run-off as the main determinant of the variables that make up the components after rotation of the principal component matrix, Varimax Factor FV1 and FV4, and the organic contribution, not associated with precipitation, reflecting the variables FV2 and FV3.

Keywords: principal components analysis; water resources; watershed; seasonality.

INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos é assunto recorrente e amplamente discutido nas múltiplas esferas, sejam elas acadêmicas, políticas, econômicas, entre outras. Isso pode ser evidenciado pela vasta produção

científica sobre o assunto, por legislações específicas — Lei Federal 9.433/1997 (BRASIL, 1997), CONAMA 357 (BRASIL, 2005), Lei Federal 12.727/2012 (BRASIL, 2012) — e pelos interesses relativos ao seu valor enquanto recurso essencial à vida e à produção.

¹Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor Permanente do Programa de Pós-graduação em Ecologia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) - Juiz de Fora (MG), Brasil.

²Mestre em Ecologia pela UFJF. Núcleo de Análise Geo Ambiental da UFJF - Juiz de Fora (MG), Brasil.

³Mestre em Ecologia pela UFJF. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IFET) - Barbacena (MG). Pesquisador do Núcleo de Análise Geo Ambiental da UFJF - Juiz de Fora (MG), Brasil.

Endereço para correspondência: Cézar Henrique Barra Rocha - Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes e Geotecnia, Núcleo de Análise Geo Ambiental (NAGEA) - São Pedro - 36036-330 - Juiz de Fora (MG), Brasil - E-mail: barra.rocha@gmail.com

Recebido: 13/03/13 - **Aceito:** 20/05/15 - **Reg. ABES:** 113419

O monitoramento de variáveis limnológicas torna-se uma importante ferramenta na política de planejamento e gestão das águas, que deve ocorrer em nível de bacia hidrográfica (BRASIL, 1997; GUEDES *et al.*, 2012). Abordagens multivariadas, como a análise fatorial (AF) e a análise de componentes principais (ACP), são úteis para extrair informações significativas de grandes quantidades de dados de difícil análise e interpretação, pois promovem a redução do número de variáveis com o mínimo de perdas das informações (AKBAR; HASSAN; ACHARI, 2011; ANDRADE *et al.*, 2007; AUTIN & EDWARDS, 2010; BABOROWSKI; SIMEONOV; EINAX, 2012; GUEDES *et al.*, 2012; LIAO *et al.*, 2008; MENDONÇA & SOUZA, 2011; ROCHA; FREITAS; SILVA, 2014; ROCHA & COSTA, 2015; SHEELA *et al.*, 2012; SPEZIA; FUTTER; BREWER, 2011).

A precipitação influencia a vazão e a qualidade de um corpo hídrico (SANTOS; CUNHA; CUNHA, 2014; VASCO *et al.*, 2011). Contudo, é difícil estabelecer uma relação direta, uma vez que ela desencadeia processos diversos de acordo com o uso e ocupação do solo. Sob essa perspectiva, adotou-se o manancial Represa de São Pedro, também conhecida como Represa dos Ingleses ou Cruzeiro de Santo Antônio, situada no município de Juiz de Fora Minas Gerais, que abastece aproximadamente 8% da cidade (CESAMA, 2013) como objeto de estudo.

De acordo com a Lei Municipal nº 9.811/2000 — Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) — (JUIZ DE FORA, 2000), o clima de Juiz de Fora apresenta uma sazonalidade bem definida: a estação chuvosa que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e a estação seca, que vai de maio a setembro, período mais frio e com menor presença de chuvas. Essa mesma lei afirma que a bacia hidrográfica da represa necessita de cuidados especiais, por ser um importante manancial e um referencial paisagístico.

Como assevera Latuf (2004), “embora esta bacia seja considerada uma importante bacia hidrográfica para a cidade, é ainda escasso o corpo bibliográfico sobre o comportamento qualitativo das águas do córrego”. Por esse motivo, visando corroborar a gestão de suas águas, o presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento de variáveis limnológicas em diferentes regimes pluviométricos, bem como aplicar a análise estatística multivariada, AF/ACP, para melhor compreender sua dinâmica e quais parâmetros possuem maior contribuição para a variância total dos dados.

METODOLOGIA

As informações limnológicas utilizadas foram cedidas pela Companhia de Saneamento Municipal (CESAMA) e são referentes às análises da água na captação do manancial Represa de São Pedro, com coordenadas geográficas: 21° 46' 43,9" S e 43° 24' 29,2" W (Datum

WGS 84). A bacia vem sofrendo forte pressão imobiliária que, associada à ausência de políticas públicas, reflete em alterações qualitativas e quantitativas de suas águas. Esse motivo contribui para a busca de alternativas de abastecimento que extrapolam os limites municipais e comprometem a autonomia sobre esse recurso (RIBEIRO & PIZZO, 2011). A área total de drenagem da bacia de contribuição da represa é de aproximadamente 13 km² e seus principais tributários são os córregos São Pedro e Grota do Pinto. Foi utilizado o software ESRI ArcMap™ 9.3 para a elaboração do mapa índice conforme a Figura 1.

Os seguintes parâmetros foram analisados: pH, cor, turbidez, ferro (Fe), manganês (Mn), fósforo total (PT), alcalinidade HCO₃⁻, cloreto, dureza, oxigênio consumido (OC), condutividade, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) e nitrogênio total (NT) referentes às medições mensais realizadas no período de 2006 a 2012.

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 2007, 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 de sete anos monitorados. Não houve mensuração de alguns dados durante vários meses de um mesmo ano, impossibilitando calcular uma média referente à estação daquele ano. Por esse motivo, para o parâmetro Mn foram excluídos da matriz os anos de 2011 e 2012; para o PT, o ano de 2011; para a dureza, o ano de 2012; para o OC, 2006; e por fim para o NT eliminou-se da matriz o ano de 2011.

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 AF, em resumo, representa uma forma exploratória de conhecer o comportamento dos dados a partir de uma dimensão reduzida do espaço original dos parâmetros. Essa 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. Esse 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 serem 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 AF com ACP. 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 JUNIOR *et al.*, 2005). 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 ($n=30$) e $j=1\dots p$ variáveis limnológicas ($p=13$). 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 e 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

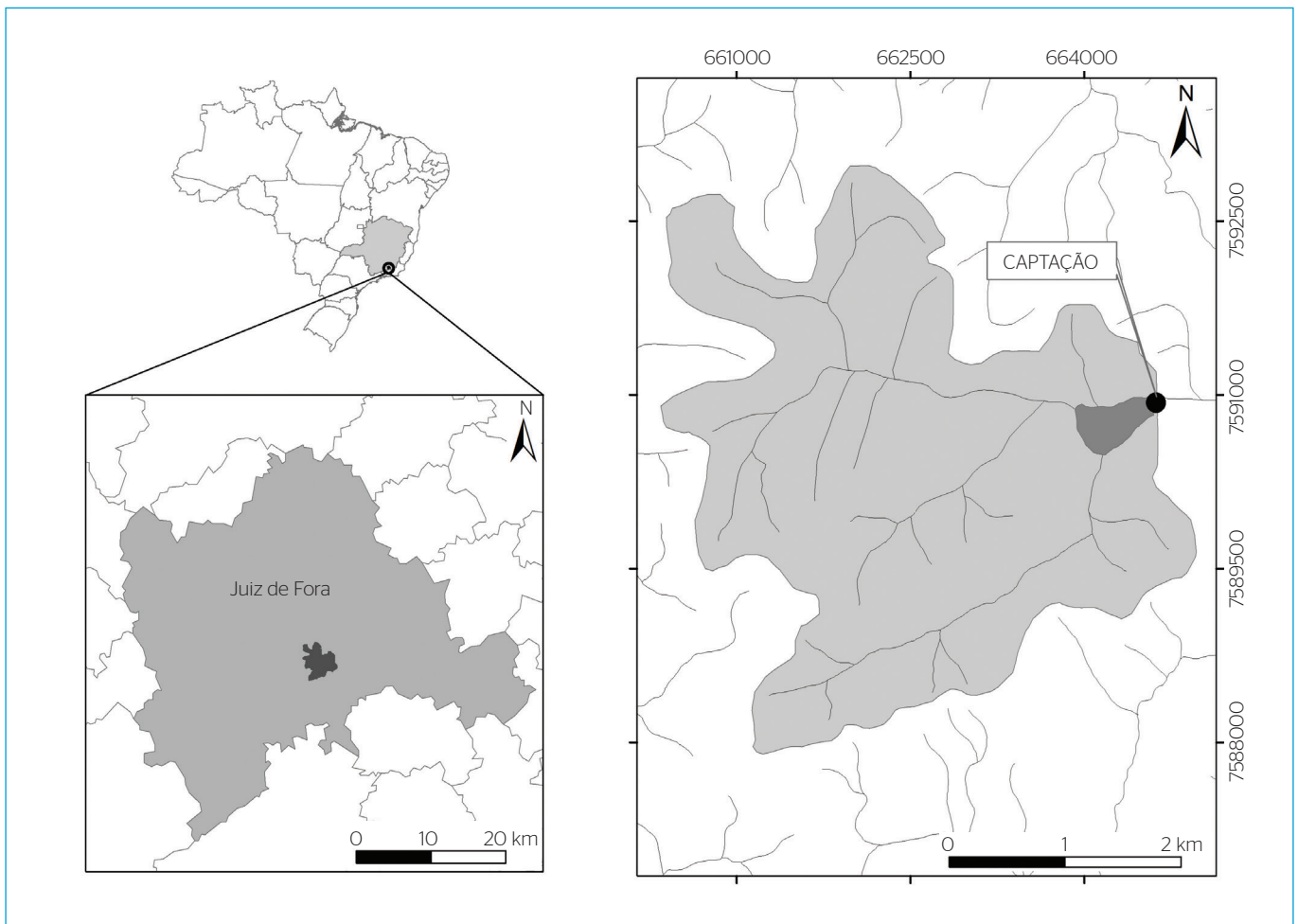


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia de Contribuição da Represa de São Pedro, Juiz de Fora, MG, Brasil.

correlacionados com a primeira, e assim sucessivamente (ANDRADE *et al.*, 2007; GUEDES *et al.* 2012).

Os resultados da ACP nem sempre são de fácil interpretação. Para suplantar tal limitação adota-se procedimento de rotação ortogonal da matriz das cargas fatoriais, que possibilita melhor interpretação dos fatores ao redistribuir a variância explicada pelas componentes, não alterando na variância acumulada do conjunto de componentes. A utilização da rotação ortogonal pelo método Varimax objetivou um melhor ajuste ao modelo fatorial possível de explicação. Maiores detalhes sobre o assunto podem ser encontrados em Hair Junior *et al.* (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelo teste *t* de Student demonstraram variação significativa entre as médias das estações de seca e chuva para 7 das 13 variáveis limnológicas analisadas. A variação foi observada para: cor, turbidez, ferro, dureza, OC, condutividade e DBO, todas apresentando aumento de suas médias no período chuvoso (Tabela 1). A justificativa para essa variação é que esses parâmetros sofrem efeito da pluviometria que, através do escoamento superficial, carrega sedimentos com nutrientes e matéria orgânica para dentro do corpo d'água.

Contudo, não é possível descartar a hipótese de que outras variáveis também sofram interferência da precipitação, uma vez que é difícil precisar (qualitativa e quantitativamente), em termos temporais, os

reflexos da chuva nos parâmetros estudados, ou seja, quanto tempo demora para acontecer ou duram as alterações observadas após um evento chuvoso.

A matriz de correlação oferece informações relevantes na compreensão da dinâmica das variáveis (Tabela 2). Os parâmetros que apresentaram forte correlação com o maior número de variáveis, a exemplo da cor, Mn, DBO_{5,20}, dureza, turbidez e alcalinidade tiveram maior importância na composição das componentes principais. Comportamento oposto foi verificado para as variáveis com menor número de altas correlações. Como assegura Toledo e Nicoletta (2002), essas constatações servem de referência quando da análise das cargas fatoriais das componentes principais.

Os testes preliminares asseguraram a adequação dos dados à AF. O resultado obtido para o teste de esfericidade de Bartlett ($p=0,000$), que testa a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, ou seja, de que não há correlação significativa entre as variáveis, possibilitou descartar a hipótese nula, assegurando correlações significativas entre elas. Já o índice de adequação da amostra (KMO), que segundo Hair Junior *et al.* (2007) quantifica o grau de intercorrelações entre as variáveis, resultou no KMO=0,656, permitindo a aplicação da análise.

A ACP possibilitou a redução de uma variável (o pH), que não contribuiu para a explicação da variância total dos dados, por apresentar uma comunalidade menor do que 0,5, valor que é geralmente utilizado como mínimo aceitável. Caso o pesquisador encontre valores abaixo desse patamar, a variável deve ser eliminada e a AF/ACP refeita (FIGUEIREDO FILHO & SILVA JÚNIOR, 2010).

Ao obter o número de componentes possíveis com seus respectivos autovalores e porcentagem de variância explicada acumulada, o melhor comportamento das variáveis ocorreu com a utilização das quatro primeiras componentes principais, que explicaram 73% de toda a variância da análise. Esse percentual, segundo Jolliffe (2002) oferece uma ideia razoável da representação da variância original, ao passo que Hair Junior *et al.* (2007) sugere 60% como aceitável.

Os pesos fatoriais (Tabela 3) determinam a significância que cada variável possui na componente principal. Outra informação relevante é o percentual de variância explicada por cada componente, que reflete sua importância na variação total. Nota-se que algumas variáveis encontram-se presentes em mais de uma componente principal (CP), dificultando a análise e justificando necessidade de rotação. A rotação Varimax dos dados (Tabela 4) apresentou um resultado satisfatório, com melhor distribuição da variância total entre as componentes, fato que também foi constatado por Andrade *et al.* (2007), Guedes *et al.* (2012) e Helena *et al.* (2000). A exceção foi o parâmetro condutividade.

A primeira componente (FV1) explicou 31,938% da variação total e seus parâmetros mais expressivos (Mn, DBO_{5,20}, turbidez, cor, dureza

Tabela 1 - Resultados do teste *t* Student e valores de média e desvio padrão das variáveis monitoradas.

Variável	Valor p*	Média ± DP (2006 - 2012)	
		Seca	Chuva
Cor (uH)	3,89×10 ⁻⁶	35,21±14,22	72,77±17,69
Turbidez (uT)	0,005	8,56±3,96	11,56±3,13
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,004	0,78±0,38	1,73±0,5
Manganês (mg.L ⁻¹)	0,104	0,25±0,09	0,36±0,21
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	0,379	1,04±1,67	0,40±0,13
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	0,081	9,71±2,79	11,06±1,77
Cloreto (mg.L ⁻¹)	0,841	5,88±2,57	5,80±3,34
Dureza (mg.L ⁻¹)	0,012	8,43±1,68	10,76±1,09
OC (mg.L ⁻¹)	0,003	2,13±0,64	3,58±1,17
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	4,6×10 ⁻⁵	19,78±1,58	28,44±2,47
Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L ⁻¹)	0,03	8,71±1,84	15,34±4,88
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	0,408	1,77±0,88	1,32±0,88

*Teste *t* de Student; DP: desvio padrão.

e alcalinidade) associam-se à presença de sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, íons e matéria orgânica. Tais variáveis refletem o aporte de material alóctone lixiviado.

A correlação entre o Mn e a DBO_{5,20} se dá pelo fato de íons metálicos se associarem facilmente com a matéria orgânica dissolvida formando complexos (BORGES *et al.*, 2007; MORUZZI, 2000),

Tabela 2 - Matriz de correlação das variáveis limnológicas da Represa de São Pedro.

	Cor	Turb.	Fe	Mn	PT	Alcal.	Clor.	Dur.	OC	Cond.	DBO _{5,20}	NT
Cor	1,000											
Turb.	0,648	1,000										
Fe	0,602	0,280	1,000									
Mn	0,733	0,701	0,449	1,000								
PT	0,215	0,169	0,671	0,334	1,000							
Alcal.	0,548	0,331	0,384	0,618	0,166	1,000						
Clor.	0,130	0,163	-0,035	0,368	0,016	0,458	1,000					
Dur.	0,550	0,296	0,402	0,503	0,189	0,458	0,318	1,000				
OC	0,427	0,217	0,248	0,188	0,124	0,086	-0,117	0,094	1,000			
Cond.	0,449	0,333	0,161	0,484	-0,006	0,438	0,304	0,077	0,299	1,000		
DBO _{5,20}	0,711	0,702	0,298	0,658	0,090	0,429	0,253	0,552	0,269	0,376	1,000	
NT	0,347	0,110	0,208	0,037	0,196	0,186	0,234	0,168	0,067	0,167	0,133	1,000

Cor (uH); Turb.: turbidez (uT); Fe: ferro (mg.L⁻¹); Mn: manganês (mg.L⁻¹); PT: fósforo total (mg.L⁻¹); Alcal.: alcalinidade HCO₃⁻ (mg.L⁻¹); Clor.: cloreto (mg.L⁻¹); Dur.: dureza (mg.L⁻¹); OC: oxigênio consumido (mg.L⁻¹); Cond.: condutividade (µS.cm⁻¹); DBO_{5,20}: demanda bioquímica de oxigênio (mg.L⁻¹); NT: nitrogênio total (mg.L⁻¹).

Tabela 3 - Matriz de pesos fatoriais das variáveis limnológicas nas quatro componentes principais selecionadas.

Variável	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Cor	0,895	0,103	-0,180	0,074
Turbidez	0,723	-0,095	-0,314	-0,208
Ferro	0,622	0,647	0,178	-0,017
Manganês	0,871	-0,105	-0,035	-0,225
Fósforo total	0,376	0,701	0,350	-0,024
Alcalinidade	0,707	-0,234	0,283	0,035
Cloreto	0,383	-0,578	0,517	0,115
Dureza	0,647	-0,014	0,278	-0,319
Oxigênio consumido	0,360	0,274	-0,583	0,390
Condutividade	0,547	-0,336	-0,230	0,463
Demanda bioquímica de oxigênio	0,794	-0,182	-0,235	-0,202
Nitrogênio total	0,307	0,089	0,388	0,663
Autovalor	4,829	1,559	1,309	1,064
% variância explicada	40,240	12,993	10,906	8,867
% variância acumulada	40,240	53,233	64,139	73,006

CP: componente principal.

Tabela 4 - Matriz de pesos fatoriais das quatro componentes principais após rotação Varimax.

Variável	FV 1	FV 2	FV 3	FV 4
Manganês	0,870	0,192	0,154	0,068
Demanda bioquímica de oxigênio	0,848	0,023	0,063	0,189
Turbidez	0,780	0,043	-0,038	0,248
Cor	0,732	0,317	0,214	0,408
Dureza	0,643	0,319	0,152	-0,245
Alcalinidade	0,603	0,144	0,495	-0,081
Fósforo total	0,085	0,864	0,049	-0,004
Ferro	0,334	0,833	0,062	0,169
Nitrogênio total	-0,106	0,314	0,736	0,204
Cloreto	0,346	-0,172	0,691	-0,366
Oxigênio consumido	0,165	0,122	-0,025	0,809
Condutividade	0,398	-0,205	0,494	0,484
Autovalor	3,833	1,886	1,614	1,428
% variância explicada	31,938	15,720	13,450	11,897
% variância acumulada	31,938	47,658	61,108	73,006

VF: fator Varimax.

refletindo também nas correlações entre essas variáveis e a turbidez. O manganês pode se apresentar na forma solúvel ou insolúvel, justificando a alta correlação com cor e turbidez. Interfere na dureza por ser um cátion metálico em solução. A dureza se correlaciona moderadamente com a alcalinidade por estar associada a complexos carbonatos (a exemplo do carbonato de cálcio) e possui alto coeficiente de Pearson com a cor, por também ser constituída por íons dissolvidos. A alcalinidade, que é determinada pela presença de HCO_3^- na água, pode se originar da dissolução de rochas, dos despejos industriais e da reação da água com o CO_2 atmosférico, ou ser proveniente da decomposição da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

A FV2 foi responsável por 15,72% da variância total dos dados e os parâmetros mais significativos foram o PT e o Fe. O fósforo tem como origem antropogênica os despejos domésticos e industriais, excremento de animais e fertilizantes (VON SPERLING, 2005). O ferro, assim como o Mn, também se associa à matéria orgânica, formando complexos. A possibilidade de formação de complexos justifica o elevado coeficiente de Pearson entre o fósforo e Fe, e correlação moderada com o Mn. O resultado do teste *t* de Student para o PT demonstrou que não houve variação sazonal significativa, sendo um forte indício de que essa variável não é influenciada pela lixiviação, mas provém de fontes pontuais, possivelmente esgotos.

A FV3 teve como variáveis relevantes o NT e o cloreto, e foi responsável por explicar 13,45% da variância total. Segundo Von Sperling (2005), cloretos são compostos que, em solução, se dissociam liberando Cl⁻. Naturalmente se originam da dissolução de minerais e da intrusão salina. É um dos principais ânions encontrados nos esgotos domésticos por estar presente na urina. O nitrogênio pode ser encontrado na natureza em várias formas provenientes de um ciclo que envolve uma série de processos químicos (WETZEL, 2001). Suas fontes antropogênicas e seu comportamento em nossa análise, destacando a ausência de variação sazonal com diferenças significativas (Tabela 1), foram semelhantes ao descrito anteriormente para o fósforo.

A última componente FV4 é representada pelo OC e explicou 11,897% da variância total dos dados. O OC tem o mesmo sentido químico que a demanda química de oxigênio (DQO), entretanto, é mais utilizado quando o oxidante é o permanganato e a reação ocorre em condições menos energéticas, sendo mais empregado em águas limpas, com baixas concentrações de matéria orgânica (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). Essa variável reflete a dinâmica funcional e ecológica do ambiente aquático, relacionada ao aporte de materiais alóctones com indicativo de interferência da

precipitação sobre este parâmetro, fato constatado pelo resultado obtido com o teste *t* (Tabela 1).

A maioria das variáveis com maior peso fatorial na FV1 apresentou variação estatisticamente significativa ($p < 0,05$) nos diferentes regimes pluviométricos. O comportamento das variáveis possibilita inferir que a FV1 se relaciona com o escoamento superficial e processos erosivos, sendo caracterizada por um grupo de sólidos, resultado semelhante ao encontrado por Andrade *et al.* (2007). Já a FV2 e FV3 associam-se à contribuição de cargas de esgotos domésticos, não sendo possível perceber, a partir do teste *t*, influência da sazonalidade. Por sua vez, a FV4 está associada à carga orgânica influenciada pela precipitação. A condutividade apresentou correlação moderada com diversas variáveis (Tabela 2), influenciada tanto pela lixiviação quanto por fontes pontuais, o que poderia justificar sua distribuição em mais de uma componente, mesmo após a rotação Varimax.

A bacia de contribuição do manancial sofre os reflexos do crescimento urbano desordenado, que promove impactos negativos com reflexos na qualidade da água. A redução da cobertura vegetal com exposição do solo e o desrespeito às áreas de preservação permanente (APP) são os principais fatores de degradação da qualidade das águas como verificado pela FV1. Ribeiro e Pizzo (2011) afirmam que a represa, nos próximos anos, pode deixar de compor o sistema municipal de abastecimento, caso não sejam tomadas as medidas necessárias à recuperação ambiental de sua bacia hidrográfica.

CONCLUSÕES

A utilização do teste *t* de Student confirmou a necessidade de estudos que contemplem diferentes estações (seca e chuva), tendo em vista a variação observada para importantes parâmetros limnológicos em virtude da pluviosidade.

A estatística multivariada AF/ACP promoveu a redução do número de variáveis de qualidade da água, facilitando a interpretação dos dados que mais influenciam na dinâmica do manancial. A análise permitiu a seleção de quatro componentes principais que explicaram 73% da variação total dos dados, indicando o escoamento superficial como principal determinante das variáveis que compõem a FV1 e FV4 e a contribuição orgânica, não associada à precipitação, como sugestiva das variáveis da FV2 e FV3.

Estudos que levem em consideração o uso e cobertura da terra podem colaborar na compreensão do comportamento das variáveis limnológicas que definem a qualidade da água, auxiliando no plano de gestão ambiental e no gerenciamento sustentável da bacia.

REFERÊNCIAS

- AKBAR, T.A.; HASSAN, Q.K.; ACHARI G. (2011) A methodology for clustering lakes in Alberta on the basis of water quality parameters. *Clean – Soil, Air, Water*, v. 39, n. 10, p. 916-924.
- ANDRADE, E.M.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; DISNEY, W.; ALVES, A.B. (2007) Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 3, p. 683-690.
- AUTIN, M.A. & EDWARDS, D. (2010) Nonparametric harmonic regression for estuarine water quality data. *Environmetrics*, v. 21, n. 6, p. 588-605.
- BABOROWSKI, M.; SIMEONOV, V.; EINAX, J.W. (2012) 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.
- BORGES, E.C.L.; MORETO A.A.; NEVES, E.F.A.; BORGES NETO, W.; BEZERRA, J.M. (2007) 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. 1505-1511.
- BRASIL. (1997) Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 25 jan. 2013.
- BRASIL. (2005) Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre 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: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2013.
- BRASIL. (2012) Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm>. Acesso em: 25 jan. 2013.
- CESAMA - COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL. (2013). Mananciais: Represa de São Pedro [Internet]. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/?pagina=rsaopedro>>. Acesso em: 25 jan. 2013.
- COHEN, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2ed., Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates. 567 p.
- FIGUEIREDO FILHO, D.B. & SILVA JUNIOR, J.A. (2010) Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. *Opinião Pública*, v. 16, n. 1, p. 160-185.
- GUEDES, H.A.S.; SILVA, D.D.; ELESBON, A.A.A.; RIBEIRO, C.B.M.; MATOS, A.T.; SOARES, J.H.P. (2012) 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.
- HAIR JUNIOR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. (2005). *Análise multivariada de dados*. 5 ed. Porto Alegre: Bookman. 593 p.
- HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J.M.; FERNÁNDEZ, L. (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.
- JOLLIFFE, L.T. (2002) *Principal component analysis*. 2 ed. New York: Springer. 487 p.
- JUIZ DE FORA. (2000) 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>. Acesso em: 28 jan. 2013.
- LATUF, M.O. (2004) Diagnóstico das águas superficiais do Córrego São Pedro. *Geografia (Londrina)*, v. 13, n. 1, 2004, p. 21-56.
- LIAO, S.W.; GAU, H.S.; LAI, W.L.; CHEN, J.J.; LEE, C.G. (2008) Identification of pollution of Tapeng Lagoon from neighbouring rivers using multivariate statistical method. *Journal of Environmental Management*, v. 88, n. 2, p. 286-292.
- MENDONÇA, E.C.C.N. & SOUZA, P.S. (2011) 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, n. 1, p. 19-36.
- MORUZZI, R.B. (2000) *Tratamento de água de abastecimento, contendo ácido húmico complexado com ferro e manganês, utilizando a flotação por ar dissolvido conjugada à oxidação química*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- RIBAS, J.R. & VIEIRA, P.R.C. (2011) *Análise multivariada com o uso do SPSS*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna. 284 p.
- RIBEIRO, C.R. & PIZZO, H.S. (2011) Avaliação da sustentabilidade hídrica de Juiz de Fora/MG. *Mercator*, v. 10, n. 21, p. 171-188.
- ROCHA, C.H.B.; FREITAS, F.A.; SILVA, T.M. (2014) 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.
- ROCHA, C.H.B. & COSTA, H.F. (2015) Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 2, p. 543-550.

SANTOS, E.S.; CUNHA, A.C.; CUNHA, E.D.S. (2014) Análise espaço-sazonal da qualidade da água na zona flúvio-marinha do Rio Araguari, Amazônia Oriental, Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 3, p. 215-226.

SHEELA, A.M.; LETHA, J.; JOSEPH, S.; CHACKO, M.; SANAL KUMAR, S.P.; THOMAS, J. (2012) Water quality assessment of a tropical coastal lake system using multivariate cluster, principal component and factor analysis. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, n. 17, p. 143-159.

SPEZIA, L.; FUTTER, M.N.; BREWER, M.J. (2011) Periodic multivariate normal hidden Markov models for the analysis of water quality time series. *Environmetrics*, v. 22, n. 3, p. 304-317.

TOLEDO, L.G. & NICOLELLA, G. (2002) Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agrícola*, v. 59, n. 1, p. 181-186.

VALENTE, J.P.S.; PADILHA, P.M.; SILVA, A.M.M. (1997). Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (QDO) como parâmetros de poluição no Ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. *Éclética Química*, v. 22, p.49-66.

VASCO, A.N.; BRITTO, F.B.; PEREIRA, A.P.S.; MÉLLO JÚNIOR, A.V.M.; GARCIA, C.A.B.; NOGUEIRA, L.C. (2011) Avaliação espacial e temporal da qualidade de água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 6, n.1, p.118-130.

VON SPERLING, M. (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 ed. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMF. 452 p.

WETZEL, R.G. (2001) *Limnology: lake and rivers ecosystems*. 3 ed. San Diego: Academic Press. 1006 p.