

Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais

Temporal and spatial trends of surface water quality of Velhas River sub-basin, Minas Gerais state

Ana Laura Cerqueira Trindade¹, Katiane Cristina de Brito Almeida¹,
Pedro Engler Barbosa², Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira³

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise da tendência temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, inserida na bacia do Rio São Francisco, em Minas Gerais, Brasil. Foram analisados 16625 dados coletados no período de 2002 a 2011 pelo programa de monitoramento de qualidade das águas superficiais efetuado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam). Testes estatísticos, multivariados e não paramétricos foram utilizados para avaliar 11 variáveis físicas, químicas e microbiológicas de 29 estações de monitoramento. Os resultados das análises de tendência Mann-Kendall/Sazonal de Mann-Kendall sugeriram que a maioria dos cursos d'água da região apresentam valores estáveis das variáveis ao longo do período estudado, com maiores alterações associadas a coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrato e índice de qualidade das águas (IQA), principalmente nas proximidades dos grandes centros urbanos. A análise de Cluster definiu três grandes grupos de estações de monitoramento, agrupadas segundo a qualidade de suas águas, correspondentes aos níveis de alta poluição, poluição moderada e baixa poluição. No entanto, ao longo de toda a sub-bacia, foi observada a degradação da qualidade da água durante o período estudado, principalmente relacionada ao lançamento de esgotos domésticos. Uma importante constatação foi a alteração da qualidade da água no baixo Rio das Velhas, apontada pela tendência de redução do IQA em estações localizadas nessa região, o que merece atenção dos órgãos governamentais para ações de manejo.

Palavras-chave: monitoramento; estatística multivariada; bacia do Rio São Francisco; análise de Cluster; Mann-Kendall.

ABSTRACT

This article presents a temporal and spatial trend analysis of the surface waters quality of Velhas River, inserted in the São Francisco basin, in Minas Gerais. It was analyzed 16625 data collected between 2002 and 2011 by the water quality monitoring program carried out by the Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Institute of Water Management of Minas Gerais - IGAM). Statistical tests, multivariate and non-parametric tests were used to assess 11 physical, chemical and microbiological variables of 29 monitoring stations. The results of Mann-Kendall/Sazonal Mann-Kendall trend tests indicated that most of the watercourses in the region showed stable values of the parameters over the study period, with changes associated with thermotolerant coliforms, biochemical oxygen demand (BOD), nitrate and water quality index (IQA) mainly near large urban centers. The Cluster analysis identified three major groups of monitoring stations, grouped according to the quality of its waters, corresponding to high levels of pollution, moderate pollution and low pollution. However, throughout all the sub-basin, it was observed the degradation of the water quality, mainly related to the release of wastewater. An important finding was the worsening of water quality in the low stretch of Velhas River, appointed by the downward trend in the IQA at stations located in this region, which deserves attention of government agencies for management actions.

Keywords: monitoring, multivariate statistical analysis; São Francisco River basin; Cluster analysis; Mann-Kendall.

¹Mestre pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte (MG), Brasil.

²Graduado em Engenharia Ambiental pela UFMG - Belo Horizonte (MG), Brasil.

³Doutora pela UFMG - Belo Horizonte (MG), Brasil.

Endereço para correspondência: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira - Avenida Antônio Carlos, 6627 - Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Pampulha - Escola de Engenharia, Bloco 1, 4º andar, sala 4525 - Belo Horizonte (MG), Brasil - E-mail: silvia@desa.ufmg.br

Recebido: 03/03/14 - **Aceito:** 06/04/16 - **Reg. ABES:** 131457

INTRODUÇÃO

O monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos. Esses procedimentos permitem a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas, sendo essenciais para várias atividades, tais como planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos cursos de água (ANA, 2011). Trata-se de estratégias importantes para o manejo sustentável do uso dos recursos hídricos. A avaliação da qualidade da água inclui monitoramento, análise dos dados, elaboração de relatórios e disseminação de informações sobre as condições do ambiente aquático (BOYACIOGLU & BOYACIOGLU, 2008).

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), por meio da coordenação do Projeto Águas de Minas, é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do estado. Em execução desde 1997, o programa disponibiliza uma série histórica de dados da qualidade das águas e gera informações indispensáveis ao gerenciamento efetivo dos recursos hídricos (IGAM, 2011).

O monitoramento de corpos d'água por longos períodos e em várias estações de amostragem produz um banco de dados grande e complexo que abrange diversos tipos de parâmetros de qualidade da água. Essa complexidade dificulta a análise, a interpretação dos dados e a extração de informações úteis para a gestão adequada da qualidade da água, sendo o banco de dados muitas vezes subutilizado.

Métodos estatísticos multivariados são excelentes ferramentas exploratórias para a interpretação desse complexo conjunto de informações e são com frequência utilizados concomitantemente com as análises de tendência. As análises de tendência temporal possibilitam a avaliação de longas séries de dados, sendo úteis para o acompanhamento e a predição da evolução da qualidade da água. Já as análises de tendência espacial permitem compreender a influência que fatores como o uso e a ocupação do solo e fontes de poluição na sub-bacia exercem sobre a qualidade das águas, oportunizando a identificação dos trechos mais críticos da sub-bacia (IGAM, 2010a). Essas análises têm como objetivo subsidiar medidas preventivas, corretivas e emergenciais a serem tomadas para a manutenção do equilíbrio do ecossistema (CHRISTOFARO & LEÃO, 2009; GROPPPO, 2005; VIANA, 2011).

No presente trabalho foi efetuada uma análise das tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água monitorados na sub-bacia do Rio das Velhas, considerada a mais impactada da bacia do Rio São Francisco. Espera-se contribuir para a compreensão da evolução e do comportamento dos poluentes, o que poderá subsidiar os órgãos gestores para ações de manejo visando à melhoria da qualidade da água.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia do Rio São Francisco é a terceira bacia hidrográfica do Brasil em extensão territorial e está inserida totalmente em território brasileiro. No estado de Minas Gerais é dividida em dez sub-bacias, correspondentes às Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), unidades físico-territoriais identificadas nas bacias hidrográficas do estado e que apresentam identidade regional caracterizada por aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos (IGAM, 2010a).

A sub-bacia do Rio das Velhas equivale à UPGRH SF5 e possui características bastante distintas das demais unidades de planejamento. Para fins de gerenciamento ambiental, divide-se tal sub-bacia em trechos alto, médio e baixo.

O alto Rio das Velhas é delimitado, ao sul, pelo município de Ouro Preto e, ao norte, por Belo Horizonte, Contagem e Sabará, correspondendo a 9,8% da área de drenagem da bacia. Compreende o Quadrilátero Ferrífero, região muito importante economicamente para Minas Gerais e para o país, por possuir importantes reservas minerais de ferro, manganês, cobre, antimônio, arsênio, ouro, alumínio e urânio, sendo bastante explorada por atividades minerárias. Apresenta o maior contingente populacional da bacia (cerca de 70% da população), com expressiva atividade econômica concentrada na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), onde estão presentes os maiores focos de poluição hídrica da bacia.

Os trechos médio e baixo do Rio das Velhas correspondem, nesta ordem, a 45 e 45,2% da área de drenagem da bacia, com características diferenciadas, incluindo menor concentração populacional (25% da população da bacia no trecho médio e 5% no trecho baixo) e predomínio das atividades agrícolas e pecuárias. As áreas de pastagem ocupam aproximadamente a metade da área da sub-bacia (45,6%), evidenciando métodos extensivos de criação bovina. No médio Rio das Velhas, que se inicia após a foz do Ribeirão da Mata, seguindo até a foz do Rio Paraúna, é verificada ainda a exploração de calcário, como matéria-prima para a indústria de cimento, enquanto a extração de areia ocorre em toda a sub-bacia. O baixo Rio das Velhas começa após a confluência com o Rio Paraúna e vai até sua foz, no Rio São Francisco (CAMARGOS, 2005; IGAM, 2010b).

A Tabela 1 apresenta diversas informações sobre as estações de monitoramento de qualidade da água da UPGRH SF5, ordenadas de montante para jusante. A localização das estações analisadas é mostrada na Figura 1.

Dados analisados

Neste estudo foi utilizada uma série histórica de dez anos, considerando os dados de monitoramento da qualidade das águas da sub-bacia do

Rio das Velhas obtidos entre 2002 e 2011, em 29 estações pertencentes à rede básica de monitoramento do IGAM. Foram analisadas 11 variáveis, correspondendo a 1.684 coletas trimestrais e mensais, que totalizaram 16.625 observações.

Para a seleção dos parâmetros avaliados neste estudo, levaram-se em conta os resultados do trabalho de Trindade (2013), que avaliou a qualidade das águas da bacia do Rio São Francisco e identificou aqueles considerados como os mais importantes na degradação da Unidade SF5. Os parâmetros indicados pelo autor e estudados neste trabalho foram arsênio total (As_T), coliformes termotolerantes (Coli. term.), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P_T), índice de qualidade das águas (IQA), manganês total (Mn_T), nitrato ($N-NO_3^-$), nitrogênio amoniacal total ($N-NH_4^+$), oxigênio dissolvido (OD), sólidos suspensos totais (SST) e turbidez (Turb.).

O banco de dados passou por um rigoroso processo de avaliação para identificação da presença de *outliers*, por meio do método exploratório da amplitude interquartil (NAGHETTINI & PINTO, 2007). Após a identificação desses valores atípicos, foi realizada uma análise individual de cada uma dessas observações, confrontando-a com os demais parâmetros coletados na mesma data, com as coletas feitas em datas próximas e observando se o período da coleta era seco ou chuvoso, objetivando compreender o motivo da variação encontrada. Com base nessa análise, 27 valores discrepantes foram substituídos pelo valor mediano do parâmetro na estação correspondente.

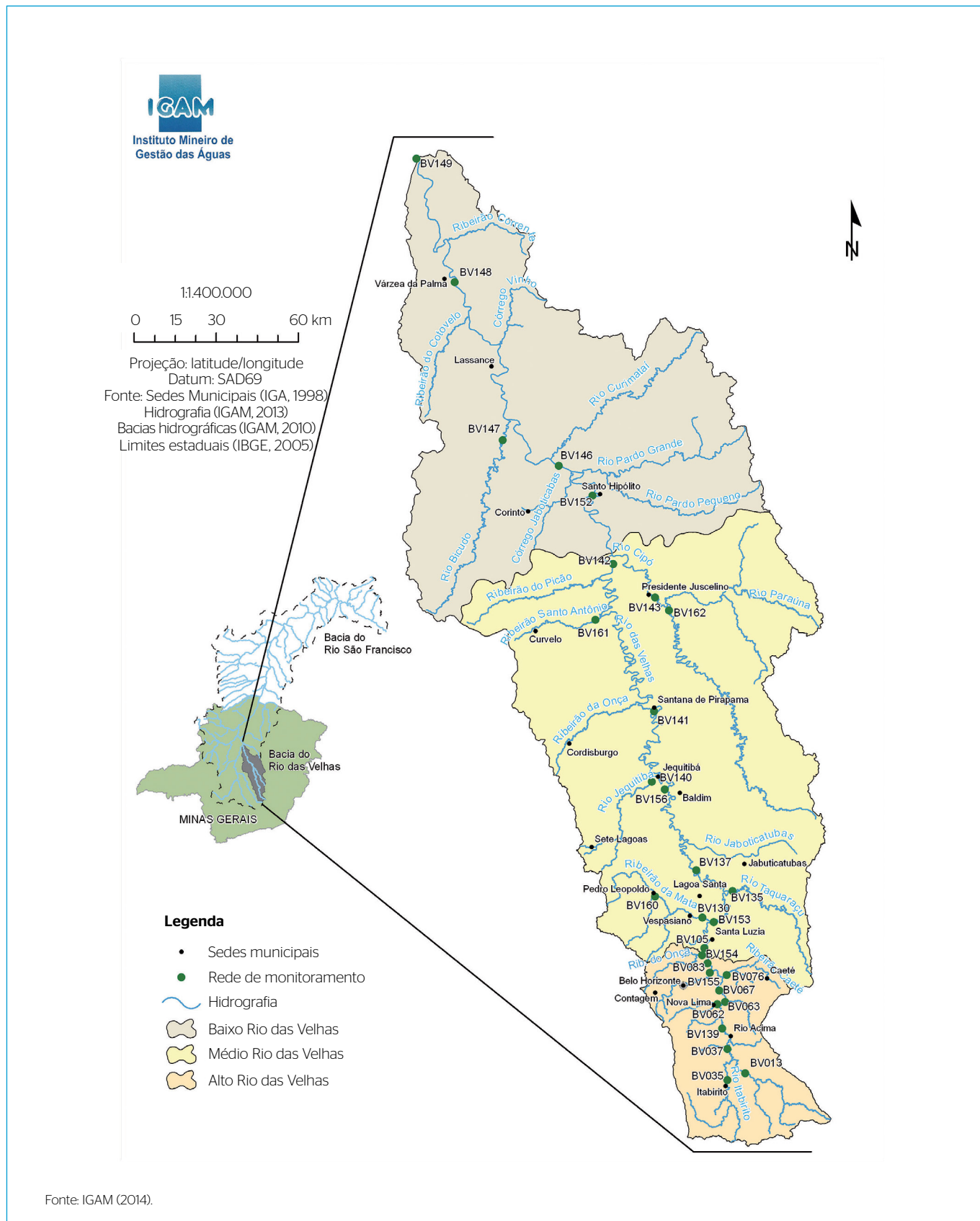
Análise das tendências temporais

O teste de Mann-Kendall pode ser definido, em linhas gerais, como um teste para definir se os valores de Y tendem a diminuir ou aumentar

Tabela 1 - Descrição das estações de monitoramento, ordenadas de montante para jusante.

Estação	Município	Trecho	Curso d'água	Classe de enquadramento (DN Copam/CERH 01/081)
BV013	Itabirito	Alto	Rio das Velhas	Classe 2
BV035	Itabirito	Alto	Rio Itabirito	Classe 2
BV037	Rio Acima	Alto	Rio das Velhas	Classe 2
BV139	Rio Acima	Alto	Rio das Velhas	Classe 2
BV062	Nova Lima	Alto	Ribeirão Água Suja	Classe 2
BV063	Nova Lima/Raposos	Alto	Rio das Velhas	Classe 2
BV067	Sabarará	Alto	Rio das Velhas	Classe 2
BV076	Sabarará	Alto	Ribeirão Sabará	Classe 3
BV155	Sabarará	Alto	Ribeirão Arrudas	Classe 3
BV083	Sabarará	Alto	Rio das Velhas	Classe 3
BV154	Santa Luzia	Alto	Ribeirão do Onça	Classe 3
BV105	Santa Luzia	Médio	Rio das Velhas	Classe 3
BV160	Pedro Leopoldo	Médio	Ribeirão das Neves	Classe 2
BV130	Vespasiano	Médio	Ribeirão da Mata	Classe 2
BV153	Santa Luzia	Médio	Rio das Velhas	Classe 3
BV135	Jaboticatubas/Santa Luzia	Médio	Rio Taquaraçu	Classe 1
BV137	Lagoa Santa	Médio	Rio das Velhas	Classe 3
BV156	Baldim	Médio	Rio das Velhas	Classe 2
BV140	Jequitibá	Médio	Ribeirão Jequitibá	Classe 2
BV141	Santana de Pirapama	Médio	Rio das Velhas	Classe 2
BV161	Inimutaba	Médio	Ribeirão Santo Antônio	Classe 2
BV142	Inimutaba/Presidente Juscelino	Médio	Rio das Velhas	Classe 2
BV162	Presidente Juscelino	Médio	Rio Cipó	Classe 1
BV143	Presidente Juscelino	Médio	Rio Paraúna	Classe 1
BV152	Santo Hipólito	Baixo	Rio das Velhas	Classe 2
BV146	Augusto de Lima/Corinto	Baixo	Rio das Velhas	Classe 2
BV147	Corinto	Baixo	Rio Bicudo	Classe 1
BV148	Várzea da Palma	Baixo	Rio das Velhas	Classe 2
BV149	Várzea da Palma	Baixo	Rio das Velhas	Classe 2

¹Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG n. 1, de 5 de maio de 2008 (COPAM; CERH, 2008).



Fonte: IGAM (2014).

Figura 1 - Localização das estações da sub-bacia do Rio das Velhas analisadas para o estudo das tendências temporais e espaciais.

com T (tempo), em uma mudança monotônica (HELSEL & HIRSCH, 1992). Para realizar o teste de Mann-Kendall, a estatística S de Kendall é computada pela comparação de todos os pares Y e T (parâmetro e tempo). O teste estatístico S, o teste para tendência, mede a dependência monotônica de Y em T. Tau (τ) mede a força de uma relação monotônica de Y em T. É um procedimento baseado em ranqueamento.

Os valores são avaliados como uma série temporal ordenada, e cada valor é comparado com todos os dados subsequentes. Se o dado de um período posterior é maior que o valor de um período anterior, a estatística S é incrementada em 1. Ao contrário, se o dado de um período posterior for menor que o valor amostrado anteriormente, S é reduzido em 1.

A soma de todos os incrementos e reduções leva ao valor final de S (DRÁPELA & DRÁPELOVÁ, 2011). Se o número de somas e subtrações for igual, então não há tendência. Se os resultados mostrarem mais somas do que reduções, isso indica possibilidade de tendência positiva; e, ao contrário, havendo mais subtrações do que somas, existe uma evidência de tendência negativa nos dados (USEPA, 2006; JOHNSON *et al.*, 2009). A hipótese nula de não tendência é rejeitada quando S (e, por consequência, τ de Kendall de Y *versus* T) é significativamente diferente de zero. Conclui-se, então, que existe tendência monotônica de Y sobre T.

O teste sazonal de Mann-Kendall leva em consideração a sazonalidade ao realizar o teste de Mann-Kendall em cada uma das n estações separadamente, combinando mais tarde o resultado. Dessa forma, é um método robusto para acomodar a sazonalidade para estimativas de tendência em registros de qualidade da água (BOEDER & CHANG, 2008), sendo uma modificação ou extensão do teste de Mann-Kendall (USEPA, 2006; JOHNSON *et al.*, 2009).

Uma tendência temporal eventualmente presente em uma série Y ao longo do tempo T pode também ser detectada pela correlação entre a série e o índice de tempo. Essa é a ideia essencial do teste não paramétrico de Spearman (NAGUETTINI; PINTO, 2007). Por ser uma técnica que opera com o ranqueamento dos dados, é relativamente insensível aos *outliers* e não requer que os dados tenham sido coletados em intervalos regulares. Ela pode ser usada com amostras pequenas e é facilmente aplicável (USEPA, 2006; GAUTHIER, 2001). É importante ressaltar que o coeficiente de correlação de Spearman deve ser utilizado como uma ferramenta exploratória, em conjunto com outras informações, e as conclusões devem ser baseadas em todos os resultados (GAUTHIER, 2001).

Neste trabalho, a análise das séries temporais adotou o seguinte procedimento:

- verificação da autocorrelação da série temporal, por meio dos testes de correlação de Spearman;
- teste de Kruskal-Wallis, para constatar diferenças significativas entre os dados medidos nas diferentes estações do ano;
- testes de tendências temporais de Mann-Kendall ou sazonal de Mann-Kendall.

Os testes de correlação de Spearman, de Kruskal-Wallis, de Mann-Kendall ou sazonal de Mann-Kendall são testes não paramétricos, já que os dados foram previamente testados e não mostraram aderência à distribuição normal. Para as análises foram utilizados os *softwares* Statistica 8.0 e XLSTAT.

A correlação de Spearman foi determinada relacionando os dados de monitoramento do parâmetro com o tempo, e as coletas foram ordenadas da mais antiga (2002) para a mais recente (2011). Todas as coletas realizadas na estação foram incluídas nessa análise, independentemente da frequência de amostragem. Correlações com valor p menores que 0,05 (nível de significância de 5%) foram consideradas significativas; ou seja, houve tendência de elevação ou de redução ao longo do tempo para o parâmetro averiguado em determinada estação.

Em seguida, para corroborar os resultados encontrados na correlação, foram desenvolvidos os testes de Mann-Kendall ou sazonal de Mann-Kendall. Para a definição de qual dos dois testes utilizar em cada caso, a série histórica de cada parâmetro, para cada estação, foi avaliada quanto à presença ou ausência de sazonalidade, comparando os quatro trimestres do ano por meio do teste de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 5%.

Para as séries que apresentaram diferença significativa entre os trimestres ($p < 0,05$), foi levada em conta a existência de influência da sazonalidade nos dados. Dessa forma, para essas situações, realizou-se o teste sazonal de Mann-Kendall. Ao contrário, para as séries nas quais não foi identificada sazonalidade ($p > 0,05$ no teste de Kruskal-Wallis), foi empregado o teste de Mann-Kendall para análise de tendência temporal. Essa metodologia está de acordo com a estabelecida por Christofaro e Leão (2009) e Groppo (2005).

Para os testes de Mann-Kendall, todos os dados da série histórica foram utilizados. Já nos casos em que foi aplicado o teste sazonal de Mann-Kendall, para os resultados não sofrerem interferência das diferentes frequências de amostragem, só foram incluídas nas análises as coletas trimestrais. Da mesma maneira que nos testes de correlação, foram interpretados como tendência significativa os resultados cujo valor p foram menores que 0,05 para esses dois testes de tendência.

Análise das tendências espaciais

Nessa etapa foi empregada como método estatístico multivariado a análise de Cluster (AC), com ligação completa, para agrupar as 29 estações estudadas da sub-bacia do Rio das Velhas, de acordo com suas similaridades, levando em consideração os dados físico-químicos e microbiológicos do monitoramento da qualidade da água. Os dados foram padronizados por parâmetro, com transformação para escala Z (média zero e desvio padrão 1: $Z = (X - \mu)/\sigma$), a fim de evitar interferências no resultado por conta de diferentes unidades de medida dos parâmetros. O objetivo dessa análise foi verificar as variações espaciais na sub-bacia do Rio das Velhas, em função da qualidade da água das diversas estações de monitoramento.

Os resultados das análises da tendência temporal de cada parâmetro também foram averiguados espacialmente. Em cada estação pesquisada na sub-bacia do Rio das Velhas, foi apontado se a tendência verificada para o parâmetro ao longo do tempo foi de elevação, redução ou se não houve tendência. Dessa forma, foi possível identificar, no geral, se a qualidade da água tinha melhorado, piorado ou se não havia sofrido alteração ao longo do tempo nas estações localizadas ao longo da sub-bacia do Rio das Velhas.

A metodologia utilizada para a análise das tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água da sub-bacia do Rio das Velhas está sintetizada na Figura 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das tendências temporais

As análises de tendências temporais foram realizadas de maneira individual para cada estação. Os resultados dos testes estatísticos propostos na metodologia foram organizados em planilhas, individualmente para cada variável, conforme exemplificado na Tabela 2, para o IQA.

Os resultados estatisticamente significativos ($p < 0,05$) dos testes de correlação de Spearman e Mann-Kendall/sazonal de Mann-Kendall sugerem que existe uma tendência de alteração do parâmetro ao longo do tempo (entre 2002 e 2011) em determinada estação. Os valores de

τ de Kendall e de S, calculados no teste de Mann-Kendall/sazonal de Mann-Kendall e relacionados entre si, indicam o sentido da tendência do parâmetro ao longo do tempo, podendo ser tendência de elevação (quando os valores são positivos) ou tendência de redução (quando com valores negativos). O sinal do coeficiente R aponta a mesma tendência, já que corresponde à correlação dos valores do parâmetro com T.

Na maioria dos casos analisados, os testes de correlação de Spearman e Mann-Kendall/sazonal de Mann-Kendall foram coincidentes quanto à indicação da existência ou não de tendência, porém foram encontradas situações, como para o IQA na estação BV 140, verificada na Tabela 2, em que os testes não apontaram o mesmo resultado quanto à significância da tendência temporal. Para as estações cujos resultados foram superiores a 0,05 (não significativos) para o teste de correlação, mas significativos apenas no teste de Mann-Kendall ou sazonal de Mann-Kendall (ou vice-versa), consideraram-se esses resultados como inconclusivos, mas com possibilidade de redução (quando os valores são negativos) ou de elevação (com valores positivos).

O resultado final das tendências, baseado na análise dos testes estatísticos, foi apresentado na última coluna da Tabela 2, podendo elas ser definidas como redução, inconclusivo com possibilidade de redução, elevação, inconclusivo com possibilidade de elevação, ou sem tendência. A análise final, com a indicação de todas as tendências existente na sub-bacia do Rio das Velhas ao longo dos anos 2002 a 2011, está na Tabela 3.

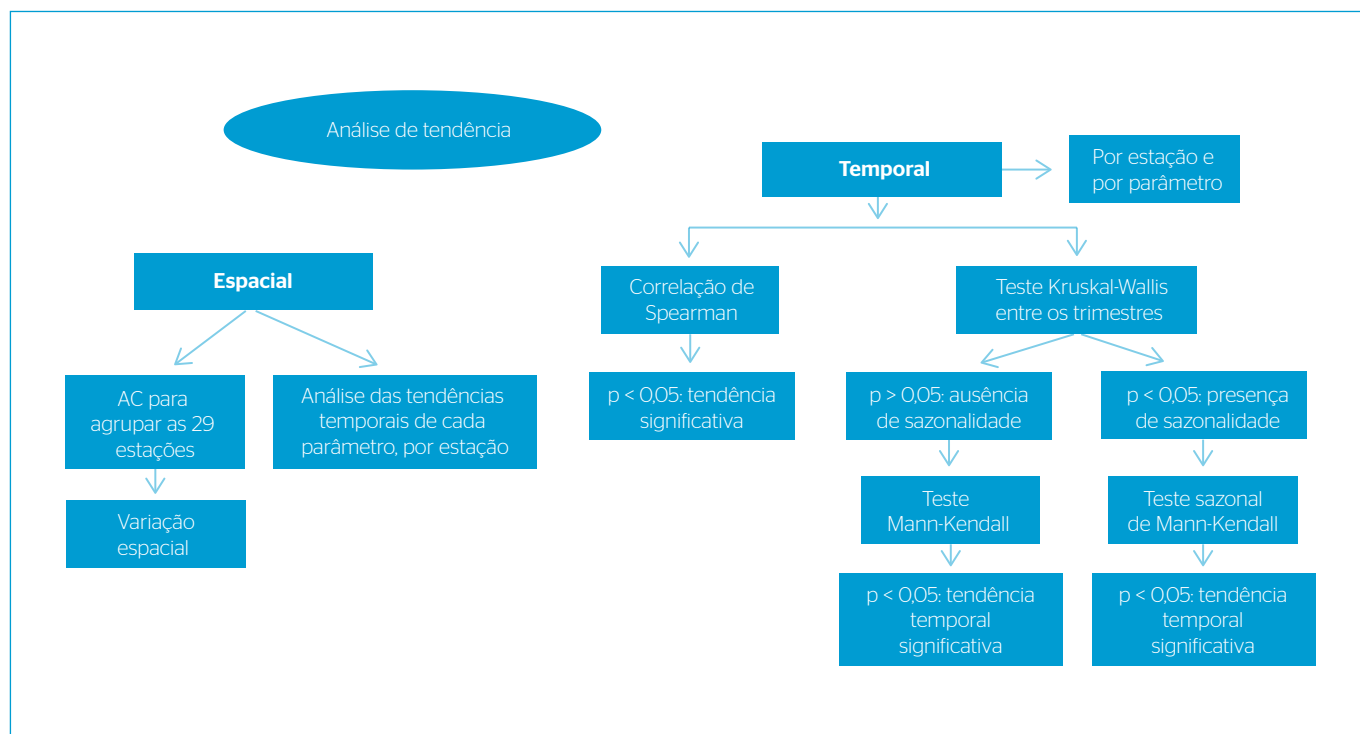


Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada para a análise das tendências temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade de água da sub-bacia do Rio das Velhas.

Pelas tendências temporais estatisticamente significativas verificadas na sub-bacia do Rio das Velhas, é possível perceber que as variáveis que mais apresentaram tendência de redução, tendo em vista as 29 estações, foram demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (24%), arsênio e manganês (10%) e Coli. term. (7%), assim como os valores de IQA (14%). Já a tendência de elevação se mostrou mais expressiva

para as concentrações de nitrato (34%), Coli. term. (28%), arsênio (10%) e para os valores do IQA (10%). Com exceção do IQA, a tendência de redução indica melhora, enquanto a tendência de elevação sinaliza piora. Segundo Igam (2010b), os resultados de Coli. term., Mn_p, P_p, As_T e DBO sobressaem entre os parâmetros com maior número de violações aos limites estabelecidos na Deliberação Normativa (DN) do

Tabela 2 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro IQA, nas 29 estações estudadas da sub-bacia do Rio das Velhas, ordenadas de montante para jusante.

Estação	Correlação de Spearman ¹	Teste Kruskal-Wallis ²	Influência da sazonalidade	Teste Mann-Kendall ²	Tau de Kendall ³	S ³	Teste Sazonal de Mann-Kendall ²	Tau de Kendall ³	S ³	Tendência
BV013	-0,336	0,000	Sim				0,639	-0,069	-10,0	Inconclusivo com possibilidade de redução ⁴
BV035	-0,259	0,009	Sim				0,210	-0,175	-25,0	Inconclusivo com possibilidade de redução
BV037	-0,273	0,002	Sim				0,210	-0,175	-25,0	Inconclusivo com possibilidade de redução
BV062	0,218	0,000	Sim				0,623	0,067	12,0	Sem tendência
BV063	0,099	0,000	Sim				0,754	0,044	8,0	Sem tendência
BV067	-0,019	0,000	Sim				0,837	-0,020	-11,0	Sem tendência
BV076	-0,114	0,264	Não	0,388	-0,096	-75,0				Sem tendência
BV083	0,290	0,185	Não	0,015	0,203	462,0				Elevação
BV105	0,304	0,000	Sim				0,036	0,267	48,0	Elevação
BV130	0,152	0,023	Sim				0,591	0,072	13,0	Sem tendência
BV135	-0,031	0,007	Sim				0,591	-0,073	-13,0	Sem tendência
BV137	0,162	0,047	Sim				0,128	0,196	35,0	Sem tendência
BV139	-0,068	0,000	Sim				0,210	0,175	25,0	Sem tendência
BV140	-0,320	0,023	Sim				0,322	-0,139	-20,0	Inconclusivo com possibilidade de redução
BV141	-0,110	0,000	Sim				0,958	0,014	2,0	Sem tendência
BV142	-0,223	0,000	Sim				0,876	0,028	4,0	Sem tendência
BV143	-0,003	0,012	Sim				0,639	0,069	10,0	Sem tendência
BV146	-0,192	0,000	Sim				1,000	0,000	0,0	Sem tendência
BV147	-0,476	0,030	Sim				0,007	-0,370	-53,0	Redução
BV148	-0,433	0,008	Sim				0,008	-0,361	-52,0	Redução
BV149	-0,460	0,006	Sim				0,011	-0,347	-50,0	Redução
BV152	-0,377	0,000	Sim				0,002	-0,420	-60,0	Redução
BV153	0,247	0,009	Sim				0,002	0,389	70,0	Elevação
BV154	0,159	0,002	Sim				0,073	0,228	41,0	Sem tendência
BV155	0,251	0,024	Sim				0,067	0,233	42,0	Sem tendência
BV156	0,037	0,000	Sim				0,011	0,347	50,0	Inconclusivo com possibilidade de elevação
BV160	0,097	0,789	Não	0,514	0,073	57,0				Sem tendência
BV161	-0,220	0,000	Sim				0,958	0,014	2,0	Sem tendência
BV162	-0,324	0,001	Sim				0,002	-0,410	-59,0	Inconclusivo com possibilidade de redução

¹Valor do coeficiente R de correlação de Spearman. Valores em itálico são estatisticamente significativos ($p < 0,05$); ²Valor p relacionado à estatística do teste. Valores em itálico são estatisticamente significativos ($p < 0,05$); ³Valor da estatística do teste; ⁴Os testes correlação de Spearman e Mann-Kendall/sazonal de Mann-Kendall não apresentaram o mesmo resultado quanto à significância da tendência.

Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam)/Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH) nº 01/08 ao longo da série histórica na sub-bacia do Rio das Velhas (COPAM/CERH, 2008).

Ressalta-se que, na maioria dos casos, não foi possível identificar nenhuma tendência de alteração das variáveis ao longo do período investigado, com destaque para as concentrações de SST (97%), Turb. (97%), P_T (86%) e $N-NH_4^+_T$ (86%).

Análise das tendências espaciais

O dendograma resultante da AC que mostra o agrupamento das estações da sub-bacia do Rio das Velhas, em função de suas similaridades em relação às 11 variáveis estudadas, está na Figura 3. Para determinar

a linha de corte no gráfico que estabelece o número de grupos (*clusters*), procedeu-se como recomendado por Vicini (2005), que utiliza os valores das distâncias euclidianas de ligação entre as variáveis para determinar em qual valor do eixo Y essa linha será traçada.

Pela observação da Figura 3, é possível perceber cinco agrupamentos de estações de monitoramento. O grupo 1, formado pelas estações BV154 e BV155 (alto trecho do Rio das Velhas), apresenta-se como o mais isolado em comparação aos demais grupos. Essas duas estações encontram-se, respectivamente, no Ribeirão do Onça e Ribeirão Arrudas, próximos à foz de ambos no Rio das Velhas, corpos d'água muito poluídos por estarem próximos a grandes centros urbanos, como Contagem e Belo Horizonte, com grande aporte de esgotos. Essas duas

Tabela 3 - Tendências temporais dos parâmetros na sub-bacia do Rio das Velhas, nas 29 estações estudadas, ordenadas de montante para jusante.

Estação	As _T	Coli. term.	DBO	P _T	Mn _T	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ _T	OD	SST	Turb.	IQA
BV013	-	?↑	-	?↓	?↑	↑	-	-	-	-	?↓
BV035	↓	↑	?↓	-	-	?↑	-	-	-	-	?↓
BV037	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	?↓
BV139	-	-	-	?↓	-	↑	-	-	-	-	-
BV062	-	-	-	-	↓	↑	-	-	-	-	-
BV063	↑	-	-	?↓	?↓	↑	-	-	-	-	-
BV067	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-
BV076	-	-	-	-	-	-	-	?↓	-	-	-
BV155	-	↓	↓	-	↓	-	-	-	-	-	-
BV083	-	-	?↓	-	-	↑	-	?↑	-	-	↑
BV154	-	↓	↓	-	↓	-	-	-	-	-	-
BV105	-	-	↓	-	-	↑	-	?↑	-	-	↑
BV160	↓	-	↓	-	-	?↓	-	-	-	-	-
BV130	?↓	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-
BV153	↑	-	↓	-	-	↑	-	?↑	-	-	↑
BV135	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BV137	-	-	↓	-	?↓	↑	-	?↑	-	-	-
BV156	-	-	?↓	-	?↓	?↑	-	-	-	-	?↑
BV140	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	?↓
BV141	-	-	-	-	-	?↑	?↓	-	-	-	-
BV161	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-
BV142	?↑	-	-	-	-	?↑	?↓	↑	-	-	-
BV162	?↓	↑	-	-	-	-	↓	-	-	-	?↓
BV143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BV152	↑	↑	-	-	-	-	-	-	?↑	-	↓
BV146	-	?↑	↓	-	-	-	-	-	-	-	-
BV147	-	↑	-	-	-	-	-	?↑	-	-	↓
BV148	?↑	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	↓
BV149	-	↑	-	-	-	?↑	-	-	-	?↑	↓

As_T: arsênio total; Coli. term.: coliformes termotolerantes; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; P_T: fósforo total; Mn_T: manganês total; N-NO₃⁻: nitrato; N-NH₄⁺_T: nitrogênio amoniacal total; OD: oxigênio dissolvido; SST: sólidos suspensos totais; Turb.: turbidez; IQA: índice de qualidade das águas; ↑: tendência de elevação; ↓: tendência de redução; ?↑: tendência inconclusiva, com possibilidade de elevação; ?↓: tendência inconclusiva, com possibilidade de redução; -: sem tendência.

estações possuem até mesmo os menores valores medianos de IQA entre todas as 29 estações monitoradas, 23 e 26, respectivamente, estando entre os corpos d'água com as piores condições sanitárias de todo o estado de Minas Gerais (IGAM, 2010b). Além disso, as duas estações de monitoramento estão localizadas após as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) da RMBH Onça e Arrudas.

O grupo 2, com exceção da estação BV160, é formado por estações a jusante do encontro dos ribeirões Onça e Arrudas com o Rio das Velhas, recebendo, por conseguinte, todos os poluentes originados desses cursos d'água. Essas cinco estações (BV083, BV105, BV153, BV137 e BV156) estão todas localizadas sequencialmente na calha do Rio das Velhas, apresentando valores medianos de IQA entre 30 e 48 (esse último valor para a estação BV156, mais a jusante entre as cinco). A estação BV160, mais isolada entre as seis do grupo 2, localiza-se no Ribeirão das Neves, fora da calha do Rio das Velhas, perto da cidade de Pedro Leopoldo, e recebe toda a poluição proveniente do município de Ribeirão das Neves e uma parcela de Pedro Leopoldo. Apesar da localização distinta em relação às demais, possui IQA mediano muito baixo, com o valor de 39, justificando o seu agrupamento pela AC.

O grupo 3, com exceção da estação BV130, também é formado por estações de monitoramento localizadas na calha do Rio das Velhas. As estações BV063 e BV067 encontram-se no alto curso do Rio das Velhas, antes da foz do Ribeirão Arrudas, e contêm valores medianos de IQA

de 53 e 56, respectivamente. Já as estações BV141, BV142, BV152, BV146 e BV148 estão, em sequência, nos médio e baixo cursos do Rio das Velhas, com a BV141 a jusante da estação BV156 (grupo 2), com valor mediano de IQA variando de 50 a 58, crescente de montante para jusante, com valores mais elevados (melhor qualidade) no trecho mais a jusante. A estação BV130 fica no Ribeirão da Mata, próximo de sua foz no Rio das Velhas, e, apesar de perto de grandes centros urbanos da RMBH, como Vespasiano, não se encontra com nível de poluição tão elevado (IQA mediano de 45) como as demais estações situadas na mesma região, mas na própria calha do Rio das Velhas (grupos 1 e 2).

A estação BV062, isolada de todas as demais 28 estações, formando o grupo 4, localiza-se no Ribeirão Água Suja, próximo de sua foz no Rio das Velhas, no município de Nova Lima. De acordo com os resultados da AC, essa estação tem comportamento diferente das demais estações, no tocante às variáveis analisadas, sendo posicionada em um grupo à parte. Resultado análogo foi obtido por Nonato *et al.* (2007) na avaliação das estações de monitoramento da sub-bacia do Rio das Velhas, que verificou isolamento da estação que fica no Ribeirão Água Suja. Segundo Igam (2010b), nas décadas de 1930 e 40 foram implantados no vale desse curso d'água depósitos de rejeitos de mineração de ouro contendo expressivos teores de arsênio. As águas desse córrego também recebem os esgotos domésticos e industriais provenientes do município mineiro de Nova Lima, além do impacto das atividades de extração e beneficiamento de minério de ferro.

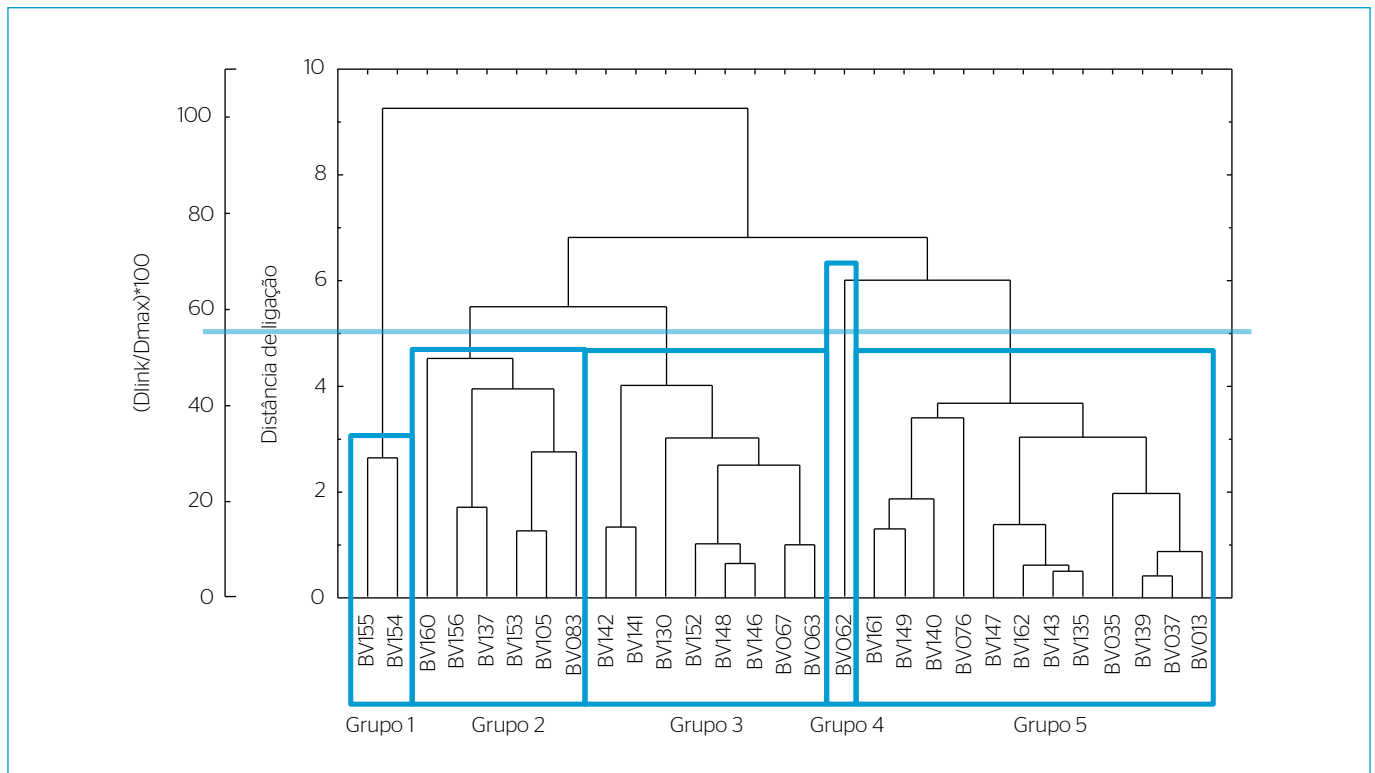


Figura 3 - Dendrograma resultante da AC para agrupamento das 29 estações da sub-bacia do Rio das Velhas (SF5), em relação aos 10 anos de série histórica e às 11 variáveis. Linha cortando o gráfico indica o limite para delimitação dos grupos formados.

Por último, o grupo 5 é formado por 12 estações. As estações BV013, BV037 e BV139 localizam-se na calha do Rio das Velhas, em sequência de montante para jusante, e são as primeiras estações do alto curso do Rio das Velhas, à montante da RMBH, com valores medianos de IQA entre 57 e 67. As demais estações estão em afluentes do Rio das Velhas e distribuídas por toda a sub-bacia, alto, médio e baixo cursos do Rio das Velhas. O IQA mediano dessas estações varia de 47 a 78, com apenas dois valores abaixo de 50, estando, então, a maioria das estações desse grupo com o IQA classificado entre médio e bom.

Em síntese, a AC dividiu as estações de monitoramento da sub-bacia do Rio das Velhas em três grandes grupos, de acordo com a qualidade de suas águas, correspondentes aos níveis de alta poluição (grupos 1, 2 e 4), poluição moderada (grupo 3) e baixa poluição (grupo 5). A classificação das regiões estudadas segundo o nível de poluição também foi realizada por diversos autores, em trabalhos semelhantes (BU *et al.*, 2010; SHRESTHA & KAZAMA, 2007; SINGH *et al.*, 2004).

Tendo em vista as tendências temporais identificadas, associando os resultados da Tabela 3 com a localização das estações (Tabela 1 e Figura 1), foi desenvolvida uma análise das tendências espaciais de cada parâmetro na sub-bacia do Rio das Velhas. Para o nitrato, houve tendências de elevação ao longo de quase toda a sub-bacia, incluindo aquelas inconclusivas, com apenas uma possibilidade de redução na estação BV160. Apesar de aparentemente a elevação do nitrato ser uma tendência da sub-bacia, o aumento significativo foi concentrado no alto curso do Rio das Velhas, onde está inserida a RMBH, tendo provavelmente como principais fontes os dejetos humanos e animais.

O OD demonstrou possibilidade de elevação nas estações BV083, BV105, BV153 e BV137, concentradas na RMBH e incluídas no grupo 2 da AC. Esse fato já havia sido apontado por Jardim *et al.* (2011) como de importância ambiental por mostrar boa recuperação da qualidade da água nesses trechos do Rio das Velhas, em função da redução da DBO e dos investimentos em saneamento nos últimos anos. Houve também possível elevação na BV147 e tendência significativa na BV142, mas foram casos pontuais.

As oito estações com tendência de elevação dos Coli. term. — BV035, BV037, BV140, BV162, BV147 e BV149 (grupo 5) e BV148, BV152 (grupo 3) — localizam-se em pontos distintos da sub-bacia, o que sugere que o comportamento de elevação da variável Coli. term. não é específico apenas da região mais urbanizada da Unidade SF5. Chama a atenção o fato de essa elevação ocorrer nas estações incluídas em grupos de poluição moderada e baixa (grupos 3 e 5) pela AC, como as do baixo curso, que historicamente apresentavam alguns dos melhores valores de IQA da sub-bacia, mas que neste estudo exibiram redução ou possibilidade de redução do IQA. Apenas duas estações apontam redução dos valores de Coli. term., as estações BV154 e BV155, que se localizam à jusante das ETES da Onça e Arrudas, respectivamente, e formam o grupo 1 da AC. Dos parâmetros que representam indicativo

de contaminação dos corpos d'água por lançamento de esgoto sanitário, Coli. term. estão entre os que apresentaram maior número de resultados em desacordo aos limites da DN Copam/CERH nº 01/08 no estado de Minas Gerais (COPAM/CERH, 2008), confirmando que os lançamentos de esgotos sanitários ocorrem de forma difusa, sendo o principal fator de pressão sobre a qualidade das águas da bacia do Rio das Velhas (COSTA *et al.*, 2015).

Os parâmetros que mais influenciaram no cálculo de IQA ao longo da série de monitoramento foram Coli. term., Turb., P_T e DBO, indicando a interferência dos lançamentos de esgotos domésticos e de fatores como mau uso do solo sobre a qualidade dos corpos d'água dessa bacia (IGAM, 2010b). Neste trabalho, as tendências temporais apresentadas pelo IQA podem ser explicadas pelas tendências identificadas para as variáveis Coli. term. e DBO, como pode ser verificado pela Tabela 3:

- se houve aumento no IQA, ocorreu redução da DBO. Tal situação aconteceu em estações (BV083, BV105 e BV153) localizadas próximas à RMBH (valores de IQA baixos — aproximadamente 31 a 39);
- se houve redução do IQA, ocorreu aumento de Coli. term., e as estações que demonstraram essas tendências (BV152, BV147, BV148 e BV149) ficam mais a jusante da sub-bacia, com valores de IQA maiores, na faixa de qualidade média (cerca de 56 a 69).

O *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil* (ANA, 2012), comparando dados de 2001, 2005 e 2010, apontou cinco estações do Rio das Velhas com tendência de aumento (melhoria) do IQA, entre elas BV083, BV105 e BV153, justificando esse aumento pela instalação das ETES da Onça e Arrudas. Duas estações com tendência de redução (piora) foram indicadas, BV147 e BV149, sendo o aumento dos valores de Coli. term. o motivo provável da tendência observada na última.

A Turb. mostrou o mesmo comportamento dos SST, não demonstrando nenhuma tendência significativa, enquanto os parâmetros P_T e $N-NH_4^+$ só exibiram alterações ao longo do tempo em estações pontuais, não sugerindo a existência de tendência na sub-bacia como um todo.

O manganês apresentou tendência de redução da concentração em estações localizadas nas proximidades dos maiores centros urbanos da UPRGH SF5, com destaque para BV062 (isolada das demais pela AC), BV155 e BV154 (grupo 1). Ou seja, o comportamento de alteração desse parâmetro foi concentrado no alto curso da sub-bacia. As estações BV013, BV137 e BV156, situadas no Rio das Velhas, mas mais afastadas da RMBH que as demais, apresentaram apenas possibilidade de tendências.

Observou-se tendência de redução da DBO nas estações próximas à RMBH, com mudanças concentradas no alto trecho e início do médio Rio das Velhas, principalmente nas estações localizadas logo à jusante dos ribeirões Arrudas e da Onça. Essa redução pode estar associada aos investimentos em esgotamento sanitário, com a presença das ETES (IGAM, 2010b; JARDIM *et al.*, 2011). Houve também redução pontual na estação BV146, no baixo curso do rio.

O arsênio apresentou mudanças (ou possibilidade de alterações) ao longo de toda a sub-bacia, mas não em padrão evidente, com estações apontando elevação e outras redução das concentrações. Isso pode ser explicado pela própria distribuição do arsênio no contexto geológico e pelos diferentes processos de disponibilização desse elemento para a água superficial (BORBA *et al.*, 2004).

No geral, os resultados mostraram que a maioria dos cursos d'água da sub-bacia do Rio das Velhas apresentou concentrações estáveis dos parâmetros ao longo do período estudado, com maiores alterações associadas a Coli. term., DBO, nitrato e, conseqüentemente, IQA. Porém resultados negativos para a existência de tendência não provam a ausência de tendência. Pode-se apenas concluir que as evidências disponíveis não são suficientes para afirmar que existe tendência (HELSEL & HIRSCH, 1992).

Além disso, neste trabalho, foram usadas as medidas de concentração dos parâmetros, e não informações sobre as cargas dos parâmetros. Mudanças das concentrações podem ocorrer por conta de mudanças na vazão (JOHNSON *et al.*, 2009), sem necessariamente haver tendência temporal ou espacial.

Ainda que os resultados das análises estatísticas empregadas aqui apontem características já conhecidas dos corpos d'água estudados, a utilização de técnicas criteriosas para chegar a conclusões fornece segurança para tomadas de decisão com base no que os dados indicam, sendo de grande importância para a gestão adequada dos recursos hídricos.

CONCLUSÕES

O estudo das tendências temporais e espaciais dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos monitorados é de grande importância para analisar a evolução da qualidade da água em uma bacia.

Neste trabalho foi possível observar que as estações de monitoramento localizadas nas proximidades dos grandes centros urbanos, especialmente Belo Horizonte, Contagem e Santa Luzia, apresentaram as maiores variações em relação às 11 variáveis estudadas. Isso pode ser justificado pelo fato de essa região apresentar o maior contingente populacional da sub-bacia, com expressiva atividade econômica, possuindo diferentes fontes de poluição.

A elevação dos valores de Coli. term. e nitrato ao longo do tempo de estudo, em toda a sub-bacia, demonstra degradação da qualidade da água, principalmente associada ao lançamento de esgotos domésticos. A tendência de redução do parâmetro IQA em estações situadas no baixo curso do Rio das Velhas também merece atenção dos órgãos governamentais, para que ações de manejo possam ser tomadas para a recuperação da qualidade dessas águas.

Vale ressaltar que o IQA apresentou tendência significativa apenas em sete das 29 estações. Apesar de essas tendências fornecerem informações importantes, percebe-se que examinar apenas a tendência de IQA não é suficiente para apontar elevação ou redução da qualidade da água dos cursos d'água. A análise de diferentes parâmetros em conjunto é importante e possibilita melhor interpretação dos resultados. Como exemplo, destaca-se como ponto negativo o aumento das concentrações de nitrato na região do alto curso do Rio das Velhas, ainda que tenham sido observadas elevações de IQA na mesma região.

Dessa forma, o estudo das tendências temporais e espaciais da qualidade da água fornece informações essenciais para o manejo adequado dos recursos hídricos, possibilitando tomadas de decisão de acordo com as necessidades apresentadas pelas análises do comportamento da qualidade da água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. (2012) *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012*. Brasília: ANA. 265 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. (2011) *Portal da Qualidade das Águas*. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/>>. Acesso em: 1.º jul. 2011.

BOEDER, M.; CHANG, H. (2008) Multi-scale analysis of oxygen demand trends in an urbanizing Oregon watershed, USA. *Journal of Environmental Management*, v. 87, n. 4, p. 567-581.

BORBA, R.P.; FIGUEIREDO, B.R.; CAVALCANTI, J.A. (2004) Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). *Escola de Minas*, n. 57, v. 1, p. 45-51.

BOYACIOGLU, H.; BOYACIOGLU, H. (2008) Investigation of temporal trends in hydrochemical quality of surface water in western Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 80, n. 5, p. 469-474.

BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. (2010) Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 73, n. 5, p. 907-913.

CAMARGOS, L. M. M. (2005) *Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas: resumo executivo*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS - CERH. (2008) *Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG n. 1, de 5 de maio de 2008*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: Copam.

COSTA, E.P.C.; CALAZANS, G.M.; ALMEIDA, K.C.B., OLIVEIRA, S.C. (2015) Avaliação do percentual de violação dos parâmetros de qualidade de água em 14 anos de monitoramento da porção mineira da bacia do Rio São Francisco. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 28., Rio de Janeiro, 2015. Anais.. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M.M.D. (2009) Caracterização temporal do arsênio nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, MG, Brasil, ao longo de uma década (1998-2007). *Revista Ambiente e Água: an Interdisciplinar Journal of Applied Science*, v. 4, n. 3, p. 54-66.

DRÁPELA, K.; DRÁPELOVÁ, I. (2011) Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bilý Kríz (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010. *Beskydy*, v. 4, n. 2, p. 133-146.

GAUTHIER, T.D. (2001) Detecting trends using Spearman's Rank Correlation Coefficient. *Environmental Forensics*, v. 2, p. 359-362.

GROPPO, J.D. (2005) *Estudo de tendências nas séries temporais de qualidade de água de rios do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica*. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

HELSEL, D.R.; HIRSCH, R.M. (1992) Trend analysis. In: HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. *Statistical methods in water resources*. Amsterdã: Elsevier Science Publishers B. V. p. 323-355.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2010a) *Monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio São Francisco e seus afluentes em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 287 p. Mapas. Relatório anual.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2010b) *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na sub-bacia do Rio das Velhas em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Água. 206 p. Mapas. Relatório anual.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2011) *Monitoramento da qualidade da água*. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/3302-nova-categoria/1523-monitoramento-da-qualidade-das-aguas>>. Acesso em: 1.º jul. 2011.

JARDIM, B.F.M.; MARIA, M.A.; GOMES, L.N.L.; OLIVEIRA, S.M.A.C. (2011) Impacto da implantação da ETE Arrudas na qualidade da água do Rio das Velhas/MG. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 26., Porto Alegre, 2011. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

JOHNSON, H.O.; GUPTA, S.C.; VECCHIA, A.V.; ZVOMUYA, F. (2009) Assessment of water quality trends in the Minnesota River using non-parametric and parametric methods. *Journal of Environmental Quality*, v. 38, p. 1.018-1.030.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. (2007) *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM. 552 p.

NONATO, E.A.; VIOLA, Z.G.G.; ALMEIDA, K.C.B.; SCHOR, H.H.R. (2007) Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do alto curso do Rio das Velhas. *Química Nova*, v. 30, n. 4, p. 797-804.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. (2007) Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river, Japan. *Environmental Modeling & Software*, v. 22, p. 464-475.

SINGH, K.P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. (2004) Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - a case study. *Water Research*, v. 38, n. 18, p. 3980-3992.

TRINDADE, A.L.C. (2013) *Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do Rio São Francisco*. 2013. 165 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. (2006) *Data quality assessment: statistical methods for practitioners*. Washington, D.C.: Office of Environmental Information. 190 p. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/g9s-final.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2011.

VIANA, D.T. (2011) *Construção e tratamento do banco de dados de qualidade da água da UHE Nova Ponte*. 48 f. Monografia (Especialização em Saneamento e Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VICINI, L. (2005) *Análise multivariada da teoria à prática*. 215 f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.