

## IV-273 – TENDÊNCIA TEMPORAIS DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL DO RIO SANTO ANTÔNIO, MINAS GERAIS

**Alex Cardoso Pereira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário de Caratinga. Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Básico) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Doutorando em Engenharia Civil (Saneamento Básico) na UFV.

**Ana Augusta Passos Rezende<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Master of Engineering - University of Toronto. Doutora em Eng. Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pós-doutorado na Universidade de Concepcion, Chile.

**Bianca Barros Maragon<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestranda em Engenharia Civil pela UFV.

**Tarcísio Couto Carneiro Santos<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Tatiana Yuri Ramos Oda<sup>(5)</sup>**

Engenheira Ambiental pela UFV. Mestre em Engenharia Civil (Saneamento ambiental) pela UFV. Doutoranda em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela UFV.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Peter Henry Rolfs, s/n – Campus Universitário - Viçosa - MG - CEP: 36570-000 - Brasil  
- Tel: (31) 3899-2749 - e-mail: [alex.c.pereira@ufv.br](mailto:alex.c.pereira@ufv.br)

### RESUMO

Nesse estudo apresenta uma análise da tendência temporal e espacial da qualidade das águas superficiais das águas superficiais do rio Santo Antônio, afluente à margem esquerda do rio Doce, em Minas Gerais. Foram utilizados testes estatísticos, multivariados e não paramétricos para avaliar 8 parâmetros de 3 estações de monitoramento da rede de monitoramento do IGAM/ANA, obtidos no período janeiro/2008 a julho/2018. Os resultados das análises de correlação de Spearman e de tendência Mann-Kendall sugeriram que a maioria dos parâmetros apresentam valores estáveis das variáveis ao longo do período estudado, com maiores alterações associadas a fósforo e nitrato total. No entanto, ao longo de todos os trechos do rio, foi observada a degradação da qualidade da água durante o período estudado, principalmente relacionada ao lançamento de esgotos domésticos e escoamento superficial de áreas agrícolas. O fato de o IQA não apresentar tendência temporal merece atenção dos órgãos governamentais para ações recuperação da qualidade das águas superficiais nos cursos d'água da região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rede de monitoramento, Correlação de Spearman, Mann-Kendall, Métodos estatísticos multivariados.

### INTRODUÇÃO

A avaliação e o monitoramento da qualidade das águas de cursos d'água são essenciais 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 (TRINDADE *et al.*, 2017). A qualidade da água dos corpos d'água pode ser investigada a partir de mudanças em suas características físicas, químicas e biológicas relacionadas a atividades antrópicas ou fenômenos naturais (BRITTO *et al.*, 2018).

Nos ecossistemas aquáticos, a heterogeneidade da qualidade da água pode ser influenciada principalmente pela contribuição natural da bacia hidrográfica (conhecidas como *background*, concentrações naturais afetadas pelas características geológicas e pedológicas do local) e pela magnitude dos impactos antrópicos como o consumo de água, lançamento de efluentes domésticos e industriais, escoamento superficial de áreas urbanas e rurais

(KALSCHEUR *et al.*, 2012). Do ponto de vista temporal, as oscilações de qualidade da água podem refletir as formas de uso e ocupação do solo.

O uso de índices de qualidade da água tem sido uma alternativa para monitorar mudanças (antropogênicas ou naturais) na qualidade da água ao longo de uma bacia ou tempo (MORETTO *et al.*, 2012). A análise desses dados requer a aplicação de métodos estatísticos apropriados, especialmente em bacias urbanas, onde os processos que alteram a qualidade da água são diversos e produzem alta variabilidade (COELHO *et al.*, 2017).

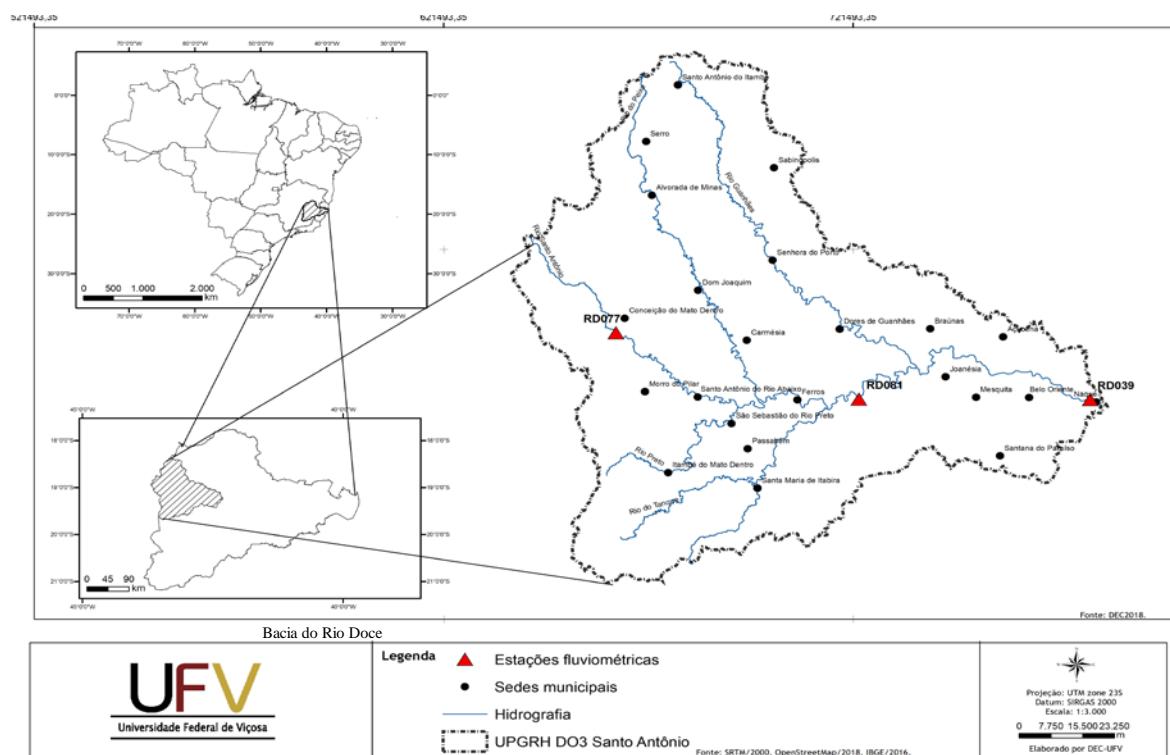
Segundo Trindade et al. (2017), os métodos estatísticos multivariados são excelentes ferramentas exploratórias para a interpretação desse complexo conjunto de informações e são com frequência utilizados concomitantemente com as análises de tendência. As análises de tendência temporal possibilitam a avaliação de longas séries de dados, sendo úteis para o acompanhamento e a predição da evolução da qualidade da água.

## OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise das tendências temporais dos parâmetros de qualidade de água monitorados no rio Santo Antônio, Minas Gerais, afluente do rio Doce. Esse trabalho visa contribuir para o esclarecimento de fatores que afetam a qualidade da água, seja de origem natural ou resultantes de impactos antropogênicos, induzidos por fontes pontuais ou difusas de poluição.

## METODOLOGIA UTILIZADA

As estações de monitoramento de qualidade da água do rio Santo Antônio, ordenadas de montante para jusante, foram as seguintes: RD077 – Conceição do Mato Dentro; RD081 – Ferros; RD039 – Nauque (foz no rio Doce). As 3 estações fluviométricas pertencem à rede básica de monitoramento do IGAM/ANA da bacia hidrográfica do rio Doce. Em relação à classe de enquadramento (DN Copam/CERH 01/08), todos os trechos dos cursos d’água avaliados possuem classe 2. A localização das estações fluviométricas é mostrada na Figura 1.



Foi utilizada uma série história de dez anos, considerando os dados de monitoramento da qualidade das águas do rio Santo Antônio obtidos entre 1997 e 2016. Foram analisados 8 parâmetros, que totalizaram 744 observações.

Para a escolha dos parâmetros avaliados nessa pesquisa, levou-se em conta as variáveis que compõem o Índice de Qualidade de Água – IQA. Foram analisados os seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes (*Coli. term.*), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P<sub>T</sub>), nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais (S<sub>T</sub>), turbidez (Turb.) e o Índice de Qualidade das Águas (IQA).

As análises de tendências temporais foram realizadas de maneira individual para cada estação. Os dados dos parâmetros das estações de monitoramento foram previamente testados e não mostraram aderência normal. Sendo assim foram utilizados os seguintes testes, conforme Trindade *et al.*, (2017): Correlação de Spearman para verificação da autocorrelação da série temporal; e teste de tendências temporais de Mann-Kendall. Ambos são testes não paramétricos. Para a análises foi utilizado o software Minitab®.

Em termos estatísticos, determinar se o valor de uma variável geralmente diminuiu ou aumentou (melhorou ou piorou) ao longo do tempo significa determinar se a distribuição de probabilidade dessa variável mudou ao longo do tempo. Também é interessante descrever a quantidade ou razão dessa mudança, com base em variações em algum valor central de distribuição, como a média ou a mediana (HELSEL e HIRSCH, 1992).

A correlação de Spearman foi determinada relacionando os dados de monitoramento do parâmetro com o tempo, e as coletas foram ordenadas da mais antiga para a mais recente. 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. Para os testes de Mann-Kendall, assim como nos testes de correlação, foram interpretados como tendência significativa os resultados cujo valor p foram menores que 0,05 para esses o teste de tendência (TRINDADE *et al.*, 2017).

## RESULTADOS OBTIDOS

A estatística descritiva, como mínimo, máximo, valores médios e desvio padrão, estão resumidos na Tabela 1.

**Tabela 1: Estatística Descritiva dos parâmetros de qualidade das águas superficiais, nas 3 estações estudadas do rio Santo Antônio, da série história de 1997 a 2016.**

Parâmetro	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Percentil 25%	Mediana	Percentil 75%	Máximo	Coeficiente de assimetria
<b>Turbidez</b>	56,2	114,7	3,5	10	19,2	46,7	841	4,45
<b>DBO</b>	2,1078	0,3902	10.000	20.000	20.000	20.000	40.000	2,93
<b>OD</b>	7,6272	0,6393	62.000	72.000	77.000	81.000	89.000	-0,21
<b>ST</b>	78,27	88,35	23	40,5	50	70,5	626	3,96
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,1481	0,1408	0	0,06	0,14	0,19	0,82	2,38
<b>Coli. term.</b>	1850	4295	2	80	280	1300	28000	3,94
<b>P<sub>T</sub></b>	0,032	0,04042	0	0,01	0,02	0,04	0,2	2,27
<b>IQA</b>	70,27	10,73	43	65	73	78	89	-0,82

Coli. term.: coliformes termotolerantes; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; P<sub>T</sub>: fósforo total; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; OD: oxigênio dissolvido; ST: sólidos suspensos totais; IQA: índice de qualidade das águas.

Os resultados dos testes estatísticos propostos na metodologia foram organizados em planilhas, individualmente para cada variável, conforme exemplificado na Tabela 2, para os sólidos totais (ST).

**Tabela 2: Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro nitrato, nas 3 estações estudadas da do rio Santo Antônio, ordenadas de montante para jusante.**

Estação	Correlação de Spearman <sup>1</sup>	Teste Mann-Kendall			Tendência
		<i>z</i> <sup>3</sup>	Test for Upward Trend <sup>4</sup>	Test for Downward Trend <sup>4</sup>	
RD077	<i>0,631</i>	1,684	<i>0,041</i>	0,959	Elevação
RD081	<i>0,749</i>	1,845	0,032	0,097	Elevação
RD039	-0,071	0,894	0,185	0,814	Sem tendência

1 Valor do coeficiente R de correlação de Spearman. Valores em itálico são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ); 2 Valor da estatística do teste; 3 Valor p relacionado à estatística do teste. Valores em itálico são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ).

A análise final, com a indicação de todas as tendências existente no rio Santo Antônio ao longo dos anos 1997 a 2011, está na Tabela 3.

**Tabela 3: Tendências temporais dos parâmetros nas 3 estações estudadas da do rio Santo Antônio, ordenadas de montante para jusante.**

Parâmetro	Estação		
	RD077	RD081	RD039
Turbidez	-	-	-
DBO	-	↑?	-
OD	-	-	-
ST	-	-	-
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	↑	↑	-
Coli. term.	-	-	↓
P <sub>T</sub>	-	↑	↑?
IQA	-	-	-

Coli. term.: coliformes termotolerantes; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; P<sub>T</sub>: fósforo total; N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; OD: oxigênio dissolvido; ST: sólidos suspensos totais; 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.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na maioria dos casos analisados, os testes de correlação de Spearman e Mann-Kendall foram coincidentes quanto à indicação da existência ou não de tendência, porém foram encontradas situações, como para o parâmetro fósforo total, na estação RD039, em que os testes não apontaram o mesmo resultado quanto à significância da tendência temporal.

A maioria dos parâmetros não apresentaram tendência de alteração das concentrações ao longo do período investigado. Já a tendência de redução se mostrou mais expressiva apenas para o parâmetro coliformes termotolerantes na estação RD39, localizada na foz do rio Santo Antônio, no município de Naque.

Pelas tendências temporais estatisticamente significativas verificadas no rio Santo Antônio, é possível perceber que os parâmetros que mais apresentaram tendência de elevação, tendo em vista as 3 estações, foram nitrato e fósforo total (66,6%). Esta tendência de elevação sinaliza piora na qualidade da água superficial, ao contrário do IQA.

Os resultados os parâmetros avaliados apresentam valores médios inferiores ao estabelecido pela Deliberação Normativa (DN) Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam)/Conselho Estadual de Recursos Hídricos

de Minas Gerais (CERH) nº 01/08 ao longo da série histórica no rio Santo Antônio, para corpos d'água enquadrados como Classe 2. A média do IQA para o período estudado foi de 70,2, sendo classificado bom.

## CONCLUSÕES

Ao longo do rio Santo Antônio foi observado que, na estação de monitoramento localizada próxima ao encontro com o rio do Peixe e do rio Preto, após a cidade de Ferros, apresentou as maiores variações em relação aos 8 parâmetros estudados. Esse fato pode ser explicado devido à maior concentração de áreas urbanas nas calhas dos rios do Peixe, Preto e Santo Antônio.

A elevação das concentrações de fósforo e nitrato total, em toda a área de estudo, evidencia a degradação da qualidade da água por meio do lançamento de esgoto doméstico sem tratamento nos cursos d'água da região e devido ao escoamento superficial que carreia sedimentos oriundos das atividades agrícolas. O fato de o IQA não mostrar tendência temporal de elevação demonstra a necessidade de ações para recuperação da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em:<<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 10 out. 2018.
2. BRITTO, F. B., VASCO, A. N. do, AGUIAR NETTO, A. O., GARCIA, C. A. B., MORAES, G. F. O., & SILVA, M. G. *Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe. RBRH*, Porto Alegre, v. 23, e28, 2018.
3. COELHO, M.; FERNANDES, C. V. S.; DETZEL, D. H. M.; MANNICH, M. *Statistical validity of water quality time series in urban watersheds. RBRH*, Porto Alegre, v. 22, e51, 2017.
4. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS – CERH. (2008) Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº. 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.
5. MORETTO, D. L.; PANTA, R. E.; COSTA, A. B.; LOBO, E. A. *Calibration of water quality index (WQI) based on Resolution nº 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA). Acta Limnologica Brasiliensis*, v. 24, n. 1, p. 29-42, 2012.
6. TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. B; BARBOSA, P. E; OLIVEIRA, S. M. A. C. *Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 13-24, Feb. 2017.