

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

TENDÊNCIA TEMPORAL DE QUALIDADE DE ÁGUA DOS PARÂMETROS FÓSFORO E NITROGÊNIO EM MANANCIAIS SUPERFICIAIS UTILIZADOS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO.

Andréia Ruas das Neves¹; José Antônio Tosta dos Reis²; Murilo Brazzali Rodrigues³ & Glaucia de Laia Nascimento Sá⁴.

RESUMO - O estudo da evolução temporal da tendência de parâmetros de qualidade de água que conformam séries históricas de monitoramento de mananciais para abastecimento público constitui o principal objetivo deste trabalho. Foram considerados 8 (oito) pontos de monitoramento de qualidade de água localizados na bacia hidrográfica do rio Jucu, curso d'água de domínio do estado do Espírito Santo, nos quais foram avaliadas as tendências de variação dos parâmetros nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total e fósforo. As extensões das séries históricas variam conforme o ponto de monitoramento, compreendidas majoritariamente no período de 2005 a 2017. As análises de tendência temporal foram conduzidas a partir dos testes estatísticos não paramétricos de Spearman e Mann-Kendall, sendo aplicado previamente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os resultados dos testes não paramétricos aplicados indicaram que não há uma tendência uniforme no comportamento de variação temporal para os parâmetros de qualidade de água para os pontos de monitoramento analisados.

ABSTRACT - The study of the temporal evolution of the tendency of parameters of water quality that conform historical series of monitoring of sources for public supply is the main objective of this work. Eight (8) water quality monitoring points were located in the Jucu river basin, a water course of the state of Espírito Santo, in which the variation trends of the parameters nitrate, ammoniacal nitrogen, total nitrogen and phosphorus was evaluated. The extensions of the historical series vary according to the monitoring point, comprehended mainly in the period from 2005 to 2017. The analyzes of temporal trend were conducted from the nonparametric statistical tests of Spearman and Mann-Kendall, previously being applied the test of normality of Shapiro-Wilk. The results of the nonparametric tests applied indicated that there is no uniform trend in the time variation behavior for the water quality parameters for the monitoring points analyzed.

Palavras-Chave: Água. Qualidade. Estatística não paramétrica.

¹ CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento e Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 514, Goiabeiras, Vitória-ES. CEP: 29075-910 - Brasil - Tel: (27) 4009-2075, andreiaruas@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 514, Goiabeiras, Vitória-ES. CEP: 29075-910 - Brasil - Tel: (27) 4009-2075, jareis@gmail.com

³ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 514, Goiabeiras, Vitória-ES. CEP: 29075-910 - Brasil - Tel: (27) 4009-2075, murilorodrigues1993@hotmail.com

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 514, Goiabeiras, Vitória-ES. CEP: 29075-910 - Brasil - Tel: (27) 4009-2075, glaucialai@gmail.com

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida por meio da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, definiu como instrumentos de gestão os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Para a implementação da PNRH, a existência de elementos característicos da bacia hidrográfica reveste-se de particular importância. Assim, o acompanhamento da qualidade dos mananciais contribui para que os entes envolvidos na gestão possam subsidiar suas ações e desenvolver ferramentas que auxiliem na tomada de decisão. Neste contexto, o monitoramento de qualidade de água constitui atividade essencial na formação de redes de informação, pois permite a caracterização da qualidade da água e a análise de tendências em bacias hidrográficas ANA (2017). Dessa maneira, o adequado monitoramento da qualidade de água pode fornecer informações que subsidiem a implementação dos instrumentos de gestão necessários para avaliação e garantia da disponibilidade hídrica para as atuais e futuras gerações Coelho (2013).

Muitas regiões, especialmente aquelas localizadas em bacias hidrográficas menores, não contam ainda com estação de monitoramento de qualidade da água, seja estadual ou federal. Por outro lado, é de responsabilidade do responsável pelo abastecimento público local realizar análises semestrais de uma série de parâmetros dos mananciais utilizados, o que gera um registro contínuo de análises que podem servir de fonte de informação para regiões com deficiência de dados. A análise de tendência temporal é um dos mais importantes objetivos no monitoramento ambiental e pode indicar se as concentrações de poluentes na água estão aumentando ou diminuindo Mozejko (2012)

Este trabalho tem por objetivo empregar a análise de tendência temporal dos parâmetros fósforo, nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total nos pontos de monitoramento de captação de água na bacia do rio Jucu, bacia hidrográfica que responde pelo abastecimento de boa parte dos municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), atendendo a população do município de Vila Velha, Viana, Cariacica e Vitória, capital do estado do Espírito Santo. A cobertura representa o abastecimento de uma população superior a 950 mil habitantes somente na RMGV NIP-SA e PROFILL (2015).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo objeto deste trabalho compreende a bacia hidrográfica do rio Jucu, localizada na região centro sul do Espírito Santo. A bacia possui área de drenagem de aproximadamente 2.032 km², abrangendo totalmente os municípios de Marechal Floriano, Domingos Martins e Viana, além de parcialmente os municípios de Vila Velha, Cariacica e Guarapari AGERH (2018). O rio Jucu é formado por dois cursos d'água principais, o rio Jucu Braço Norte e o Jucu Braço Sul, cuja confluência se dá na divisa dos municípios de Viana e Domingos Martins e a foz se encontra na localidade de Barra do Jucu em Vila Velha, desaguando no Oceano Atlântico. A Figura 1 apresenta a localização da bacia em relação ao estado do Espírito Santo e a localização dos pontos de captação estudados.

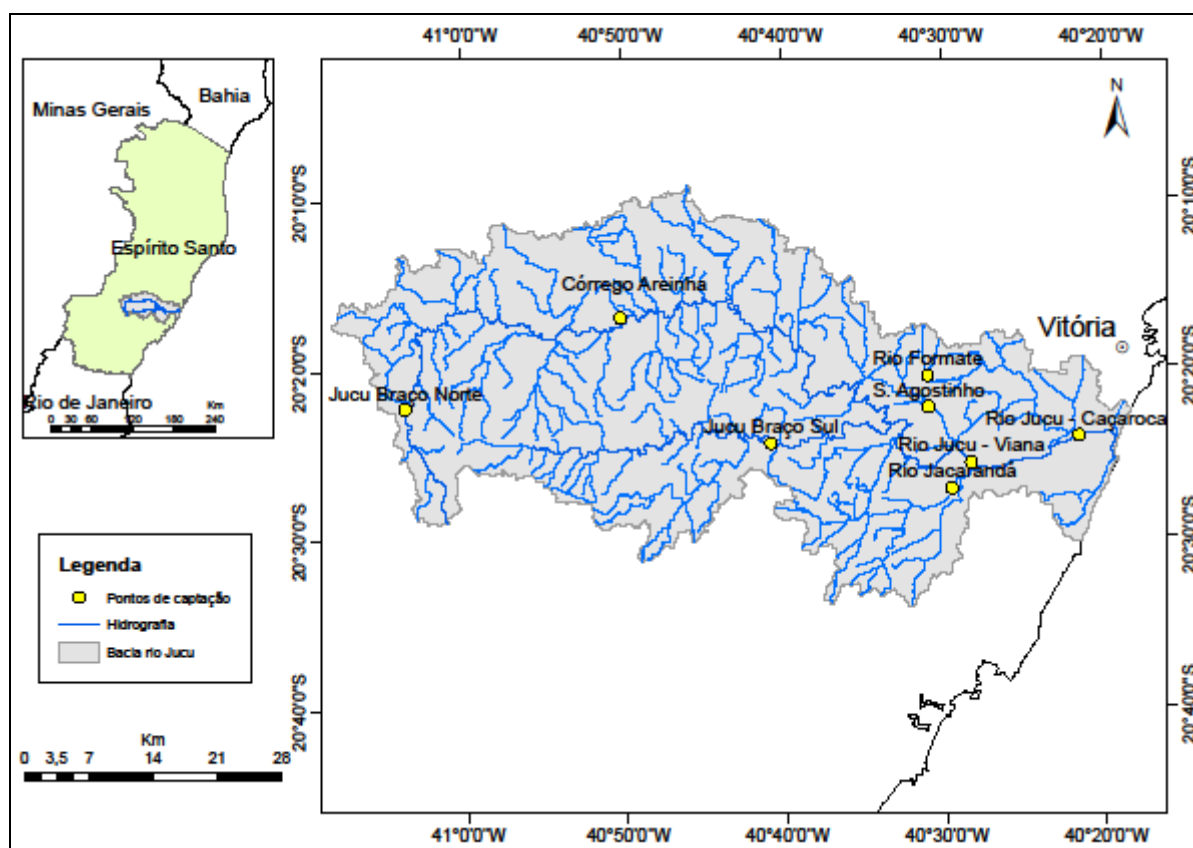


Figura 1 – Localização da bacia do rio Jucu e dos pontos de monitoramento.

Fonte: Próprio autor.

METODOLOGIA

Registros de qualidade de água

Foram utilizadas séries históricas de qualidade de água de oito pontos de captação distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do rio Jucu. Os pontos de monitoramento cujas séries de qualidade de água foram utilizadas neste estudo são: Jucu Braço Norte, Areinha, Jucu Braço Sul, Santo Agostinho, Formate, Jacarandá, Jucu Viana e Jucu Caçaroca.

Os dados das séries são semestrais e a extensão compreende o período entre os anos de 2005 e 2017, sendo parte do monitoramento realizado pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN). Esses dados, disponibilizados pela CESAN, compreendem séries históricas de diferentes parâmetros analisados periodicamente, conforme exigência legal de monitoramento prevista no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, referente à água bruta coletada diretamente nos rios e córregos de pontos de captação superficial. Foram utilizados os valores de concentração dos parâmetros fósforo (P) e da série nitrogênio (nitrato, $N_{NO_3^-}$; nitrogênio amoniacal, N_{NH_3} ; nitrogênio total, N_{KJD}) para avaliação da tendência temporal de evolução de qualidade visando observar os compostos que constituem nutrientes nos corpos d'água. Não foram utilizadas as séries de nitrito porque os valores constantes nos pontos de monitoramento foram majoritariamente indicados como inferiores a 0,01 mg/L, não havendo, portanto, resultados que pudessem ser submetidos aos testes estatísticos não paramétricos.

Análise de Tendência

Para a condução da análise de tendência foram adotados os testes não paramétricos de Spearman e Mann-Kendall, testes considerados adequados para dados ambientais que usualmente não seguem uma distribuição normal Sabino *et al.* (2014). A perspectiva de que os registros de qualidade de água não se comportam segundo a distribuição Normal foi verificada a partir do emprego do teste de normalidade Shapiro-Wilk Helsel e Hirsch (2002). A hipótese nula do teste é que a amostra possui distribuição normal, sendo rejeitada quando o p-value obtido para a série estudada encontra-se abaixo do valor do nível de significância adotado. A avaliação da distribuição das séries históricas constituiu a primeira etapa deste estudo.

Quanto à análise de tendência, para avaliar a relação que a série de cada parâmetro possui em relação ao tempo, foi aplicado o teste de Spearman. O coeficiente Rho de Spearman (r_s) avalia a hipótese de que a população representada por uma amostra possua significativa relação monotônica entre suas duas variáveis, neste caso, se a concentração de determinado parâmetro possui correlação com o tempo Sheskin (2011).

O teste de Mann-Kendall mede a relação de tendência monotônica entre as duas variáveis por meio da estatística S de Kendall. Além disso, a força da relação monotônica entre as variáveis estudadas é medida pelo coeficiente de correlação Tau (τ) de Kendall. O coeficiente τ indica, quando a série histórica apresenta alguma tendência, se esta é positiva ou negativa.

O nível de significância adotado para os todos os testes estatísticos empregados neste trabalho foi de 5% conforme recomendado por Naguettini e Pinto (2007).

Após a aplicação dos testes de Spearman e Mann-Kendall, passou-se para a interpretação conjugada dos mesmos para cada parâmetro de qualidade de água analisado. Quando o teste de

Spearman indicou a existência correlação e, para o mesmo conjunto de dados, o teste de Mann-Kendall apontou tendência (positiva ou negativa), evidenciou-se que determinado parâmetro apresenta tendência temporal de acréscimo ou decréscimo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do teste de Shapiro-Wilk para verificação de normalidade da série de parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 1, na qual se verifica o p-value associado a cada parâmetro de qualidade de água e em cada ponto de monitoramento.

Tabela 1 – Valores de p-value obtido no teste de normalidade Shapiro-Wilk.

Parâmetro	Jucu Braço Norte	Areinha	Jucu Braço Sul	Santo Agostinho	Formate	Jacarandá	Jucu Viana	Jucu Caçaroca
Fósforo	4,46E-07	1,364E-07	3,097E-07	1,201E-09	3,218E-10	4,565E-10	1,308E-03	3,872E-10
Nitrato	1,634E-02	0,1495	0,3024	4,138E-11	3,765E-04	2,245E-04	0,1036	3,014E-11
Nitrogênio amoniacal	0,1752	0,001322	5,185E-08	7,169E-05	2,537E-08	5,936E-04	1,444E-07	1,717E-04
Nitrogênio total	1,90E-03	0,000213	1,667E-06	4,348E-03	4,335E-03	5,718E-04	3,316E-09	1,301E-15

A partir dos valores apresentados na Tabela 1 é possível verificar que quase 90% das séries de qualidade não são normalmente distribuídos (os valores de p-value no teste de Shapiro-Wilk apresentaram-se inferiores a 0,05, valor do nível de significância abaixo do qual se rejeita a hipótese nula de normalidade). Neste contexto, entende-se que os testes estatísticos não paramétricos seguem como adequados à análise de tendência de qualidade.

Os resultados dos testes não paramétricos estão apresentados na Tabela 2, na qual estão dispostos os resultados de p-value do teste de Spearman, bem como do teste de Mann-Kendall. Adicionalmente, indica-se a conclusão obtida com os referidos testes, indicando se há ou não correlação com o tempo e tendência temporal.

Tabela 2 - Resultado das análises de tendência temporal nos pontos de monitoramento estudados.

(continua)

Parâmetro	Spearman		Mann-Kendall				
	p value	significado	p value	tau de kendall	significado	tendência	
Jucu Braço Norte	Fósforo	0,714	não há correlação	0,6585	0,07818	não há tendência	-
	Nitrato	0,3371	não há correlação	0,3808	0,142481	não há tendência	-
	Nitrogênio amoniacal	0,04273	há correlação	0,04009	-0,35885	há tendência	negativa
	Nitrogênio total	0,2238	não há correlação	0,3058	0,177635	não há tendência	-
Areinha	Fósforo	0,3202	não há correlação	0,317	0,188096	não há tendência	-
	Nitrato	0,04125	há correlação	0,05871	0,316717	não há tendência	-
	Nitrogênio amoniacal	0,1859	não há correlação	0,2428	-0,20013	não há tendência	-
	Nitrogênio total	0,9545	não há correlação	0,8336	-0,03519	não há tendência	-
Jucu Braço Sul	Fósforo	0,01765	há correlação	0,03348	0,370071	há tendência	positiva
	Nitrato	0,06475	não há correlação	0,04677	0,326316	há tendência	positiva
	Nitrogênio amoniacal	0,009559	há correlação	0,0147	-0,40004	há tendência	negativa
	Nitrogênio total	0,5582	não há correlação	0,495	-0,11141	não há tendência	-

Tabela 3 - Resultado das análises de tendência temporal nos pontos de monitoramento estudados.

							(conclusão)
Formate	Fósforo	0,2562	não há correlação	0,2789	0,130958	não há tendência	-
	Nitrato	0,06567	não há correlação	0,0478	0,210471	há tendência	positiva
	Nitrogênio amoniacal	0,5946	não há correlação	0,6185	-0,05574	não há tendência	-
	Nitrogênio total	0,4063	não há correlação	0,4158	0,087929	não há tendência	-
Santo Agostinho	Fósforo	0,06507	não há correlação	0,08368	-0,2195	não há tendência	-
	Fósforo	0,1718	não há correlação	0,125	-0,17391	não há tendência	-
	Nitrato	0,4595	não há correlação	0,4631	-0,08796	não há tendência	-
	Nitrogênio amoniacal	0,3078	não há correlação	0,2038	-0,14731	não há tendência	-
Jacarandá	Nitrogênio total	0,1732	não há correlação	0,2057	0,146724	não há tendência	-
	Fósforo	0,002604	há correlação	0,009035	0,273888	há tendência	positiva
	Nitrato	0,5063	não há correlação	0,446	0,083309	não há tendência	-
	Nitrogênio amoniacal	0,6897	não há correlação	0,6411	0,050058	não há tendência	-
Jucu Viana	Nitrogênio total	0,09396	não há correlação	0,05216	0,26032	não há tendência	-
	Fósforo	0,00027	há correlação	0,000671	0,431502	há tendência	positiva
	Nitrato	0,08258	não há correlação	0,09983	-0,21473	não há tendência	-
	Nitrogênio amoniacal	0,7383	não há correlação	0,7345	-0,04378	não há tendência	-
Jucu Caçaroca	Nitrogênio total	0,7574	não há correlação	0,6069	0,052055	não há tendência	-
	Fósforo	3,89E-07	há correlação	3,27E-07	0,497849	há tendência	positiva
	Nitrato	0,2669	não há correlação	0,2418	0,113792	não há tendência	-
	Nitrogênio amoniacal	0,5868	não há correlação	0,5082	0,065131	não há tendência	-

A avaliação de tendência temporal dos parâmetros apresentados indica que não há um padrão de comportamento ao longo da bacia hidrográfica para os parâmetros estudados, uma vez que foram observadas diferentes tendências. Observou-se, adicionalmente, que em alguns pontos de monitoramento, como Santo Agostinho e Areinha, não houve tendência temporal para nenhum parâmetro analisado.

Para uma visualização especializada dos resultados foram gerados mapas que indicam, por ponto de monitoramento, qual foi a tendência apresentada. A Figura 2 apresenta os resultados para o parâmetro fósforo. Observou-se que as séries históricas de fósforo não apresentaram tendência na quase totalidade das estações, à exceção do ponto Jucu Braço Sul, que apresentou tendência de elevação. O fósforo é um significativo parâmetro de qualidade de água cuja presença pode estar ligado à presença de esgoto doméstico em razão de matéria orgânica fecal e detergentes.

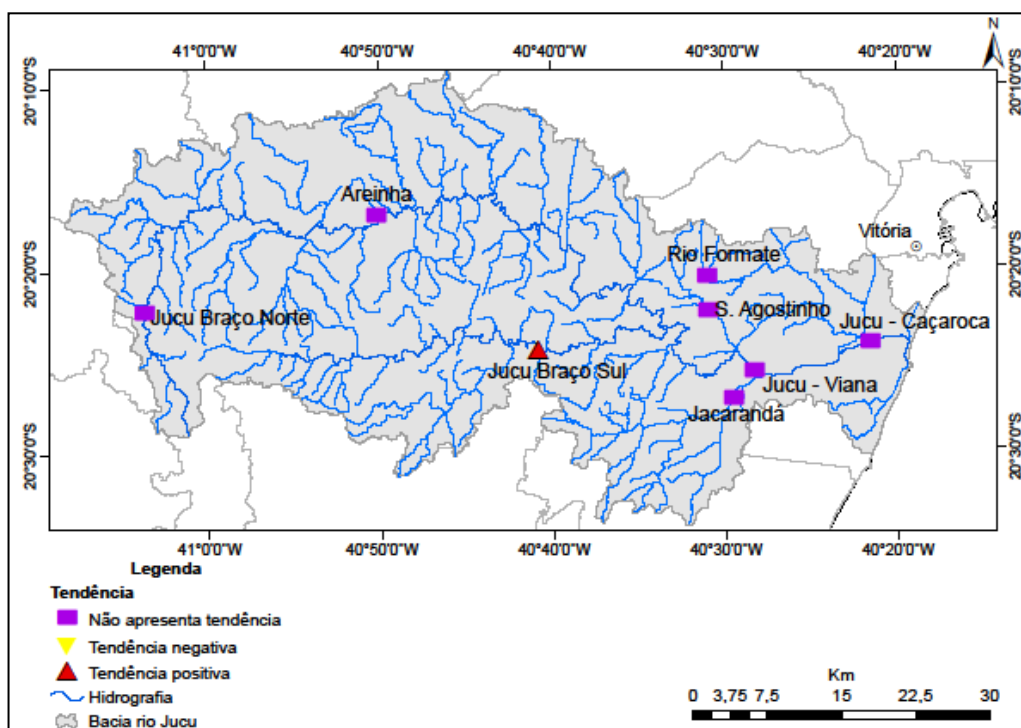


Figura 2 – Tendência temporal do parâmetro fósforo.

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 3 estão sumarizados os resultados para o parâmetro nitrato, especializados na bacia hidrográfica estudada. Observou-se que, dos oito pontos de monitoramento, três não apresentam tendência e nos cinco restantes foi indicada a tendência de elevação do parâmetro nitrato. Para o referido parâmetro, a tendência de elevação das concentrações foi predominantemente observada na parte mais a jusante da bacia hidrográfica. A presença de nitrogênio na forma de nitrato sugere que a fonte do agente poluidor, como esgoto doméstico, não esteja próxima, uma vez que, nas etapas de autodepuração de esgotos em águas fluviais, o nitrato é encontrado nas zonas de águas limpas.

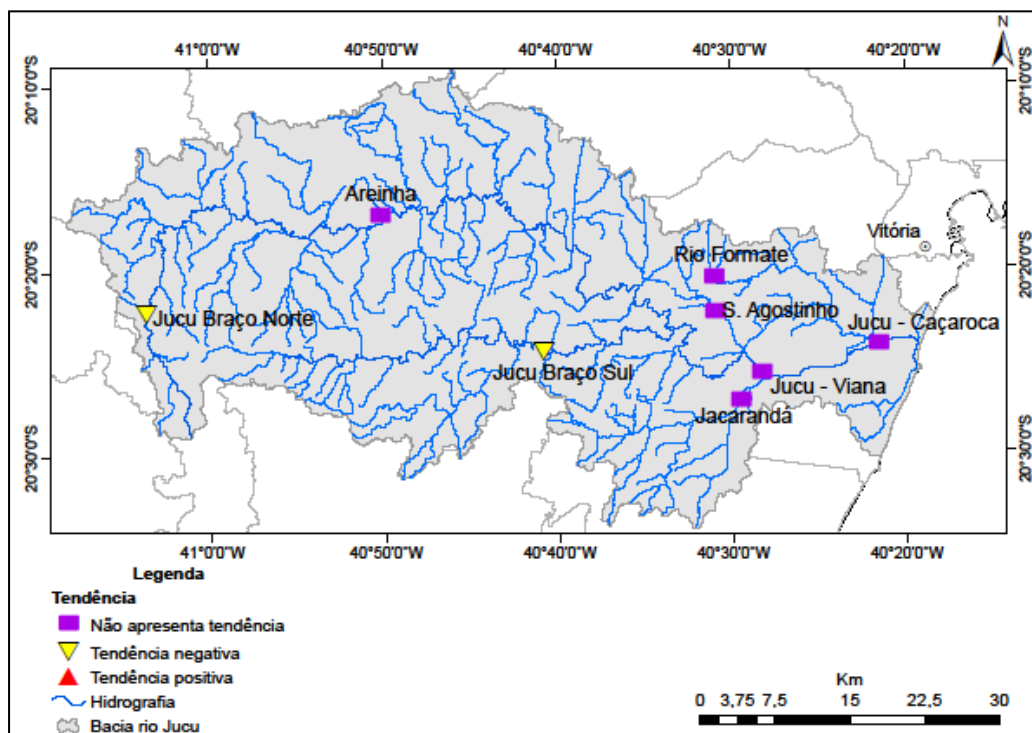


Figura 3 - Tendência temporal do parâmetro nitrato.
Fonte: Próprio autor.

Quanto ao parâmetro nitrogênio amoniacal não foi verificada qualquer tendência na maioria dos pontos de monitoramento. Apenas as séries históricas associadas às estações de monitoramento de Jucu Braço Norte e Jucu Braço Sul indicaram tendência de redução das concentrações de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo, conforme apresentado na figura 4.

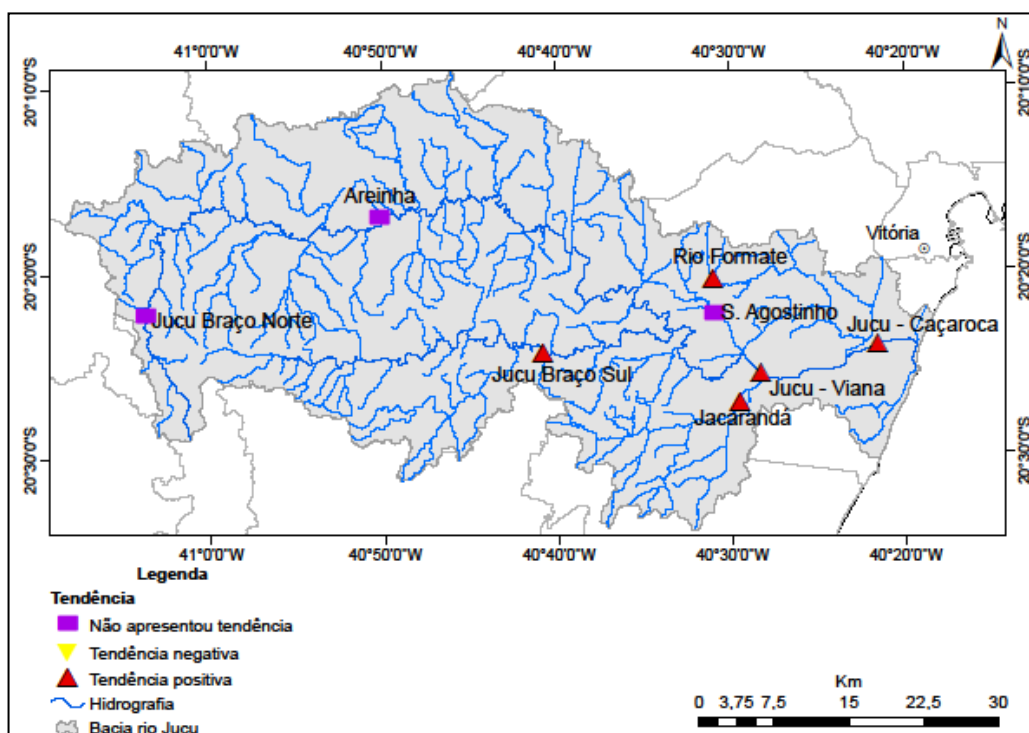


Figura 4 - Tendência temporal do parâmetro nitrogênio amoniacal.
Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os parâmetros de qualidade monitorados nos mananciais superficiais utilizados para abastecimento público fornecem séries de dados que podem ser utilizados para avaliar a tendência de evolução temporal, considerada a frequência regular de monitoramento da qualidade dos mananciais superficiais, face ao atendimento da legislação federal referente à potabilidade da água para consumo humano.

Os testes estatísticos não paramétricos de Spearman e Mann-Kendall mostraram-se adequados à análise de tendência das séries de dados de qualidade utilizadas, não exigindo nenhuma distribuição específica dos dados, constituindo um procedimento de aplicação simplificada capaz de apontar a tendência em diferentes parâmetros e uma ferramenta acessível para subsidiar os instrumentos de gestão de recursos hídricos.

Os resultados obtidos para as séries de parâmetros fósforo, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrogênio total indicaram que não há um padrão na tendência temporal de variação da qualidade de água relacionada a estes parâmetros para o período analisado. No entanto, é relevante observar que não foi identificada tendência de piora nas condições de qualidade dos pontos de monitoramento analisados, uma vez que os resultados não indicaram tendência de elevação de nutrientes nas águas superficiais na bacia hidrográfica estudada.

Como recomendações deste trabalho sugere-se:

- Monitorar contínua e sistematicamente os mananciais superficiais, de modo que se possa aumentar a frequência de coleta de registros de qualidade de água. O aumento de frequência, se levado a termo, poderá permitir a avaliação da variação sazonal dos dados de qualidade de água.
- Realizar análises de tendências periodicamente, à medida que forem inseridos novos dados às séries históricas de qualidade de água.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua – Projeto CAPES/ANA AUXPE n° 2717/2015.

À Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) que disponibilizou os dados de monitoramento de qualidade da água utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGERH, Agência Estadual de Recursos Hídricos. (2018). *CBH Jucu*. 2018. Disponível em: <<https://agerh.es.gov.br/cbh-jucu>>. Acesso em: 06 jun 2018.

ANA, Agência Nacional das Águas. (2013). *Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos*. 2. ed. Brasília: ANA, 157p. Disponível em: <http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo_sophia=60542>. Acesso em: 18 jul. 2018.

COELHO, M. (2013). *Estratégia de monitoramento da qualidade da água para a gestão de recursos hídricos em bacias urbanas*. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Cap. 5. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/36356>>. Acesso em: 14 out. 2018.

HELSEL, D.R.; HIRSCH, R. M. (2002). *Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations*, U.S. Geological Survey, 522 p.

MOZEJKO, J. (2012) *Detecting and Estimating Trends of Water Quality Parameters in Water Quality Monitoring and Assessment*, Croacia

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. de A. (2007). *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 522 p, 2007.

SHEKIN, D. J. (2011). *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*. 5nd ed. Boca Raton, FL. CRC Press, Cap 29 e 30, pp. 1375-1396.

NIP-SA; PROFILL. (2015). *Elaboração de projeto executivo para enquadramento de corpos de água em classes e plano de bacia para os rios Santa Maria da Vitória e Jucu*. Relatório técnico 2. Volume I. Vitória-ES.

SABINO, C.V.S. *et al.* (2014). “Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 9, n. esp., pp. 87-94. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000588>>. Acesso em: 14 out 18.