

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO JAPARATUBA ATRAVÉS DA PCA

*Igor Santos Silva¹; Helenice Leite Garcia²; Adnivia Santos Costa Monteiro³; Jose do Patrocínio
Hora Alves⁴ & Carlos Alexandre Borges Garcia⁵*

RESUMO – As atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica podem afetar os recursos hídricos e muitas vezes de forma irreversível. Neste contexto, o estudo de um corpo hídrico deve ser criterioso auxiliando a tomada de decisão dos órgãos gestores. Entretanto, muitas vezes uma grande quantidade de dados é adquirida e muitas variáveis analisadas, mas não trazem uma explicação clara do que está acontecendo no corpo hídrico. Dessa forma, o uso de técnicas estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Fatores (AF), permite a redução das dimensão das variáveis analisadas e a identificação das variáveis que mais contribuem para descrição fenomenológica de um corpo hídrico. De forma relevante, tais técnicas permitem atribuir pesos às variáveis, indicando assim o grau de importância ou de influência sobre a qualidade do corpo d'água. Sendo assim, neste trabalho foram analisados dados do Rio Japaratuba, em Sergipe, aplicando a ACP e AF, o que permitiu compreender quais as possíveis causas de elevação das concentrações de nitrato e sólidos, o impacto das ações antrópicas como a agricultura na dinâmica desta bacia, que potencializa o risco de eutrofização, a erosão e lixiviação, devido ao uso inadequado do solo. Nesse contexto, ainda foi possível inferir estatisticamente que presença de esgoto doméstico aumenta a concentração de fósforo, e em consideráveis aumentos dos níveis de clorofila-a.

ABSTRACT– Activities in a hydrographic basin can affect water resources in so many ways, often irreversibly. In this context, studying water body should be judicious helping the managers of the water basin. However, a large amount of data are acquired and many variables are analyzed, but they do not provide a clear explanation of what is happening in the water body. Thus, the statistical technique of Principal Component Analysis (PCA) and Factor Analysis (FA) provide the reduction of the analyzed variables, and the identification of those that have more contribution to a water body. Importantly, such techniques allow the weighting of variables, thus indicating the degree of importance or influence on the quality of the water body. So, in this work, data from the Japaratuba River in Sergipe were analyzed, applying the PCA and FA allowing to understand the possible causes of nitrate and solid concentrations increase, the impact of anthropic actions such as agriculture on the dynamics of this basin, which increases the risk of eutrophication, erosion and leaching due to inadequate soil use. Furthermore, it was still possible to infer statistically that the presence of domestic sewage increases the concentration of phosphorus, and considerably increases chlorophyll-a levels..

Palavras-Chave – Análise de Fatores; Análise de Componentes Principais; Gestão Ambiental

1) Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, PRORH, Universidade Federal de Sergipe, igorss@academico.ufs.br,

2) Professora, Departamento de Engenharia Química, DEQ, Universidade Federal de Sergipe, helenice@ufs.br,

3) Professora, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, PRORH, Universidade Federal de Sergipe, adniviacostra@hotmail.com,

4) Professor, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, PRORH, Universidade Federal de Sergipe, jphalves@uol.com.br,

5) Professor, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, PRORH, Universidade Federal de Sergipe, cgarcia@ufs.br.

1 INTRODUÇÃO

A análise da qualidade da água requer uma visão abrangente de diversas variáveis ambientais que são fundamentais para um diagnóstico coerente das transformações que um corpo hídrico sofre durante meses ou anos. Neste sentido, possuir um arcabouço de variáveis físicas, químicas e biológicas contribuem para este entendimento.

No entanto, ao analisar cruamente tais variáveis e comparar com limites das legislações nacionais e internacionais, não é o suficiente para uma tomada de decisão objetiva e que possam sanar os problemas que podem estar ocorrendo no corpo hídrico. Para sanar tais obstáculos, a utilização de técnicas estatísticas têm se tornado crucial para o entendimento mais consistente dos fenômenos hídricos, sejam estes decorrentes de causas naturais ou antrópicas. Dentre as técnicas utilizadas na literatura destaca-se a Análise de Componentes Principais (PCA) que busca diminuir a dimensão de um conjunto de variáveis visando identificar quais as variáveis que mais pesam em termos de influência e como estas se correlacionam. Desta maneira, o tipo de fonte de contaminação, seja difusa ou pontual, poderá ser melhor identificado, contribuindo para a melhor tomada de decisões dos órgãos gestores de uma política ambiental.

A utilização de técnicas computacionais e estatísticas para a interpretação de fenômenos ambientais são hoje ferramentas preponderantes para gestão dos recursos hídricos, pois estas contribuem para esclarecimento dos fatos que ocorrem em bacias, na dinâmica ao longo do tempo, facilita o entendimento da população nas suas mais diversas classes e potencializa a tomada de decisão dos gestores.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta uma abordagem estatística no que tange as variáveis ambientais referentes à bacia do Rio Japarutuba, Sergipe, avaliando a qualidade da água do mesmo e a correlação entre as variáveis analisadas.

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Fatores (FA)

Os corpos hídricos ao serem estudados precisam de uma ampla abordagem, pois o corpo hídrico, seja lântico ou lótico, engloba aspectos sociais, econômicos e culturais, que são fundamentais para a explicação das alterações que neste ocorrem ao longo do tempo. Dessa maneira, para avaliar as variáveis de qualidade da água necessita-se ter uma sensibilidade muito maior do que uma visão meramente matemática de aumento ou diminuição da concentração de uma variável, é necessário explicar e saber o porquê de uma variação por menor que seja, para que a explicação de contaminação e sua origem seja melhor explicada e identificada. [Rwoo *et al* (2017); Mahmoodabadi *et al* (2018)]

Neste sentido, técnicas estatísticas como a Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise de Fatores (FA) são utilizadas para extrair informações sobre a dinâmica dos corpos hídricos e as interações entre essas variáveis. A PCA permite uma melhor percepção das variáveis críticas para um ambiente hídrico e, conseqüentemente, a redução das variáveis a serem analisadas, reduzindo os custos de coleta. [Joliffe (2002); Mendonça (2017)]. A Análise de Fatores (FA) quando associada ao PCA permite uma interpretação melhor do que está acontecendo no corpo hídrico, e além disso, permite uma melhor explicação dos parâmetros relevantes analisados. Além disso, essa análise contribuiu muito para a criação de Índices de Qualidade da Água (IQA). [Wunderlin *et al* (2001); Meireles *et al* (2010)]

A PCA pode ser considerada uma das melhores técnicas estatísticas multivariadas para extrair relações lineares entre variáveis de um determinado conjunto (SIMEONOV *et al*, 2003). Esta técnica consiste no reconhecimento de padrões que tentam explicar a variância de valores das variáveis correlacionadas reduzindo a um conjunto menor número de variáveis. A PCA fornece informações sobre os parâmetros significativos com perda mínima de informação original (SINGH *et al*, 2004). O Componente Principal de um conjunto de dados pode ser expressa usando a Equação 1.

$$Z_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + \dots + a_{im}x_{mj} \quad (1)$$

Na qual Z é a pontuação do componente, a é o carregamento do componente, x é o valor medido de uma variável, i é o número do componente, j é o número da amostra e m é o número total de variáveis.

Analisar as correlações das variáveis é fundamental para a tomada de decisão na investigação dos corpos hídricos, e para averiguar fenômenos de contaminação como a eutrofização (aporte excessivo de nutrientes na água), lixiviação, erosão, sedimentação e anoxia de corpos hídricos. Sendo assim, variáveis como fósforo, nitrogênio, clorofila-a são relatadas na literatura com os principais indicadores ambientais que provocam elevação dos níveis de fenômenos de poluição como eutrofização, e inclusive estão presentes nos Índice de Estado Trófico (IET) e Índice de Qualidade de Água (IQA). [Carlson (1977); Lamparelli (2004); Tammeorg *et al* (2017)].

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Bacia do Rio Japarutuba

Consta no relatório dos planos das bacias hidrográficas dos rios Japarutuba, Piauí e Sergipe, a descrição física da bacia do rio Japarutuba, situada na região nordeste do Estado de Sergipe. A bacia do rio Japarutuba possui uma área de 1.674,24 km², equivalente a 7,65% do território sergipano e abrange dezoito municípios, dos quais quatro estão totalmente inseridos na bacia Capela,

Carmópolis, Cumbe e General Maynard e os demais municípios parcialmente inseridos, pertencentes aos territórios do Médio Sertão Sergipano, Leste Sergipano, Baixo São Francisco e Grande Aracaju. Economicamente, a bacia do Rio Japarutuba possui um grande potencial, pois alguns destes municípios apresentam campos petrolíferos (a exemplo de Carmópolis) e complexos minero-químico (a exemplo de Rosário do Catete) de grande contribuição econômica, além de grandes áreas de produção agrícola e de pastagem, e relevantes regiões comerciais (Figura 1) (SERGIPE, 2015).

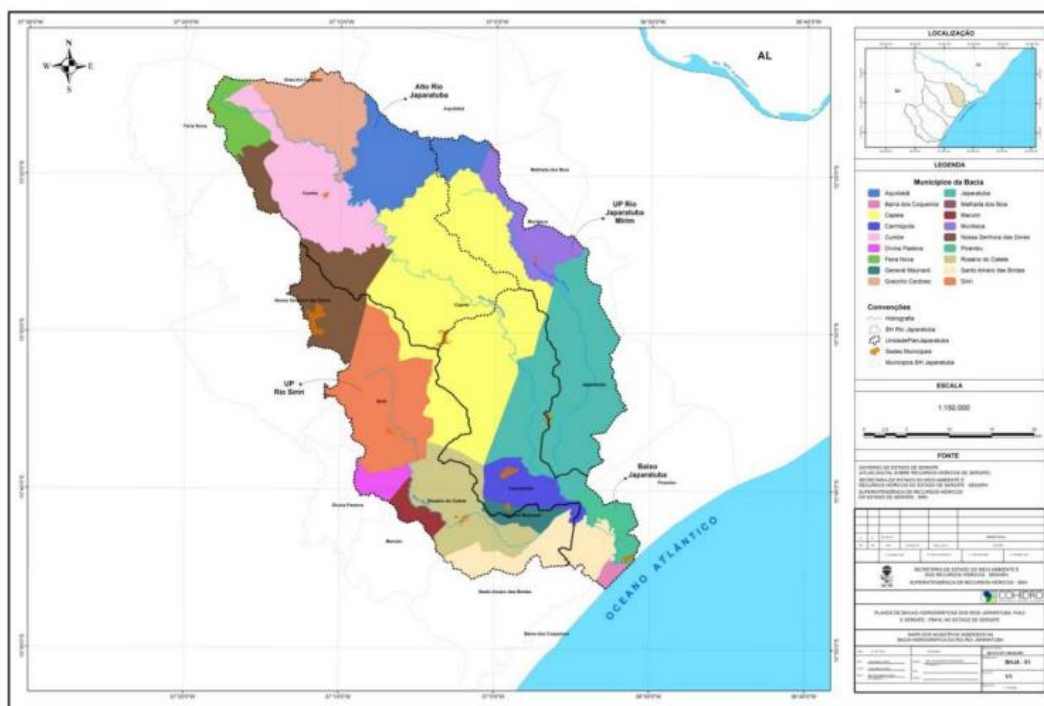


Figura 1 - Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba (SEMARH, 2012, apud SERGIPE, 2015)

3.2 Análise estatística dos dados

Os dados avaliados do rio Japarutuba consistiram em 14 variáveis físicas, químicas e biológicas do ano de 2012. Essas variáveis foram normalizadas, utilizando média 0 e variância igual a 1, e analisadas pela matriz de correlação de Pearson e Análise de Componentes Principais (ACP). Nesta primeira etapa, buscou-se observar quais são as componentes que apresentam autovalores maiores que 1 e uma variância representativa de cerca de 70%.

Em seguida, foi realizada a Análise de Fatores (AF), em que se buscou verificar quais variáveis possuem scores maior que 0,7, positiva ou negativamente. Após essa verificação, foram eliminadas as variáveis com score inferior. Finalizando a Análise de Fatores (AF), buscou-se observar dentro das Principais Componentes (PCs), para as variáveis mantidas, quais os fatores expressavam maior fator, mesmo que fosse negativo. Dessa maneira, esses scores foram somados e encontrada os pesos correspondentes para cada uma das variáveis mantidas [Moretto *et al* (2012); Centeno e Cecconello (2016)].

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As médias e desvios padrões dos dados referentes ao rio Japarutuba são apresentados na Tabela 1. As variáveis avaliadas foram Temperatura (Temp.), Condutividade elétrica (Cond.), Cor, pH, Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos (SS), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio nas formas Amoniacal (N-NH₄), Nitrito (N-NO₂), Nitrato (N-NO₃), Total (NT), Fósforo Total (PT), Clorofila-a (Cl-a). As concentrações estão apresentadas em mg/L e a de Cl-a em µg/L.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos dados ambientais

Variável	Temp (°C).	Cond. (µS/cm ²)	Cor (mg Pt Co/L)	pH	ST (mg/L)	SS (mg/L)	OD (mg/L)
Média	26,39	1978,35	69,61	7,82	526,89	80,36	7,58
Desvio Padrão	3,67	2201,81	23,86	0,43	184,5	48,99	2,5
Variável	DBO (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₂ (mg/L)	N-NO ₃ (mg/L)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	Cl-a (µg/L)
Média	5,06	0,17	0,01	1,76	0,96	0,3	3,71
Desvio Padrão	3,34	0,01	0,01	9,94	0,71	0,25	1,11

Após a normalização dos dados foi realizada o PCA, e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2. Observou-se que a variância acumulada atingiu um valor 70% na quinta componente, entretanto, o autovalor ainda era maior que 1 na sexta componente, dessa maneira selecionou-se as seis primeiras PCs para a análise dos fatores associados aos dados ambientais.

Tabela 2 - Análise de Componentes Principais

	Autovalor	% Variância Total	Autovalor Acumulado	Variância Acumulada - %
1	4,100658	29,29041	4,10066	29,2904
2	2,014664	14,39046	6,11532	43,6809
3	1,583726	11,31233	7,69905	54,9932
4	1,192911	8,52079	8,89196	63,5140
5	1,098051	7,84322	9,99001	71,3572
6	1,022038	7,30027	11,01205	78,6575

Auxiliando a interpretação dos dados, foi realizada a matriz de correlação de Pearson e foram consideradas correlações fortes valores acima de 0,5 positivo ou negativo, sendo muito fortes os valores acima de 0,7. A variável cor relacionou-se negativamente com a condutividade (-0,61283) indicando que quando a condutividade é baixa a cor da água tende a ser límpida. O pH mostrou ter uma relação positiva com Oxigênio Dissolvido, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Clorofila-a,

mostrando que as ações antrópicas, seja o esgoto advindo dos domicílios próximo ao curso do Rio Japarutuba, ou das cidades que se desenvolvem em torno da bacia, podem contribuir na alteração do pH. Além disso, as atividades agrícolas desenvolvidas nesta bacia podem ser responsáveis, também, pela depleção de oxigênio, consequência dos fertilizantes a base de nitrogênio e fósforo. E por fim, observa-se claramente que a matriz traz correlação positiva da DBO com Nitrogênio Total, e deste último com Fósforo Total e Clorofila-a, que são relacionadas ao processo de eutrofização, provavelmente, decorrente da lixiviação do solo devido ao seu péssimo uso e má utilização dos fertilizantes [Cruz (2009); Hakanson e Bryhn (2010); Nygren *et al* (2017)]

Em seguida, foi realizada a Análise de Fatores conforme Tabela 3. Nesta análise, foram selecionadas as variáveis que nos 6 primeiros fatores obtivessem score maior que 0,7. Dessa forma, 10 variáveis foram mantidas na análise, foram retiradas as variáveis pH, Sólidos Suspensos, Oxigênio Dissolvido e Nitrito.

Tabela 3 - Análise de Fatores (AF)

	Fator - 1	Fator - 2	Fator - 3	Fator - 4	Fator - 5	Fator - 6
Temp	0,153563	-0,120789	-0,151720	0,802416	-0,029791	-0,062168
Cond.	0,074110	-0,879341	0,052855	0,027369	0,192480	0,005710
Cor	0,021592	0,842219	0,044925	-0,052705	0,130173	-0,020011
pH	0,514313	0,046772	-0,087123	0,398136	-0,106477	0,627409
ST	0,041512	-0,029465	0,214399	-0,034380	0,129842	0,881871
SS	-0,126673	-0,356624	0,643503	0,144096	-0,236587	0,074722
OD	0,406400	0,047018	0,122308	0,581303	-0,006573	0,394385
DBO	0,746361	0,132025	0,424212	-0,091884	-0,031550	0,155337
N-NH4	0,039518	0,139233	0,752857	-0,197932	0,072853	0,094749
N-NO2	-0,211249	0,363200	0,390092	0,388361	0,215618	-0,460781
N-NO3	-0,032010	0,031520	0,041445	0,018227	-0,954164	-0,057026
NT	0,911989	0,210184	-0,073793	0,075103	0,007330	0,056542
PT	0,770183	-0,357156	-0,118902	0,318826	0,069108	0,106722
Cl-a	0,890805	-0,249807	-0,145787	0,199181	0,048755	0,076833

Observa-se novamente que as variáveis que estão relacionadas ao processo de eutrofização de um corpo hídrico possuem scores altos, quais sejam Nitrogênio Total, Fósforo Total e a Clorofila-a, e que ambos aparecem no primeiro fator. O Nitrato aparece com score elevado no segundo fator e está relacionado a aplicação de fertilizantes, principalmente, que ocorre próximo ao período chuvoso, bem como despejos domésticos. [Moretto *et al* (2012); Cruz *et al* (2014); Mendonça (2017)].

Por fim, foram analisados os autovetores das componentes principais (Tabela 4), observando as 6 primeiras componentes, utilizando as 10 variáveis selecionadas. Dessa forma, o score positivo ou negativo, de maior valor em um dos seis fatores foi selecionado como valor para a definição do

peso de cada variável, pela soma dos valores. Os pesos atribuídos a cada variável estão apresentados na Tabela 5 [Moretto *et al* (2012); Yan *et al* (2015); Sener (2017)].

Tabela 4 - Autovetores para as variáveis selecionadas

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6
Temp.	-0,201123	0,121774	-0,277978	-0,491465	-0,069722	0,310001
Cond,	-0,114388	0,561370	0,154507	0,055386	-0,273107	-0,085318
Cor	0,077709	-0,577780	-0,115283	0,048217	-0,034085	0,096547
pH	-0,390888	-0,097633	0,071517	-0,023750	0,242757	0,340575
ST	-0,167796	-0,063573	0,499054	0,261107	0,118189	0,473967
DBO	-0,305769	-0,274780	0,249256	0,017737	-0,087488	-0,377088
N-NO ₃	0,029457	0,012770	0,045042	-0,395742	0,750139	-0,321959
NT	-0,388133	-0,261507	-0,163461	0,099037	-0,017857	-0,280376
PT	-0,429622	0,151461	-0,117247	-0,017027	-0,115893	-0,111623
Cl-a	-0,445776	0,063051	-0,150143	0,069455	-0,083755	-0,227955

Tabela 5 - Scores e Pesos

	Score	Peso
Temp.	0,491465	0,10
Cond.	0,561370	0,11
Cor	0,577780	0,12
pH	0,390888	0,08
ST	0,499054	0,10
DBO	0,377088	0,08
N-NO ₃	0,750139	0,15
NT	0,388133	0,08
PT	0,429622	0,09
Cl-a	0,445776	0,09
SOMA	4,911314	1

Observa-se que após as análises realizadas o maior peso foi atribuído ao nitrato, que embora possua valor abaixo do Enquadramento Classe II da Resolução 357/2005, para Águas doces que estabelece um limite de 10 mg/L, está associado a atividade agrícola. Cor e Condutividade estão com os maiores pesos em seguida, o que era esperado pela correlação dessas duas variáveis na matriz de correlação de Person. Essas variáveis estão relacionadas a lixiviação e a precipitação que ocorrem na bacia, mostrando que esses fenômenos influenciam na qualidade da água do Rio Japarutuba.

É importante ressaltar que a bacia do Rio Japarutuba possui solo exposto em algumas áreas, o que facilita esses processos. As variáveis de menores pesos, embora a distribuição de pesos tenha sido bem similar, são as variáveis basicamente relacionadas a contaminação bioquímica de atividades industriais que ocorrem ao longo do bacia, como a exploração de petróleo na cidade de Carmópolis, a as atividades agrícolas e uso inadequado da terra, conforme já mencionado, o que ilustra os pesos

de Nitrogênio Total e Fósforo Total, e consequente, aumento da concentração de Clorofila-a no corpo hídrico, mesmo estando abaixo do valor de 30 µg/L, é necessário observar que o crescimento algal pode ocorrer já que há valores de fósforo total e nitrato com pesos consideráveis na análise.

Além disso, vale salientar que o Fósforo Total está com um valor de cerca de três vezes acima do limite da Resolução Conama 357/2005, que é de 0,1 mg/L, ilustrando os impactos negativos do uso do solo e consequente lixiviação dos fertilizantes para o rio. O valor médio da DBO está no limite dos 5 mg/L, necessitando de ações de conscientização não somente para as empresas como para toda população, e uma maior ação governamental no tratamento de esgotos e na fiscalização das outorgas de água concedida, bem como das atividades desenvolvidas ao longo da bacia [Cruz *et al* (2014); Lee *et al* (2014); Sener *et al.* (2017)].

Por fim, observa-se o quanto estas ferramentas podem ser utilizadas para descrever o comportamento de corpo hídrico e que podem auxiliar fidedignamente a tomada de decisão quanto o que deve e pode ser feito para o planejamento e monitoramento da qualidade da água. Dessa forma, as relações obtidas pelas variáveis analisadas ilustram os impactos antrópicos que estão ocorrendo na bacia do rio Japarutuba decorrentes, principalmente, de uma ocupação e uso inadequado do solo e da aplicação de fertilizantes sem orientação e sem controle, que acabam elevando os valores de variáveis como nitrato e fósforo, podendo ocasionar problemas de poluição hídrica grave e irremediável se nenhuma política de gestão e educação ambiental for estabelecida.

5 CONCLUSÃO

A necessidade de entendimento dos fenômenos hídricos e a rápida resposta às mudanças naturais e antrópicas que ocorrem no meio ambiente, fazem com que a utilização de técnicas estatísticas elaboradas sejam aplicadas de forma relevante. Observou-se que a aplicação da ACP combinada com a FA às variáveis do rio Japarutuba apresentou-se relevante, pois as variáveis que tiveram maiores scores representam as atividades que são desenvolvidas na bacia. Além disso, pode-se identificar peso para as variáveis que obtiveram maiores autovalores condizentes como essas mesmas atividades. Dessa maneira, ações de conscientização populacional sobre as ações e atividades desenvolvidas na bacia podem ser melhor direcionadas e entendidas pelas autoridades através da compreensão estatística mostrada neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Laboratório de Química Analítica Ambiental (LQA) da Universidade de Federal de Sergipe (UFS), a Secretaria do Estado do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (SEMARH/SE) e ao fomento da Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE).

REFERÊNCIAS

- CARLSON, R. E. 1977. *A trophic state index for lakes*. Limnology and Oceanography. 22:361–369, 1977
- CENTENO, L. N.; CECCONELLO, S. T. *Modificação de um índice de qualidade da água*. Revista Científica Rural, 18(1), p-65, 2017
- CRUZ, M. A. S. *Caracterização da bacia do rio Japarutuba em Sergipe com auxílio de geotecnologias*. II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, 617-624, 2009
- CRUZ, M. A. S., ARAGAO, R. D., DE AMORIM, J. R. A., PANTELEAO, S. D. M., E MENDONÇA, L. *Análises preliminares da influência do uso da terra na qualidade da água na sub-bacia do rio Siriri/SE*. In Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso. In: ENCONTRO DE RECURSO HÍDRICO EM SERGIPE, 7., 2014, Aracaju, 2014.
- HÅKANSON, L., BRYHN, A. C. *Controlling eutrophication in the Baltic Sea and the Kattegat*. In Eutrophication: causes, consequences and control (pp. 17-67). Springer, Dordrecht, 2010
- JOLLIFFE, I. T. *Principal Component Analysis*. Springer, 2ª edição, 2002
- LAMPARELLI, M.C. *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004
- LEE, Y.; KIM, J.K.; JUNG, S.; EUM, J.; KIM, C.; KIM, B. *Development of a water quality index model for lakes and reservoirs*. Paddy Water Environmental v. 12, 2014
- MAHMOODABADI, M., ARSHAD, R. R. *Long-term evaluation of water quality parameters of the Karoun River using a regression approach and the adaptive neuro-fuzzy inference system*. Marine pollution bulletin, 126, 372-380, 2018
- MEIRELES, A.C.M., ANDRADE, E.M., CHAVES, L.C.G., FRISCHKORN, H., CRISOSTOMO, L.A. *A new proposal of the classification of irrigation water*. Revista Ciência Agronômica, 41, 349-357, 2010.
- MENDONÇA, M.C.S. *Avaliação da qualidade do reservatório lagoa Salomé através da análise de componentes principais*. Dissertação Mestrado em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, 2017.
- 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 Brasiliensia, Rio Claro, v. 24, n. 1, p. 29-42, Mar. 2012.

- NYGRÉN, N. A., TAPIO, P., HORPPILA, J. *Will the Oxygen-Phosphorus Paradigm Persist?—Expert Views of the Future of Management and Restoration of Eutrophic Lakes*. Environmental management, 60(5), 947-960, 2017
- RWOO, M. A., JUAHIR, H., ROSLAN, N. M., ENDUT, A., KAMARUDIN, M. K. A., & AMRAN, M. A. *Assessment of drinking water quality using principal component analysis and partial least square discriminant analysis: a case study at water treatment plants, Selangor*. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9(2S), 157-173, 2017
- SENER, S.; SENER, E.; DAVRAZ, A. *Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)*. Science of the Total Environment .v. 585, p. 131–144, 2017.
- SERGIPE. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH. SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS – SRH. *Elaboração dos Planos das Bacias Hidrográficas dos Rios Japarutuba, Piauí e Sergipe*. 2015
- SIMEONOV, V. J. STRATIS, C. J. SAMARA, G. J. ZACHARIADIS, D. VOUTSA, A. ANTHEMIDIS, M. SOFRINIQU, T. KOUMTZIS, T. *Assessment of the surface water quality in Northern Greece*, Water Resources, 37(17): 4119–4124, 2003
- SINGH, K.P., MALIK, A.D. MOHAN, S. SINHA, S. *Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) — a case study*, Water resources, 38(18): 3980-3992, 2004
- TAMMEORG, O., MÖLS, T., NIEMISTÖ, J., HOLMROOS, H., & HORPPILA, J. *The actual role of oxygen deficit in the linkage of the water quality and benthic phosphorus release: Potential implications for lake restoration*. Science of the Total Environment, 599, 732-738, 2017
- WUNDERLIN, D. A.; DÍAZ, M. D. P.; AMÉ, M. V.; PESCE, S. F.; HUED, A. C.; BISTONI, M. DE L.A. *Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia River Basin (Córdoba-Argentina)*. Water Research, v. 35,n. 12, p. 2881-2894, 2001.
- YAN, F., LIU, L., LI, Y., ZHANG, Y., CHEN, M., XING, X. *A dynamic water quality index model based on functional data analysis*. Ecological indicators, 57, 249-258, 2015