

Avaliação da qualidade da água em uma represa utilizada para abastecimento público no município de Sorocaba/SP

A água é um recurso essencial para a existência de vida na Terra, o Brasil possui um vasto potencial hídrico, entretanto sua distribuição espacial não coincide com as maiores aglomerações populacionais o que, conseqüentemente, exige dos gestores mais esforços para superar a escassez hídrica. Visando atender a demanda hídrica são implementados reservatórios para armazenamento desse recurso. Entretanto, as atividades antrópicas desenvolvidas no contexto das bacias hidrográficas têm influenciado sua qualidade e capacidade de armazenamento. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade da água na represa Clemente localizada na região metropolitana de Sorocaba. Foi realizado uma amostragem de água uma vez por mês entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019, sendo realizado a análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, bem como avaliado o Índice de Qualidade da Água – IQA, e por fim, os dados foram avaliados por meio de Análise de Componentes Principais-ACP. Apesar dos resultados obtidos mostraram pouca variação nos parâmetros físico-químicos e biológico ao longo dos anos, foi possível notar uma redução na qualidade da água do manancial. O IQA obtido ao longo do período foi considerado "Bom", "ótimo" e "regular". A ACP indicou que mais de 70% da variância dos dados foram explicadas por três primeiros componentes, com contribuição significativa de oxigênio dissolvido, temperatura, fósforo, DBO e Coliformes Termotolerantes, sendo que os últimos três fatores são relacionados aos poluentes de origem doméstica e industrial.

Palavras-chave: Reservatórios artificiais; Qualidade da água; Análise de Componentes Principais.

Evaluation of water quality in a dam used for public supply in the municipality of Sorocaba/SP

Water is an essential resource for the existence of life on Earth, Brazil has a vast water potential, however its spatial distribution does not coincide with the largest population agglomerations, which consequently requires managers more efforts to overcome water scarcity. Reservoirs are implemented in order to meet the water demand for the storage of this resource. However, the anthropic activities developed in the context of watersheds have influenced their quality and storage capacity. In this sense, this study aimed to evaluate the water quality in the Clemente dam located in the metropolitan region of Sorocaba. A water sampling was performed once a month between January 2016 and December 2019, and the analysis of physical-chemical and biological parameters was performed, as well as the Water Quality Index (WQI), and finally, the data were evaluated by means of Principal Component Analysis-PCA. Although the results obtained showed little variation in the physical-chemical and biological parameters over the years, it was possible to notice a reduction in the water quality of the spring. The WQI obtained over the period was considered "good", "excellent" and "regular". The PCA indicated that more than 70% of the data variance were explained by the first three components, with significant contribution of dissolved oxygen, temperature, phosphorus, BOD and Thermotolerant coliforms, and the last three factors are related to pollutants of domestic and industrial origin.

Keywords: Artificial reservoirs; Water quality; Principal Component Analysis.

Topic: Engenharia de Recursos Hídricos

Received: 13/04/2021

Approved: 12/05/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Tatiana Acácio da Silva 
Universidade Estadual Paulista, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8744987995363545>
tatianaacacio1909@gmail.com

Miqueias Lima Duarte 
Universidade Estadual Paulista, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4114453686317236>
<http://orcid.org/0000-0001-8232-4655>
miqueiaseng@hotmail.com

Cecília Maria de Paula Coelho 
Universidade Estadual Paulista, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3359072748869045>
cecilia.depaulacoelho@gmail.com

Victor Eduardo de Oliveira
Universidade Estadual Paulista, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3227105218341191>
victor13-2007@hotmail.com

Pedro Bartholo Costa
Universidade Estadual Paulista, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6607091735338093>
pedrobartholocosta@gmail.com

Manuel Enrique Gamero Guandique
Universidade Estadual Paulista, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7970443137108970>
enrique.gamero@unesp.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0023

Referencing this:

SILVA, T. A.; DUARTE, M. L.; COELHO, C. M. P.; OLIVEIRA, V. E.; COSTA, P. B.; GUANDIQUE, M. E. G.. Avaliação da qualidade da água em uma represa utilizada para abastecimento público no município de Sorocaba/SP. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.5, p.259-271, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0023>

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a existência de vida na Terra, ela é indispensável para a sobrevivência dos organismos vivos, além de ser extremamente importante para manutenção do clima. A disponibilidade e qualidade desse recurso é um fator preponderante para o estabelecimento e permanência de empreendimentos, atividades agropecuárias, bem como da sociedade em uma determinada região (TUNDISI, 2013).

Entretanto, a expansão urbana e industrial associada ao aumento das atividades agropecuárias tem ocasionado pressões negativas de forma quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos, pois as diversas ações antrópicas intensificam a degradação desses recursos. Além da perda da qualidade da água, o excesso na demanda causa a escassez hídrica, o que tem aumentado os conflitos pelo uso da água nos diversos setores (LIMA et al., 2017; SILVA et al., 2020).

As atividades antrópicas desenvolvida nos domínios de bacias hidrográficas tem causado impactos imensuráveis na qualidade da água, uma vez que a utilização do solo de forma desordenada, tais como a ocupação irregular de mata ciliares e encostas, o desenvolvimento de atividades agropecuárias e industriais de forma inadequada, podem favorecer a entrada acelerada de sedimentos e contaminantes nos corpos hídricos por meio de erosão superficial (BRIGHENTI, 2016; REIS et al., 2017).

Distintamente ao comportamento natural de um rio que possui dinâmica de fluxo, o que favorece a dissolução e dispersão de poluentes, nos reservatórios, a tendência é que os contaminantes carregados sejam acumulados em função da redução da velocidade, deste modo, os contaminantes que entram no reservatório com o arraste de sedimentos e partículas do solo tendem a comprometer a qualidade das águas armazenadas pelo mesmo (CIEŚLA et al., 2019). Dessa forma, é comum a ocorrência de eutrofização, contaminação por metais pesados e coliformes termotolerantes em reservatórios utilizados para abastecimento público, e esses casos tem aumentado nos últimos 50 anos, reflexo do alto grau de antropização em bacias hidrográficas (LIMA et al., 2016; WIEGAND et al., 2016).

A represa Clemente localizada no alto curso do rio Sorocaba, juntamente com outros mananciais, é responsável por abastecimento de cerca de 85% da população do município de Sorocaba (SAAE, 2020). Entretanto, estudos recentes mostram que no alto curso do rio Sorocaba tem ocorrido a expansão do desenvolvimento de atividade agrícola, o que pode significar alta pressão sobre a qualidade da água armazenada no reservatório devido as áreas agricultáveis e a urbanização próximas aos cursos hídricos, além de um sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário deficiente (FRASCARELI et al., 2015; SIMONETTI et al. 2019).

Nesse caso, avaliar a qualidade da água além de significar a segurança do manancial e da população que a utiliza, também permite, de certa forma, mensurar os impactos ocasionados em decorrência das interferências antrópicas nesses ambientes. O monitoramento de parâmetros físico-químicos e biológicos que indicam a qualidade da água é um dos principais instrumentos de base de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, uma vez que funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso da água, apresentando seus efeitos sobre as características

qualitativas, servindo como subsídio para ações de controle ambiental (GUEDES et al., 2012; PIRATOBA, 2017).

Desse modo, este trabalho teve como objetivo avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água, aplicar o Índice de Qualidade da Água (IQA) e correlacioná-los com uso de técnicas multivariadas em um período de quatro anos no reservatório do Clemente, localizado na região metropolitana de Sorocaba, região de expansão urbana e agrícola no estado de São Paulo.

METODOLOGIA

A área de estudo compreende o reservatório do Clemente, que fica localizado no município de Votorantim, região metropolitana de Sorocaba, entre as coordenadas métricas UTM (Universal Transversa de Mercator) 254205 a 254599 m E, 7387445 a 7387893 m N, no estado de São Paulo (Figura 1).

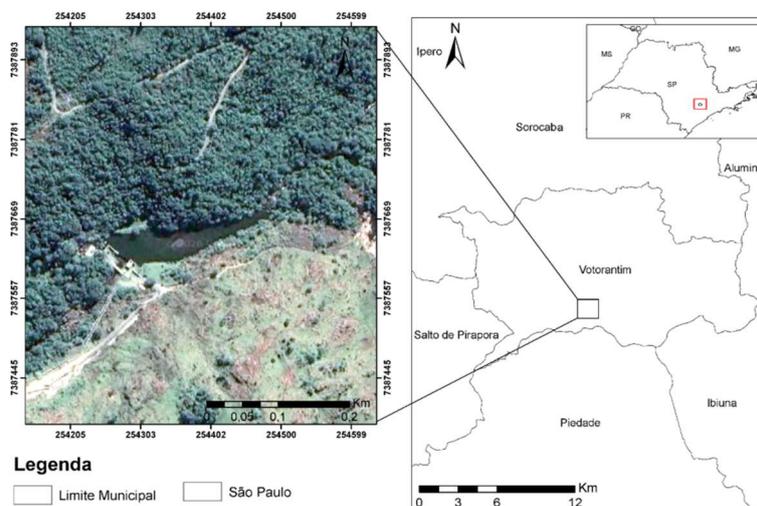


Figura 1: Localização da represa Clemente no município de Votorantim/SP.

O reservatório Clemente está localizado no alto curso do rio Sorocaba, cerca de 1,5 km à jusante da represa Itupararanga. A água armazenada no reservatório é captada e direcionada para a estação de tratamento Cerrado que também recebe água da represa Ipaneminha. Após tratamento convencional, a água é distribuída no município de Sorocaba, abastecendo cerca de 85% do município (SAAE, 2020). O clima da região é do tipo verão quente (Cfa), com precipitação média anual de 1.400 mm, com máximas de 180 mm no mês janeiro, e mínimas de 42 mm no mês de abril. A temperatura média de 19,17°C, com máximas de 22,3°C no mês de fevereiro, e mínimas de 15,5°C no mês julho (AGRITEMPO, 2020).

A vegetação original predominante da região é do tipo da Floresta Ombrófila Densa, Savana e Campo Antrópico. A Floresta Ombrófila Densa ocorre em estágio inicial, semidecidual, estágio médio e estágio avançado, enquanto que a Savana ocorre de forma Arborizada (Cerrado), gramíneo-lenhosa (Campo Cerrado), Campos úmidos (Áreas brejosas e várzeas), e o Campo Antrópico é constituído por vegetação mista (SEMA, 2011). Estudos recentes desenvolvidos na região mostram que a dinâmica do uso e ocupação do solo no alto curso do rio Sorocaba é intenso, principalmente no que se refere as perdas de áreas florestais para a expansão agropecuária, ocupação de Áreas de Preservação Permanente-APP e o aumento de áreas urbanas (SIMONETTI et al., 2019; SOUSA et al., 2020).

A amostragem de água foi realizada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba (SAAE). As coletas foram realizadas de forma periódica entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019, sendo realizado uma coleta a cada mês seguindo a metodologia de amostragem de água proposta no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de água e sedimentos da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (CETESB, 2011), totalizando 48 amostragens. As análises físico-químicas e biológica foram realizadas no laboratório da SAAE seguindo a metodologia apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros avaliados e metodologia adotada para análise.

Parâmetros	Unidade	Metodologia
Ph	NA	SMWW 4500 HB
Oxigênio Dissolvido	mg*L ⁻¹	Método iodométrico de Winkler
DBO5 DIAS, 20°C	mg*L ⁻¹	SMWW 5210B
Resíduos Totais	mg*L ⁻¹	Filtração e secagem em estufa
Nitrogênio (NTK)	mg*L ⁻¹	NT CETESB L5.139
Fósforo	mg*L ⁻¹	NT CETESB L5. 128
Turbidez	UNT	NT CETESB L5. 156
Coliformes Termotolerantes	Nmp/100ml	NT CETESB L5. 406

Após a determinação dos parâmetros físico-químicos e biológico de qualidade da água, obteve-se o Índice de Qualidade da Água - IQA ($IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i}$), onde IQA corresponde ao índice de qualidade da água (variando entre 0 a 100), q_i a qualidade do parâmetro i obtido através da média de qualidade, e w_i refere-se ao peso atribuído ao parâmetro referente a sua atribuição de importância na qualidade (variando entre 0 a 1). Para determinação do peso de cada parâmetro, levou-se em consideração a atribuição de pesos proposta pela CETESB, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros e pesos para determinação do IQA.

Parâmetros	Pesos
pH	0,12
Turbidez	0,08
Temperatura	0,10
Fósforo Total	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Oxigênio Dissolvido	0,17
Sólidos Totais Dissolvidos	0,08
Coliformes Termotolerantes	0,15
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Total	1,00

Fonte: CETESB, 2007

Os parâmetros físico-químicos e biológico de qualidade da água foram submetidos a análise de correlação de Spearman (r) levando em consideração um nível de significância de 5% probabilidade. Em seguida, foi realizado uma análise multivariada por meio de Análise de Componentes Principais-ACP. Tais análises foram realizadas no software RStudio com uso dos pacotes *readxl* para leitura de dados, *psych* e *lattice* para aplicação dos testes e análise multivariada, e *ggplot2* para construção dos gráficos.

Com vista a realização ACP, avaliou-se a adequabilidade da análise por meio do teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e teste de Bartlett. O teste de KMO avalia a medida de correlação da matriz como um

todo, ou seja, a correlação entre as variáveis independentes. Nesse caso, o método compara a magnitude do coeficiente de correlação observado com a magnitude do coeficiente de correlação parcial. Os valores do teste de KMO variam de 0 a 1, considera-se que valores de KMO abaixo de 0,5 indicam que os dados não são adequados (RENCHER, 2002; FINKLER et al., 2015). Já o teste Bartlett é utilizado para avaliar a hipótese de que as variáveis não sejam correlacionadas na população, nesse caso, o p -valor deve ser menor que 0,05 (NETO et al., 2018).

Para a obtenção da CP, é recomendado levar em consideração o menor número de fatores, desde que a somatória das componentes ultrapasse 70% da variância total dos dados (RENCHER, 2002). Nesse estudo, como os dados relacionados a qualidade de água possuem alta variabilidade, consideraram-se na composição de cada componente, variáveis cujas cargas fatoriais foram superiores a 0,50, conforme indicado por Finkler et al. (2015).

RESULTADO E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados da análise dos parâmetros físico-químicos e biológico da água para o reservatório Clemente, assim também, verificou-se sua conformidade com os valores estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005 (linha em vermelho), ressalta-se que os valores de referência correspondem aos limites estabelecidos para corpos hídricos classe II, no qual os reservatórios se enquadram.

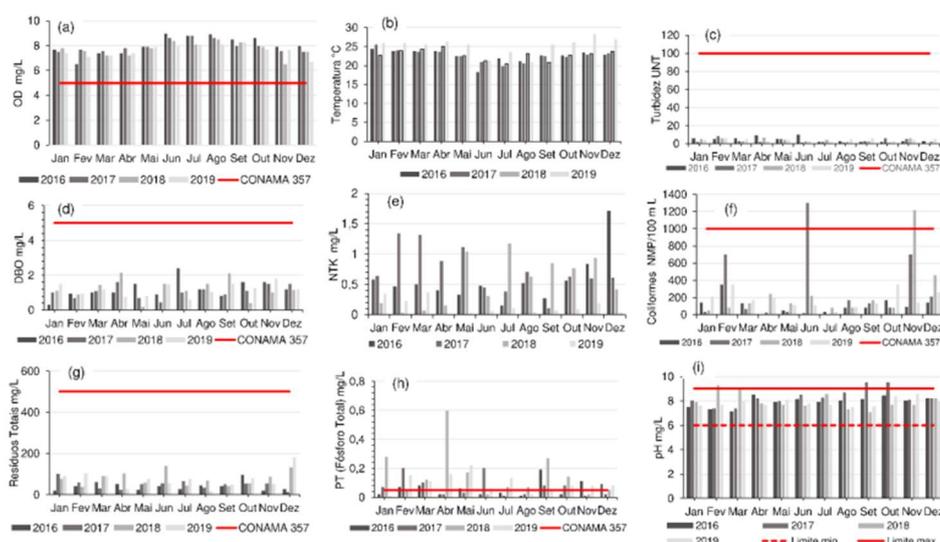


Figura 2. Parâmetros de qualidade da água avaliada para aplicação do IQA.

Observou-se que o oxigênio dissolvido (Figura 2a) apresentou valores dentro dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005 que estabelece limites superiores a 5 mg.L^{-1} . Além do mais, é possível notar que os maiores valores ocorreram no período de menores precipitações na região, entre os períodos de junho a novembro, já os menores valores de OD ocorrem no período de estiagem. Esse comportamento pode ser explicado uma vez que no período chuvoso ocorre um carreamento de matéria orgânica e partículas em função da erosão superficial, gerando acréscimo de matéria orgânica no ecossistema aquático que, para sua decomposição microbiana, consome grande parte ou a totalidade do oxigênio dissolvido, conforme descrito por Garcia et al. (2012).

A temperatura (Figura 2b) apresentou valores variando entre 18,2°C e 28,2°C, com menores valores no período de estiagem (18,2°C a 26,4°C) e maiores no período chuvoso (22,3°C a 28,2°C), assim como observado por Pedrazzi et al. (2014) na represa Itupararanga, indicando que a variação está associada a sazonalidade regional. Vale ressaltar que a legislação não estabelece valores máximos ou mínimos para esse parâmetro, entretanto, ele constitui um fator determinante no que se refere as reações que afetam os processos físico, químicos e biológicos no ambiente aquático, principalmente em ambientes lênticos, pois à medida que esse parâmetro varia, as algas e microrganismos responsáveis pela fotossíntese podem se distanciar da superfície aquática ou até mesmo morrerem (PEDRAZZI et al., 2014).

Em relação aos valores observados para a turbidez (Figura 2c), verificou-se que em todos os períodos analisados, os valores estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação, assim como os valores observados para os Resíduos Totais (Figura 2h). Em ambos parâmetros foi observada uma pequena relação com a sazonalidade regional, pois para os maiores valores foram observados no período chuvoso, enquanto que para os menores valores foram observados no período seco, que por sua vez, está associado ao arraste de material particulado do solo, tais como matéria orgânica, areia e silte pela ação da chuva (VANZELA et al., 2010).

Em relação ao DBO (Figura 2d), em todos os períodos avaliados os valores observados estiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação ($DBO < 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$), além de ser observado baixa relação com a sazonalidade regional. A DBO pode ser entendida como um indicador da quantidade de oxigênio que é consumida pelos microrganismos existentes no manancial, cuja finalidade é degradar a matéria orgânica provenientes de cargas contaminantes de origem doméstica e industriais, bem como os carreados por erosão superficial (ROSA et al., 2015).

Por outro lado, observou-se que os valores Nitrogênio Total Kjeldahl (Figura 2e) apresentaram maiores valores durante o período chuvoso e menores no período seco, mostrando alta relação com a sazonalidade regional. Em relação ao fósforo total (Figura 2h), verificou-se valores acima do estabelecido pela legislação na maioria do período avaliado (principalmente no período chuvoso). Apesar da legislação CONAMA 357/2005 não estabelecer limites para o NTK, esse parâmetro associado ao fósforo pode contribuir com a eutrofização do corpo hídrico (BELLO et al., 2011).

Em relação aos Coliformes Termotolerantes (Figura 2f), verificou-se valores acima dos limites estabelecidos pela legislação nos meses de junho de 2017 e novembro de 2018. A proximidade com o perímetro urbano, bem como a existência de residências rurais com ausência de coleta de esgotamento doméstico, e a utilização de áreas de pastagem ao entorno do manancial pode ser o responsável pela presença de Coliformes Termotolerantes acima dos limites estabelecidos pela legislação (VON SPERLING, 2005; ROSA et al., 2015; SALES et al., 2015). Para o pH (Figura 2i), observou-se que na maioria meses avaliados os valores estiveram dentro dos limites estabelecidos pela legislação, com exceção para os meses de fevereiro de 2018, março de 2018, setembro e outubro de 2017 cujos valores ultrapassaram os limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05 que define que os valores devem estar entre 6 a 9. Além do mais, não foram observadas variações abruptas do pH ao longo da sazonalidade regional e interanual.

Vale ressaltar que valores de pH afastados da neutralidade ($7 > \text{pH} > 7$) podem afetar a manutenção da vida aquática (OLIVEIRA et al., 2010).

Com base nos dados dos parâmetros físico-químicos e biológico foi aplicado o Índice de Qualidade da Água-IQA levando em consideração a ponderação proposta pela CETESB. A Tabela 3 apresenta os valores de IQA obtidos para os meses de janeiro de 2016 a dezembro de 2019 no reservatório avaliado.

Tabela 3. Índice de Qualidade da Água - IQA para a represa do Clemente.

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2016	81	76	80	81	82	84	83	82	78	78	79	90
2017	84	72	80	85	85	69	89	76	71	72	75	78
2018	78	73	71	68	78	79	79	81	74	81	78	76
2019	79	74	77	77	77	80	83	82	79	76	77	42
IQA	Péssima		Ruim		Regular			Boa		Ótima		

De acordo com os intervalos do IQA estabelecido pela CESTEB (2007), que define os níveis de qualidade da água como ótima ($79 < \text{IQA} \leq 100$), boa ($51 < \text{IQA} \leq 79$), regular ($36 < \text{IQA} \leq 51$), ruim ($9 < \text{IQA} \leq 36$), péssima ($\text{IQA} \leq 9$), observou-se que para o ano de 2016 oito meses apresentaram IQA considerada ótima, enquanto os demais meses apresentaram IQA classificado como boa. Em 2017, apenas cinco meses apresentaram IQA considerado ótimo, os demais classificados como boa, e em 2018, apenas dois meses foram considerados ótima, sendo que o restante foi classificado como boa. Já em 2019, apenas três meses apresentaram IQA considerado ótimo, e em oito meses foi considerado bom e um mês com IQA considerado regular. Ou seja, observou-se uma redução significativa no IQA do manancial, pois os valores que se enquadraram predominantemente como “ótima” com IQA variando entre 79 a 90 em 2016 foram gradativamente reduzindo entre 2017 a 2019, onde predominou o IQA considerado bom.

Com vista na compreensão da correlação entre os parâmetros de qualidade da água e o IQA na represa Clemente, foi realizado uma análise de correlação de Spearman (r^2) que é apresentado na Figura 3, onde a triangular superior apresenta os valores de correlação entre os parâmetros e o IQA, a diagonal principal apresenta os gráficos de densidade das observações para cada variável, e a triangular inferior apresenta as retas de correlação para cada par de variáveis.

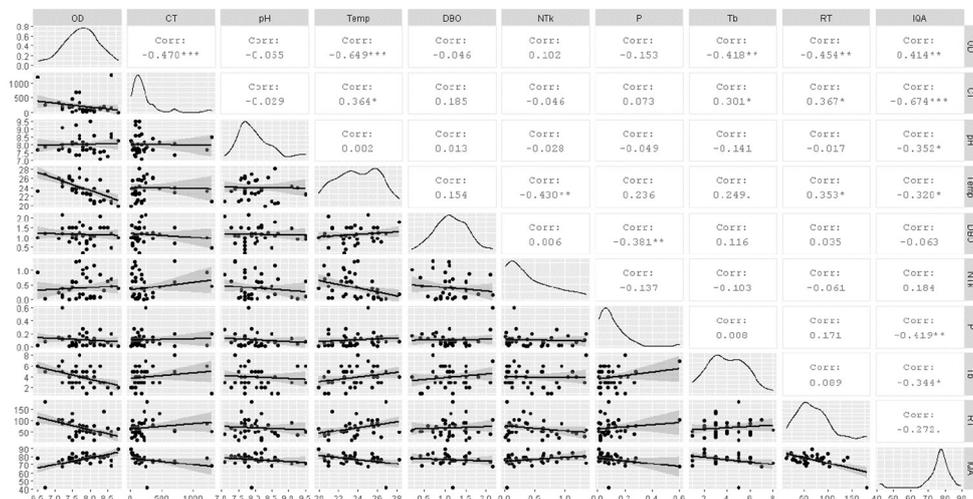


Figura 3. Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água e IQA na represa Clemente.

Obs. Correlação significativa a 0,05 (*), Correlação significativa a 0,01 (**), Correlação significativa a 0,001 (***). Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes (CT), Potencial Hidrogênico (pH), Temperatura (Temp), Demanda bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo (P), Turbidez (Tb), Resíduo Total (RT), Índice de Qualidade da água (IQA).

Verificou-se que apenas o parâmetro Coliformes Termotolerante (CT) apresentou correlação significativa com o IQA (-0,67), os demais parâmetros apresentaram correlação considerada fraca, sendo eles: fósforo (-0,41), oxigênio dissolvido (0,41), pH (-0,35), turbidez (-0,34) e temperatura (-0,32). Vale ressaltar que o coeficiente de correlação de Spearman varia de -1 a +1, sendo que valores positivos mais próximos de +1 significa uma associação positiva quase perfeita, de forma inversa para valores negativos se aproximando de -1. Por outro lado, valores próximos de 0 indica a existência de pouca ou nenhuma associação (ASUERO et al., 2006; SOUSA, 2019). Em relação a correlação entre os parâmetros de qualidade da água, observou-se correlação significativa entre a temperatura com oxigênio dissolvido (-0,64) e Coliformes Termotolerantes e oxigênio dissolvido (-0,47). A correlação entre os demais parâmetros foi considerada fraca, sendo as principais: -0,45 entre resíduos totais e oxigênio dissolvido, -0,43 entre NTK e temperatura, -0,41 entre turbidez e oxigênio dissolvido, e -0,38 entre fósforo e DBO.

A existência da correlação negativa entre oxigênio dissolvido e temperatura é comum, pois a solubilidade de gases varia em função da temperatura da água, bem como pressão atmosférica e teor de sais dissolvidos. Nesse caso, o aumento da temperatura faz com que ocorra a diminuição da solubilidade do oxigênio dissolvido, conforme observado por Centeno et al. (2018). A análise de ACP permitiu identificar as variáveis com maior contribuição na variância dos dados. Para a aplicação da ACP, foram observados os testes KMO e de Bartlett, ambos permitiram verificar a adequação do conjunto de dados para a aplicação da análise. Os resultados mostraram que o valor de KMO foi de 0,55, e a significância da esfericidade de Bartlett ($\chi^2 = 59,99$, $df=36$, $p < 0,007$), atendendo as exigências para a análise dos dados por ACP.

A Tabela 4 apresenta os resultados ACP para a represa Clemente entre 2016 a 2019, com ênfase as Componentes Principais-CP com cargas superiores a 0,50. Nesse estudo apenas a contribuição das três CP fora considerada, pois em ambos os anos a somatória representam mais de 70% da variância total dos dados avaliados, sendo suficiente para análise de ACP, conforme descrito por RENCHER (2002).

Em 2016 as três primeiras CP representaram 70,03% da variância total das variáveis originais, sendo que a CP1 corresponde a 34,80% representada pelas variáveis oxigênio dissolvido (-0,96), Coliformes Termotolerantes (-0,80), pH (0,70) e temperatura (-0,78), na CP2, 20,60% da variância foi representada, com contribuição significativa apenas pela turbidez (-0,94), e na CP3, cerca de 14,63% da variância foi representada, com contribuição significativa apenas pelos resíduos totais (0,80). Já em 2017, cerca de 75,42% da variância total das variáveis originais foram explicadas pelas três CP, sendo que na CP1 34,13% da variância foi representada pelo oxigênio dissolvido (-0,86), temperatura (0,83), NTK (0,80), pH (-0,76), turbidez (0,62). Na CP2 26,21% da variância foi representada pela DBO (-0,86), fósforo (0,87), Coliformes Termotolerantes (-0,76), Turbidez (0,65), oxigênio dissolvido (0,57) e fósforo (0,55), e na CP3 15,08% da variância foi representada pelo NTK (0,50). Em 2018, cerca de 72,87% da variância total das variáveis originais foi explicada pelas três CP, sendo que na CP1 33,50% da variância sendo representada pela temperatura (0,81), oxigênio dissolvido (-0,76) e NTK (-0,66). Na CP2, 21,15% da variância foi explicada pela DBO (0,66), Coliformes Termotolerantes (-0,65) e fósforo (0,55) e na CP3, 11,44% da variância foi explicada pelo pH (-0,79) e Coliformes Termotolerantes (0,63).

E em 2019, 73,52% da variância total das variáveis originais foi explicada pelas três CP, sendo 35,55% da CP1 representada pelo oxigênio dissolvido (-0,84), Coliformes Termotolerantes (0,74), temperatura e NTK (0,73), Resíduos totais com (0,72). Na CP2 21,97% da variância foi explicada pelo fósforo (-0,91), DBO (0,82), e na CP3, 16,00% da variância foi explicada pelo pH (0,83).

Tabela 4: Fatores encontrados e o percentual de explicação das amostras para cada ano avaliado.

2016					
Parâmetros	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Oxigênio Dissolvido	0,96	-	-	-	0,13
Coliformes Termotolerantes	-0,80	0,12	0,36	0,28	-
pH	0,76	0,40	-0,10	0,37	-
Temperatura	-0,78	0,46	-	-0,14	-
DBO	0,49	0,48	0,26	-0,34	-0,45
NTK	-0,15	0,30	-0,44	0,74	-0,30
Fósforo	-0,27	0,48	-0,48	-0,18	0,59
Turbidez	-	-0,94	-0,14	0,13	-
Resíduos Totais	-	0,10	0,80	0,36	0,37
Variância (%)	34,80	20,60	14,63	18,19	9,30
2017					
Parâmetros	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Oxigênio Dissolvido	-0,86	0,28	-0,27	-0,13	-0,22
Coliformes Termotolerantes		0,78	-0,16		0,48
pH	-0,76	-	0,34	0,54	-
Temperatura	0,83	-0,18	0,38	-	0,23
DBO		-0,86	-0,10	-	0,35
NTK	0,80		-0,50	-0,10	-0,23
Fósforo	0,30	0,87	-	0,10	0,15
Turbidez	0,62	0,14	-	0,62	-0,32
Resíduos Totais		0,28	0,84	-0,30	-0,17
Variância (%)	34,13	26,21	15,08	9,36	7,73
2018					
Parâmetros	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Oxigênio Dissolvido	-0,76	0,57	-0,10	-	-
Coliformes Termotolerantes	0,34	-0,65	0,63	-0,14	-
pH	0,35	-0,26	-0,79	-	0,33
Temperatura	0,81	-	-0,26	-	-0,43
DBO	0,32	0,66	0,36	-	0,44
NTK	-0,66	-0,46	0,40	0,33	-
Fósforo	0,47	0,55	0,20	0,57	-0,20
Turbidez	0,76	-0,20	-	0,33	0,32
Resíduos Totais	0,40	0,27	0,40	-0,69	-
Variância (%)	33,50	21,15	18,22	11,80	7,65
2019					
Parâmetros	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Oxigênio Dissolvido	-0,84	0,15	0,26	-	0,17
Coliformes Termotolerantes	0,74	-	-	0,31	-0,55
pH	0,42	-0,13	0,83	-	-
Temperatura	0,73	-0,14	0,39	0,26	0,20
DBO	0,22	0,82	0,46	-	-
NTK	0,73	0,38	-0,25	-0,40	0,20
Fósforo	0,18	-0,91	-	0,17	0,27
Turbidez	0,28	0,48	-0,42	0,58	0,34
Resíduos Totais	0,72	-0,17	-0,22	-0,42	0,11
Variância (%)	35,55	21,97	16,00	9,91	7,01

A Figura 4 apresenta os gráficos de plano fatorial entre os parâmetros de qualidade da água em função do IQA na represa Clemente (Figura 4, a, b, c, d) para os meses avaliados entre 2016 a 2019, com as classes regular, boa e ótima. A leitura gráfica possibilita identificar os fatores apresentados na Tabela 4, além de contribuições individuais exercidas pelos parâmetros em cada mês avaliado.

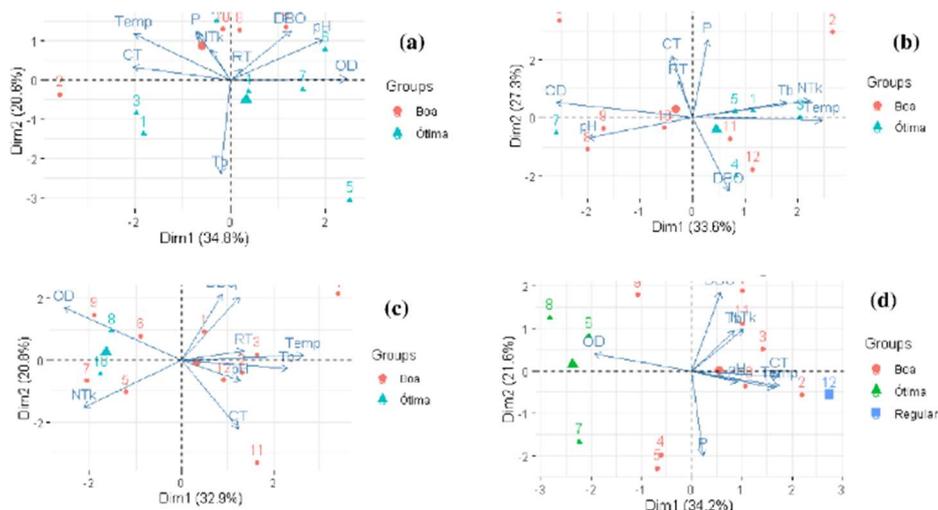


Figura 4: Gráficos de plano fatorial entre os parâmetros de qualidade da água em função do IQA.

Observou-se que os parâmetros oxigênio dissolvido e temperatura apresentaram contribuições significativas na CP1 em todos os anos avaliados. Nesse estudo, os valores de oxigênio dissolvido apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA, já para a temperatura, a legislação não estabelece valores máximos ou mínimos para esse parâmetro.

De certa forma, a temperatura e o oxigênio dissolvido possuem uma relação intrínseca, pois com o aumento da temperatura em ambientes lênticos aumentam as taxas de reações químicas e biológicas, ocasionando a diminuição da solubilidade de gases (VON SPERLING, 2005). No que se refere ao OD, os valores médios observados estão dentro dos considerados ideais para o desenvolvimento de vida aquática, pois segundo a USEPA, os valores de OD entre 0 a 2 mg.L⁻¹ são considerados insuficiente para manter a vida aquática, de 2 a 4 mg.L⁻¹ apenas algumas espécies podem sobreviver, de 4 a 7 mg L⁻¹ é aceitável para peixes de águas quentes, e de 7 a 11 mg.L⁻¹, que é o caso dos valores médios observados na represa Clemente, corresponde ao nível ideal de OD para o desenvolvimento de vida aquática em águas frias (USEPA, 1986).

Na CP2, observou-se que os parâmetros DBO e fósforo apresentaram contribuições significativas em todos os anos, com exceção para 2016. No que se refere ao DBO, este parâmetro está estritamente relacionado ao aumento da carga de matéria orgânica na água que ocorre principalmente em decorrência do lançamento de esgoto *in natura*, resíduos urbanos e agrícolas (Xu et al., 2020). Já o fósforo possui origem natural através da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica, mas também de origem antrópica através do despejo de esgotamento doméstico e industrial sem tratamento, bem como de excrementos animais ou provenientes de fertilizantes agrícolas (PENG et al., 2020).

Em suma, observou-se que dentre as três primeiras componentes que apresentaram variância superior a 70% das variáveis originais, as duas primeiras foram fortemente influenciadas por NTK (em 2017, 2018 e 2019 na CP1), fósforo (em 2017, 2018 e 2019 na CP2), DBO (em 2017, 2018 e 2019 na CP2) e Coliformes Termotolerantes (em 2016 e 2019 na CP1 e 2017 e 2018 na CP2), contaminantes possivelmente originário do lançamento de efluentes domésticos e industriais, bem como do desenvolvimento de atividades agropecuárias da região.

CONCLUSÕES

Apesar de que em alguns meses foi observado que o manancial apresentou parâmetros com limite acima do estabelecido pela legislação, tais como o fósforo, NTK, Coliformes Termotolerantes e pH, a classificação do Índice de Qualidade da Água-IQA do manancial foi considerada entre “boa” e “ótima” qualidade, conforme classes definidas pela CETESB. Entretanto, vale ressaltar que foi observado uma redução na qualidade da água ao longo do período avaliado, pois o entre 2016 a 2019 o IQA passou de predominantemente ótimo para boa, com ocorrência de uma classe regular no último mês de 2019.

A Análise de Componentes Principais possibilitou indicar quais fatores estão contribuindo com a perda da qualidade da água na represa. De modo geral, os resultados mostraram que apenas três primeiras componentes possibilitaram explicar mais de 70% da variância dos dados, sendo representados por poluentes relacionados a disposição de efluentes domésticos e industriais (Coliformes Termotolerantes, fósforo, DBO e NTK), bem como relacionados a dinâmica de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (Turbidez e Resíduos Totais).

Desta maneira, os resultados demonstraram que o manancial é uma fonte segura para o abastecimento da população e que devem ser tomadas medidas preventivas tais como o desenvolvimento de práticas agrícolas adequadas, a recomposição de vegetação florestal em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica, além de assegurar a coleta e tratamento de efluentes domésticos e industriais gerados, com vista a manter o nível de ótima a boa qualidade da água.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**: Rede de Estações. Sorocaba, 2020.

ASUERO, A. G.; SAYAGO, A.; GONZÁLES, A. G.. The correlation Coefficient: an overview. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v.36. p.41-59, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408340500526766>

BELLO, F. H.; GUANDIQUE, M. E.. Diagnóstico Ambiental do meio aquático Rio Ipanema, Sorocaba/SP. **Holos Environment**, v.11, n.2, p.94-105. 2011. DOI : <https://doi.org/10.14295/holos.v11i2.5617>

BRASIL. **Resolução CONAMA 357**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2005.

BRIGHENTI, T. M.; BONUMÁ, N. B.; CHAFFE, P. L. B.. Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n.1. p.53 - 64, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p53-64>

CENTENO, L. N.; CECCONELLO, S. T.. Análise temporal da qualidade da água do Rio Tramandaí/RS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.5, p.99-105. 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0010>

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia**

nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, 2011. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de qualidade das águas São Paulo**, 2007.

CIEŚLA, M.; BARTOSZEK, L.; GRUCA-ROKOSZ, R.. Characteristics and origin of suspended matter in a small reservoir in Poland. **Ecohydrology & hydrobiology**, p.73-82. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.05.003>

CORADI, P. C.; FIA, R.; PEREIRA-RAMIREZ, O.. Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.4, n.2, p.46-56, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; SCHNEIDER, V. E.. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Revista Ambiente & Água**, v.10, n.4. p.782-792. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1468>

FRASCARELI, D.; BEGHELLI, F. G. S.; SILVA, S. C.; CARLOS, V. M. Heterogeneidade espacial e temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Itupararanga associadas com o uso do solo na Bacia do Alto Sorocaba-SP. **Revista Ambiente & Água**. v.10, n.4, P. 770-781. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1715>

GARCIA, H. L.; SILVA, V. L.; MARQUES, L. P.; GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H.; SILVA, M. G.; CARVALHO, F. O.. Nível trófico

do reservatório de Jacarecica I – Sergipe – Brasil. **Scientia Plena**, v.8, n.7, 2012.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M.. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água - IQA. **Caderno Pedagógico**, v.14, n.1, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1421>

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P.. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.558-563, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012>

KAISER, H. F.. The Varimax criterion for analytic rotation in fator analysis. **Psychometrika**, v.23, n.3, p.186-200, 1958. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; BARBOSA, C. C. F.; FILHO, O. C. R.. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.1. p.139-150. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100127676>

LIMA, R. S.; ALVES, J. P. H.. Alves Avaliação da qualidade da água dos reservatórios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Piauí – Real, utilizando o índice de qualidade da água (IQA). **SCIENTIA PLENA**, v.13, n.13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109918>

NETO, J. T.; OLIVEIRA, N. L. F.; FREITAS, A. P. A.; SANTOS, J. A. N.. Utilização do valor agregado como ferramenta de gestão na construção civil: uma análise quantitativa. **Revista Ambiente Construído**, v.18, n.4, p.237-257, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400303>

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P.. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. **Química Nova**, v.33, n. 5, p.1059-1066, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000500010>

PEDRAZZI, F. J. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M.. Avaliação da qualidade da água no reservatório de Itupararanga, bacia do Alto Sorocaba (SP). **Geociências**, v.33, n.1, p.26-38, 2014.

PENG, C.; SHEN, Y.; WU, X.; YUAN, P.; JIANG, L.; ZE, S.; WANG, X.; SONG, X.. Heavy Metals, Nitrogen, and Phosphorus in Sediments from the First Drinking Water Reservoir Supplied by Yangtze River in Shanghai, China: Spatial Distribution Characteristics and Pollution Risk Assessment. **Water, Air, & Soil Pollution**, v.231, n.298, p. 231-298, 2020. DOI : <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04651-6>

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise**. Porto Alegre: Artmed, 2016. 240p.

PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M.C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W, G.. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA,

Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.12, p.435-456, 2017 . DOI: <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

REIS, D. A.; SANTIAGO, A. F.; NASCIMENTO, L. P.; OILVEIRA, E. G.; MARQUES, L. S.; ROESER, H. M. P.. Influência dos fatores ambientais e antrópicos nas águas superficiais no rio Matipó, afluente do rio Doce. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21168/rega.v14e2>

RENCHER, A.. **Methods of multivariate analysis**. New York: John Wiley & Son, 2002.

ROSA, A. H.; SILVA, A. A. M. J.; MELO, C. A.; MOSCHINI-CARLOS, V.; GUANDIQUE, M. E. G.; FRACETO, L. F.; LOURENÇO, R. W.. Diagnóstico ambiental e avaliação de uso e ocupação do solo visando a sustentabilidade da represa de Itupararanga, importante área da bacia do médio tietê. In: POMPÊO, M.. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Sistema de coleta e distribuição de água de Sorocaba**, 2020.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente. **Plano Diretor da Ambiental de Sorocaba**, v.1, 2011.

SILVA, H. B.; SILVA, C. E.. Qualidade da água de um parque urbano em Teresina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.5, p.2371-2387, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2371-2387>

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H.. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. **Revista Geosul**, v.34, n.72, p.1-27, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p01>

SOUSA, Á. S. T.. Coeficiente de Correlação de Pearson e Coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados? **Correio dos Açores**, v. 19, 2019.

SOUSA, J. A. P.; LOPES, E. R. N.; DE SOUZA, J. C.; LOURENÇO, R. W.. Mudanças de uso da terra e estimativas de emissões antrópicas de CO2 em bacia hidrográfica. **Sociedade & Natureza**, v.32, p.262-278, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-44054>

TUNDISI, J. G.. Governança da água. **Revista da UFMG**, v.20, n.2, p.222-235, 2013.

VANZELA, L. S.; HERNADESZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.55-64. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>

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

WIEGAND, M. C.; PIEDRA, J. I.; ARAÚJO, J. C.. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p.415-424, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016139527>

XU, J.; JIN, G.; MO, Y.; TANG, H.; LI, L.. Assessing Anthropogenic Impacts on Chemical and Biochemical Oxygen Demand in Different Spatial Scales with Bayesian

Networks. **Water**, v.12, n.1, p.1-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12010246>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.