

345 - AVALIAÇÃO DO RIO SÃO GONÇALO NO TRECHO URBANO DE SÃO DOMINGOS DO NORTE-ES: ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA À NASCENTE E À JUSANTE DURANTE OS PERÍODOS DE SECA E CHUVA

Thainá Dalfior Salvador⁽¹⁾

Engenheira Química graduada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos (EPQB) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Felipe Sombra dos Santos⁽²⁾

Engenheiro Químico pela PUC-Rio. Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais na área de Engenharia de Processos e Meio Ambiente pela PUC-Rio. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Osvaldo Cruz (FIOCRUZ). Doutor em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Bioquímica da Escola de Química da UFRJ.

Lidia Yokoyama⁽³⁾

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará, mestrado em Engenharia Metalúrgica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e doutorado em Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Professora Titular do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Endereço⁽⁴⁾: Avenida Honório Fraga, 468 - Centro - São Domingos do Norte - ES - CEP: 29745-000 - Brasil - Tel: +55 (21) 99981-6816 - e-mail: thainasalvador@gmail.com

RESUMO

A água é um recurso natural essencial e seu monitoramento é uma estratégia relevante para identificar possíveis agentes poluidores e orientar a população. O Índice de Qualidade da Água (IQA) reúne parâmetros bacteriológicos e físico-químicos representando-os por um número adimensional em escala de 0 a 100, que facilita o entendimento público.

O presente trabalho analisou, mensalmente durante um ano, amostras de água à nascente e à jusante do Rio São Gonçalo que pertence à Bacia do Rio Doce, localizado no município de São Domingos do Norte no estado do Espírito Santo. A precipitação acumulada média do mês que antecedeu a coleta foi registrada e agrupada em períodos de seca e chuva. Com os dados dos parâmetros foi calculado o IQA de cada amostra. Os valores do índice foram avaliados por Análise Estatística Multivariada (método de *Cluster*, *Mann-Whitney* e Teste *Kruskal-Wallis*) quanto ao ponto de coleta e aos dados pluviométricos.

Os resultados indicam que existe significância estatística entre os agrupamentos, sendo assim, a distribuição pluviométrica do município pode ser dividida em período chuvoso e seco, além disso o IQA registra a diminuição da qualidade da água em períodos secos quando comparados ao período de chuva, indicativo da influência da diluição causada pelas águas da chuva. Em um mesmo agrupamento pluviométrico, a qualidade da água à nascente do rio foi superior quando comparada à amostra correspondente à jusante do centro urbano, sugerindo que há alteração na qualidade, causada pelo despejo de esgoto doméstico e o descarte inadequado dos efluentes sem tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento Ambiental, IQA, Água Fluvial, Poluição Hídrica, Esgoto Sanitário.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência de grande parte das espécies, inclusive a humana. Ela é fundamental para a produção vegetal e a dessedentação animal. Este recurso natural está presente em atividades recreativas e de navegação, podendo ser considerada a base do desenvolvimento urbano, industrial e agrícola (BRICKER e JONES, 1995, *apud* NOORI *et al.*, 2019).

As atividades antrópicas e o mau uso dos recursos hídricos têm causado deterioração da qualidade da água (COSTA *et al.*, 2020). O lançamento de esgoto doméstico provoca a contaminação dos rios nas áreas urbanas, afetando o ecossistema aquático, promovendo a proliferação de doenças de veiculação hídrica (AISSA-GROUZ *et al.*, 2018).

O monitoramento da qualidade da água é uma ferramenta de gestão e controle da poluição, que é indispensável para avaliar as variações espaciais e temporais, e com isso possibilita identificar os pontos de despejo de efluentes e prevenir a contaminação (COSTA *et al.*, 2020).

O método tradicional que compara individualmente cada parâmetro com o limite padrão de determinada classe demanda tempo, custos e dificulta a interpretação dos resultados. Os índices de qualidade da água surgem como uma ferramenta simples e eficaz na avaliação dos corpos hídricos, além de facilitar a comunicação com o público geral, por permitir a síntese de vários dados em um único valor (NOORI *et al.*, 2019; PESSOA *et al.*, 2020). O IQA é o principal indicador utilizado nacionalmente e contempla dados bacteriológicos e físico-químicos. Ele é composto por nove parâmetros, sendo eles: coliformes termotolerantes, pH, turbidez, fosfato, nitrato, temperatura, oxigênio dissolvido, DBO_{5,20} e sólidos dissolvidos totais (NOORI *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Os resultados deste monitoramento podem ser interpretados utilizando modelos estatísticos multivariados, por combinarem um grande conjunto de dados e variáveis em resultados de interpretação simples e agrupamentos (PINTO; CALAZANS; OLIVEIRA, 2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

AREA DE ESTUDO

O município de São Domingos do Norte está localizado no Noroeste do Estado do Espírito Santo (IBGE, 2022). A cidade pertence à Bacia do Rio Doce, na Unidade de Análise São José (PARH SÃO JOSÉ, 2010). O Rio São Gonçalo é o principal corpo hídrico que recebe esgoto no município, com lançamentos *in natura* de quase toda a área urbana (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO DOMINGOS DO NORTE, 2016).

Foram selecionados dois pontos para a realização da coleta das amostras. São eles: próximo à nascente do rio (latitude de -19.140464 e longitude de -40.619645) e à jusante do centro urbano municipal de maior densidade populacional (latitude de -19.140744 e longitude de -40.619642).

AMOSTRAGEM, ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E BACTERIOLÓGICA

A amostragem foi realizada conforme orientação do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (BRANDÃO *et al.*, 2011). Para determinações físico-químicas e microbiológicas, as amostras foram armazenadas em frascos de polietileno e refrigeradas em caixa térmica com gelo, em uma temperatura de aproximadamente 4 °C.

Os dados referentes à temperatura e ao oxigênio dissolvido foram obtidos *in loco*, com o auxílio de um oxímetro, da marca coreana AZ, devidamente calibrado. Já para as medições dos valores de pH foi utilizado o equipamento correspondente da marca *Kasvi*. As análises de turbidez foram obtidas com o turbidímetro da fabricante *Hanna Instruments*, modelo HI98703-02.

Os ensaios dos demais parâmetros foram realizados por um laboratório de análises químicas, seguindo a metodologia dos *Standard Methods (SM) For the Examination of Water and Wastewater* da *American Public Health Association (APHA)* e as Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cada qual indicada para o parâmetro da Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetro e Metodologia utilizada para sua quantificação (Fonte: Elaboração Própria).

| Parâmetro | Metodologia |
|----------------------------|----------------------------|
| Coliformes Termotolerantes | SM 9222 D |
| Nitrato | NBR 12.620/92 |
| Fosfato | NBR 12.772/92 e SM 4500 PC |
| DBO _{5,20} | NBR 12.614/92 e SM 2120 C |
| Sólidos Totais Dissolvidos | NBR 10.664/89 e SM 2540 C |

PRECIPITAÇÃO ACUMULADA E ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos através do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), da estação pluviométrica automática D1507, localizada sob as coordenadas de latitude -19,148 e, longitude -40,622 (CEMADEN, 2022). Esta era a estação mais próxima ao local de estudo. O índice de Qualidade da água foi calculado utilizando a mesma metodologia de cálculo adotado pela CETESB.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos dados foi realizada através do software *Statistica* versão 10. Os dados meteorológicos foram agrupados em dois períodos, pelo método *Clusters K-means*. A avaliação estatística entre os grupos foi feita pelo teste de *Mann-Whitney* com significância de 5% ($p < 0,05$). Assim sendo, o IQA foi agrupado quanto à localidade do ponto de coleta, à nascente ou à jusante e associados aos períodos Chuvoso ou Seco (Figura 1). A avaliação quanto à diferença estatística entre os grupos foi feita pelo teste de *Kruskal-Wallis* ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

O fluxograma das etapas da análise realizada no presente trabalho pode ser consultado na Figura 1.

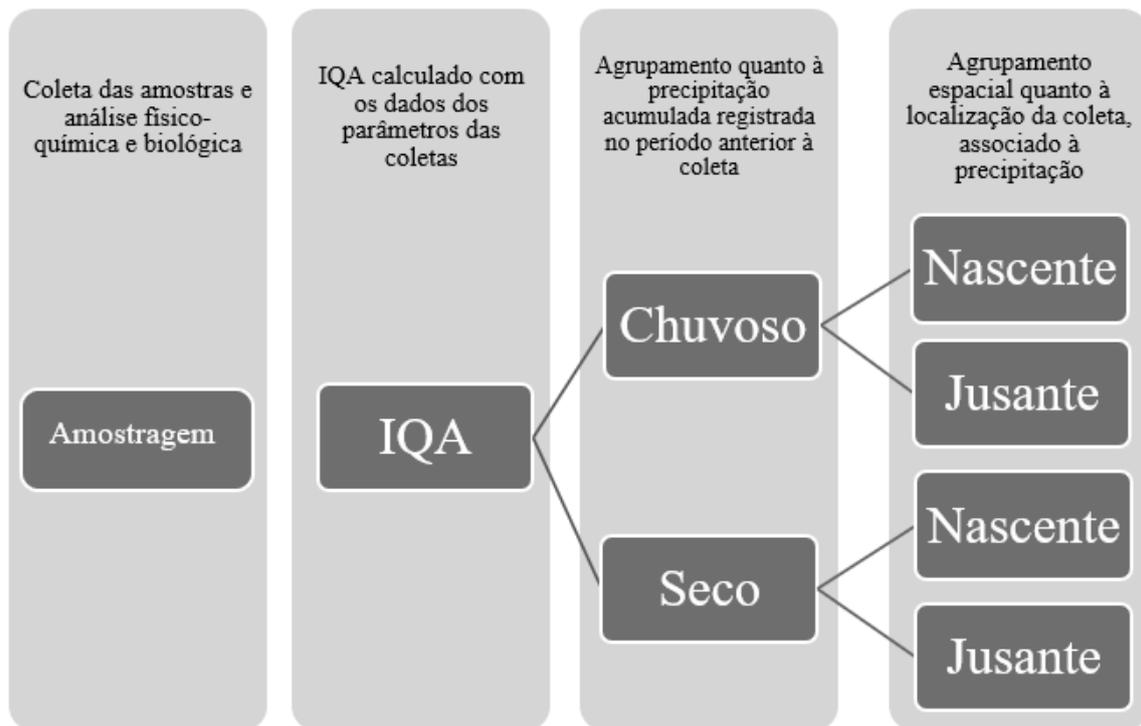


Figura 1-Fluxograma da análise adotada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das leituras realizadas de cada parâmetro foram utilizados no cálculo do IQA e organizados quanto aos pontos de amostragem e o mês de coleta (Figura 2). Em alguns casos, devido às limitações nos métodos analíticos utilizados para aferir o parâmetro, o valor medido esteve abaixo do limite de detecção da metodologia empregada para determinado parâmetro. Nesses casos, os valores do mínimo de detecção foram definidos como valor do parâmetro naquela amostra, para possibilitar o cálculo do índice de qualidade. Para a variável $DBO_{5,20}$ o limite mínimo de detecção é de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, e em algumas amostras, a concentração foi

indetectável por estar abaixo do valor citado, e para isso foi considerado o valor de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ como dado da amostra.

Os parâmetros de Fosfato e Nitrato foram convertidos em Nitrogênio Total e Fósforo Total através de um fator de conversão com valores de 0,326 e 0,226 para fósforo e nitrogênio, respectivamente, de acordo com a planilha de equações consultada em Von Sperling (2014), para que pudessem ser utilizados na metodologia de cálculo do IQA adotado pela CETESB.

A precipitação pluviométrica acumulada no mês anterior à coleta pode ser constatada, através da Figura 3.

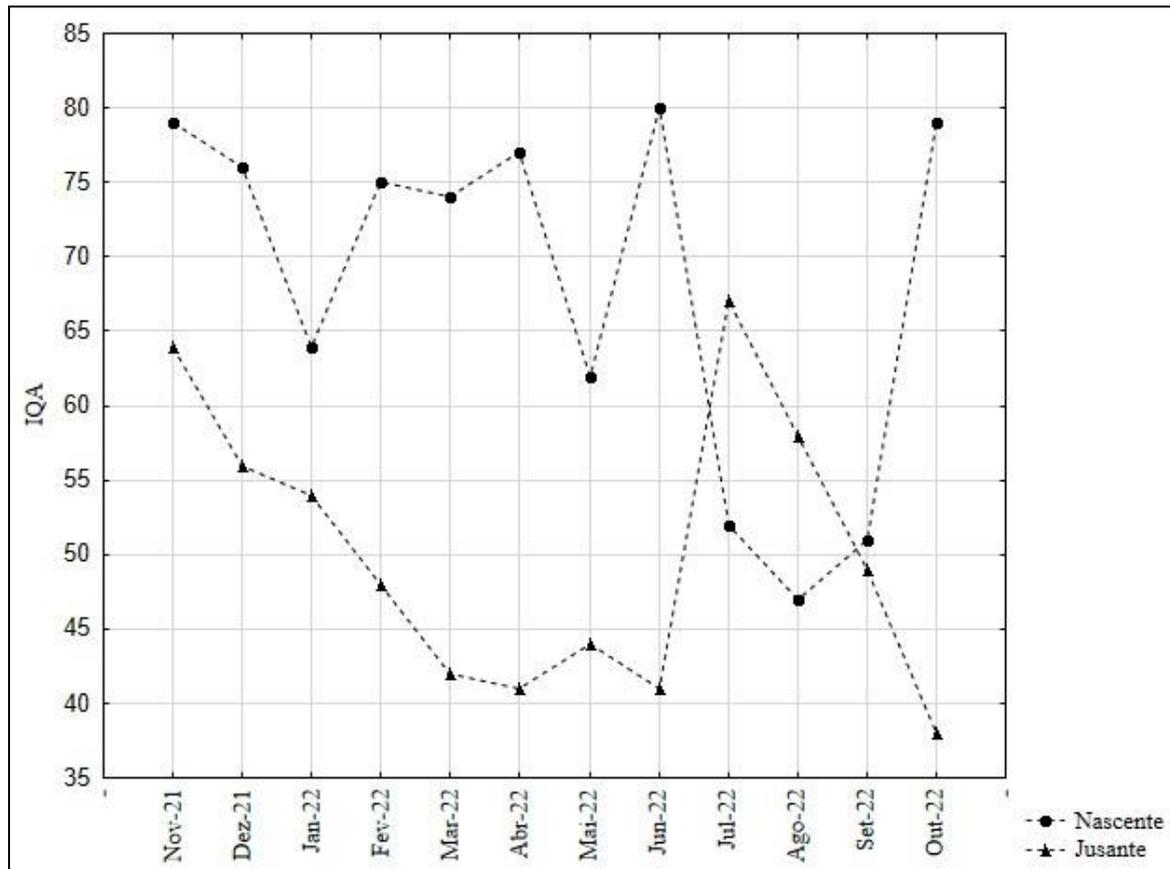


Figura 22-IQA do período e local de amostragem.

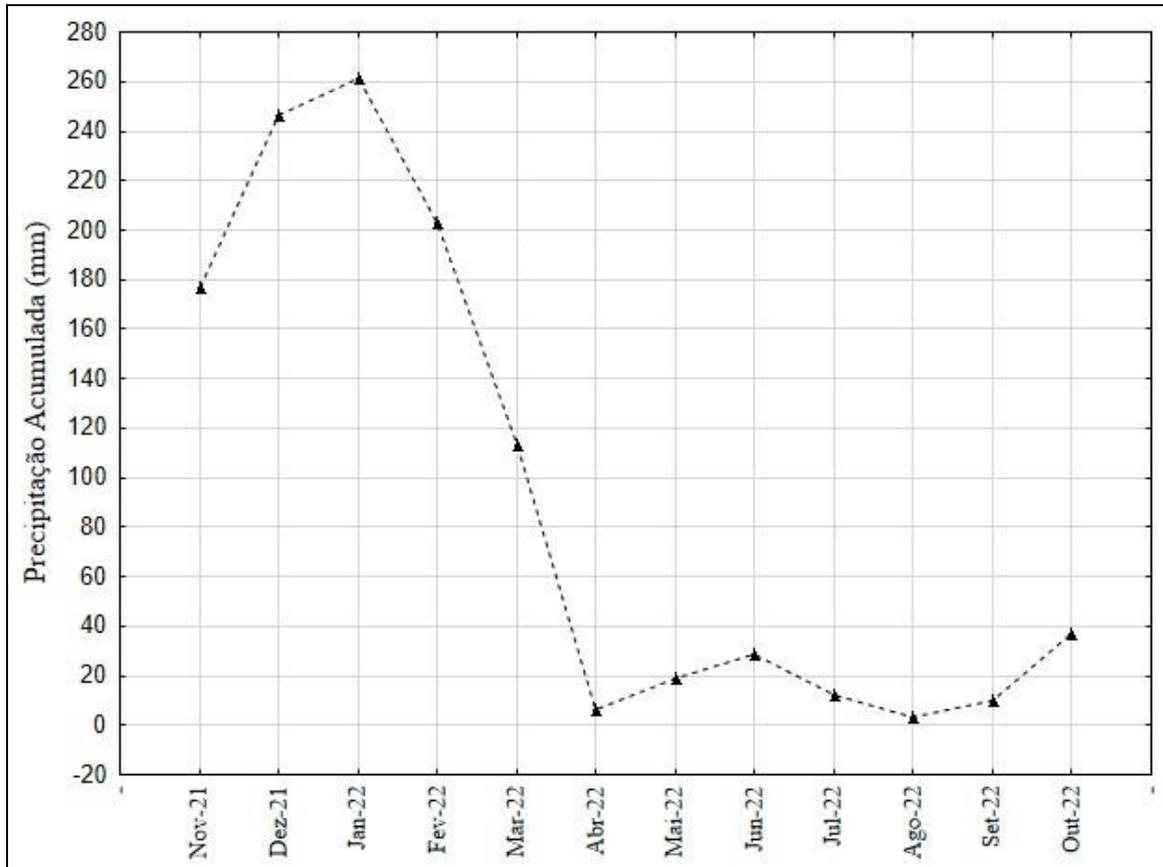


Figura 3-Precipitação Acumulada Registrada mensalmente (Fonte: CEMADEN,2022).

Estatisticamente, foi realizado um agrupamento pelo método *K-means Clustering*, com base na distância euclidiana entre os meses de precipitação pluviométrica, em períodos de seca e de chuva. Os meses agrupados no período chuvoso observados na Figura 3, foram novembro e dezembro de 2021 e, nos meses de janeiro e fevereiro de 2022. Dessa forma, foi determinado que um período de seca teria precipitação acumulada inferior a 113,39 mm, enquanto o período de chuva teria o mínimo de 176,87 mm. Os meses seguintes entre março e outubro de 2022 foram classificados como período de seca. O teste de *Mann-Whitney* registrou o p-valor entre os dois grupos igual à 0,0084.

O IQA foi dividido em grupos chuvoso e seco, nos meses agrupados anteriormente, organizados quanto aos pontos de coleta nascente e jusante. Analisando todas as variáveis associadas, em quatro grupos: seco-nascente, seco-jusante, chuva-nascente e chuva-jusante, o teste de *Kruskal-Wallis* foi registrado o p-valor entre os quatro grupos igual à 0,0130.

Os valores não apresentam distribuição Gaussiana, conforme esperado, por serem dados ambientais reais analisados em períodos e, em condições diferentes de coleta sob influência de fatores com variações irregulares, como exemplos o clima, a temperatura, o consumo e o descarte de esgoto doméstico.

O valor de IQA mais baixo registrado, foi igual ao valor de 38, associado à amostra da jusante em período de seca. O maior índice registrado foi de 80, ocorrido no mês de junho, na nascente. Já o mês de maior precipitação acumulada, ocorreu em janeiro de 2022, no qual foi registrado um valor de IQA igual a 64, na nascente do corpo hídrico, conforme detalhado na Figura 2. A grande maioria das amostras da nascente apresentou um valor de IQA superior ao da jusante, exceto pelos meses de julho e agosto de 2022. Uma justificativa para a diferença no período citado, seria o aumento da quantidade de contaminação da nascente, que pode ter ocorrido, em época de seca da mata ciliar, favorecendo a proximidade de animais ao ponto de coleta, e a taxa de evaporação do volume de água do corpo hídrico durante o período, diminuindo então o volume de água disponível do corpo e consequentemente, aumentando a concentração dos poluentes.

Os resultados foram avaliados estatisticamente e foi verificada a significância estatística entre os grupos. Dessa forma, foi constatado que o município em questão apresenta precipitação irregular, distribuída em períodos de chuva e seca. A qualidade da água na nascente se mostrou significativamente superior à jusante do rio, indicando a influência negativa do lançamento de efluentes de diferentes fontes de geração no rio São Gonçalo.

CONCLUSÕES

O estudo apresentou os resultados do Índices de Qualidade da Água do trecho urbano do Rio São Gonçalo e a Análise Estatística Multivariada (método de *Cluster*, *Mann-Whitney* e Teste *Kruskal-Wallis*). Nove Parâmetros de qualidade foram monitorados em dois pontos de monitoramento, com coletas mensais durante o período de um ano.

Pelo agrupamento de *Clusters* foi possível dividir os meses em dois períodos meteorológicos. Com o auxílio do teste de *Mann-Whitney* foi observada uma diferença significativa entre os períodos de chuva e de seca no município, justificando assim a necessidade de avaliar em dois grupos distintos. Associados à isto, a localização do ponto de coleta se mostrou de grande importância, pois ao analisar os quatro grupos organizados foi possível comprovar a significância estatística pelo teste *Kruskal-Wallis*, sendo assim, o período e o ponto de coleta são consideráveis para a qualidade da água do corpo hídrico.

O resultado sugere ainda que independente da condição meteorológica registrada, o Rio São Gonçalo é significativamente afetado pelas diferentes contribuições de fonte de poluição do centro urbano.

A análise dos dois pontos de monitoramento, nascente e jusante, do corpo hídrico permitiu identificar a ação antrópica, justificando assim a necessidade de medidas a serem adotadas pelos órgãos públicos e pela comunidade, visando o uso sustentável da água e a redução da poluição do corpo hídrico.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e à Capes pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSA-GROUZ, N.; GARNIER, J.; BILLEN, G. *Long trend reduction of phosphorus wastewater loading in the Seine: determination of phosphorus speciation and sorption for modeling algal growth. Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 24, p. 23515–23528, 2018.
2. BRANDÃO, C. J. *et al.* Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB. 2018.
3. CEMADEN. Mapa Interativo. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>>. Acesso em: 5 nov. 2022.
4. COSTA, D. *et al.* *Water quality assessment based on multivariate statistics and water quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 1–13, dez. 2020
5. IBGE. São Domingos do Norte (ES) - Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/sao-domingos-do-norte.html>>. Acesso em: 31 out. 2022.
6. NOORI, R. *et al.* *A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. Environmental Pollution*, v. 244, p. 575–587, jan. 2019.
7. OLIVEIRA, M. D. *et al.* *Evaluating the surface Water Quality Index Fuzzy and its influence on water treatment. Journal of Water Process Engineering*, v. 32, p. 100890, dez. 2019.
8. PARH SÃO JOSÉ. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Análise São José. Disponível em: <https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Sao_Jose.pdf>. Acesso em: 31 out. 2022.
9. PESSOA, M. A. R. *et al.* Índice Fuzzy de Qualidade de Água para Ambiente Lótico - IQAFAL. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 1, p. 21–30, mar. 2020.
10. PINTO, C. C.; CALAZANS, G. M.; OLIVEIRA, S. C. *Assessment of spatial variations in the surface water quality of the Velhas River Basin, Brazil, using multivariate statistical analysis and nonparametric statistics. Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 3, p. 1–13, mar. 2019.



11. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO DOMINGOS DO NORTE. Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://www.saodomingosdonorte.es.gov.br/uploads/filemanager/Plano_Municipal_de_Saneamento_Basico/Plano_Municipal_de_Saneamento_Basico_de_Sao_Domingos_do_Norte.pdf>. Acesso em: 31 out. 2022.
12. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v. 1. Exemplo 3-6.