



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Variância de parâmetros de qualidade da água e análise de agrupamentos na bacia hidrográfica do rio Goiana, Pernambuco

Jocimar Coutinho Rodrigues Junior¹, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva², Fabricio Motteran², Leidjane Maria Maciel de Oliveira², José Adalberto da Silva Filho¹, Jonas Onis Pessoa¹

¹ Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550. (81) 2126-8200. jocimar.junior@ufpe.br (autor correspondente), jose.adalberto@ufpe.br, jonas.pessoa@ufpe.br. ² Professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-550. (81) 2126-8200. anderson.paiva@ufpe.br, fabricio.motteran@ufpe.br, leidjane.oliveira@ufpe.br.

Artigo recebido em 03/10/2022 e aceito em 16/11/2022

RESUMO

A qualidade das águas superficiais consiste em um tema de interesse da comunidade científica, dos órgãos gestores e de toda sociedade civil, principalmente devido a velocidade de degradação dos corpos hídricos. Dessa forma, objetivou-se nesse estudo realizar a análise sobre alguns dos principais parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Goiana. Os parâmetros analisados (pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, amônia, fósforo total, coliformes termotolerantes e condutividade elétrica) correspondem a pontos amostrais em sete localidades inseridas dentro da bacia hidrográfica do rio Goiana, distribuídas em seis períodos distintos, considerando a estação chuvosa, e seca. Os dados foram submetidos a avaliação de variância e ao teste de Fisher, com nível de significância de $p \leq 0,05$, bem como análise de agrupamentos. Considerando os efeitos da sazonalidade, os testes estatísticos realizados permitiram concluir que na estação chuvosa, os parâmetros de pH ($p = 0,0097$) e oxigênio dissolvido ($p = 0,0352$) apresentaram médias com valores estatisticamente distintos, já no período seco, isso ocorreu com a turbidez ($p = 0,0058$). Deste modo, constata-se que pode haver diferenças na qualidade da água em determinados pontos, entre as estações do ano, em detrimento do comportamento da precipitação local. Em relação aos agrupamentos estabelecidos, houve algumas diferenças, considerando a sazonalidade, obtendo 2 ou 3 agrupamentos para os pontos em estudo, evidenciando diferentes níveis de poluição, principalmente nas proximidades de áreas urbanas. Diante disso, os resultados obtidos são essenciais para auxiliar na elaboração de políticas públicas para mitigação de impactos ambientais.

Palavras-chave: recursos hídricos, análise de água, efeitos da sazonalidade, ferramentas estatísticas.

Variance of water quality parameters and cluster analysis in Goiana river watershed, Pernambuco

ABSTRACT

The quality of surface water is a subject of interest to the scientific community, the management bodies and all civil society, mainly due to the speed of degradation of water bodies. Thus, the aim of this study was to analyze some of the main water quality parameters in the Goiana river basin. The parameters analyzed (pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, turbidity, ammonia, total phosphorus, thermotolerant coliforms and electrical conductivity) correspond to sampling points in seven locations within the Goiana river watershed, distributed over six distinct periods, considering the rainy season and the dry season. The data were submitted to variance evaluation and Fisher's test, with a significance level of $p \leq 0.05$, as well as cluster analysis. Considering the effects of seasonality, the statistical tests performed allowed us to conclude that in the rainy season, the parameters pH ($p = 0.0097$) and dissolved oxygen ($p = 0.0352$) presented means with statistically different values, whereas in the dry season, this occurred with turbidity ($p = 0.0058$). Thus, it can be seen that there may be differences in water quality at certain points, between the seasons of the year, as a result of the behavior of the local rainfall. In relation to the groupings established, there were some differences, considering the seasonality, obtaining 2 or 3 groupings for the points under study, showing different levels of pollution, especially near urban areas. Therefore, the results obtained are essential to assist in the development of public policies for the mitigation of environmental impacts.

Keywords: water resources, water analysis, seasonality effects, statistical tools.

Introdução

Dados sobre a qualidade das águas brasileiras ainda são pouco difundidos entre os múltiplos usuários de recursos hídricos. Essa qualidade, conforme mencionado por Oliveira e Silva (2014) e Piratoba et al. (2017), depende de fatores naturais e, sobretudo, da interferência antrópica no corpo hídrico e em seu entorno, envolvendo as questões de saneamento, gestão urbana e atividades socioeconômicas potencialmente poluidoras.

Algumas pesquisas como as abordadas por Von Sperling (2007) e Santos et al. (2020) destacam a importância do estudo da qualidade da água em bacias hidrográficas, visando os mais variados usos da água. Conforme é estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997), deve ser assegurado à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade apropriados aos seus respectivos usos. Em consonância a isso, deve-se aplicar medidas de conservação da água e mediação de conflitos entre os mais variados usuários de recursos hídricos.

A degradação ambiental que ocorre em rios, lagos e lençóis freáticos consiste em uma problemática de patamar mundial, afetando diversas comunidades. Nos últimos anos, com o avanço industrial, urbano e agropecuário, os ecossistemas aquáticos vêm sendo atingidos por grande carga de poluentes, em decorrência de atividades antrópicas, envolvendo o despejo de efluentes sanitários domésticos, descarte irregular de resíduos sólidos, esgotamento industrial, lançamento de produtos agrícolas, alterando as propriedades naturais dos corpos hídricos (Tian et al., 2019; Santos et al., 2021).

Nesse sentido, é pertinente analisar a qualidade da água a partir de parâmetros específicos, em bacias hidrográficas ou em corpos hídricos em geral. Com isso, os resultados obtidos a partir de amostras de água, podem ser averiguados conforme a legislação ambiental. No território brasileiro, a classificação dos corpos hídricos no que tange a qualidade de água para os seus diversos usos, é estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente por meio da Resolução 357/2005 (Brasil, 2005). Este instrumento legislativo é bastante utilizado para comparar e averiguar os níveis de qualidade das águas inseridos no domínio brasileiro para as variadas classes de usos.

Como as condições ambientais estão intrinsecamente relacionadas com as atividades de origem antrópica, a qualidade da água reflete o grau

que essas atividades impactam o ambiente. Assim, a realização periódica de campanhas de monitoramento consiste no primeiro trabalho destinado ao planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. A partir de estudos que possuem essa finalidade, torna-se possível analisar o comportamento espacial e temporal de rios, lagos e córregos, de modo que se obtenha um banco de dados confiável para auxiliar na gestão das águas (Strobl e Robillard, 2008; Voza e Vuković, 2018).

Sob esse contexto, o monitoramento ambiental parte do pressuposto de identificar os níveis de qualidade de água e, ao mesmo tempo realizar comparações com os valores de referência, em períodos de tempos de curto, médio e longo prazo, possibilitando utilizar outras ferramentas que contribuem na interpretação dos dados (Pinto et al., 2021). Deste modo, para diversos autores (Nonato et al., 2007; Trindade et al., 2017; Valentini et al., 2020), as ferramentas de estatística podem auxiliar na análise de parâmetros hídricos, de forma a compreendê-los para extrair informações significativas. Alguns métodos que podem ser aplicados em qualidade da água são a matriz de correlação, a análise de variância, os testes de comparação de médias, a análise de agrupamentos, dentre outros.

Esses processos estatísticos visam, além de revelar a inter-relação de parâmetros (a exemplo: oxigênio dissolvido, pH, DBO, condutividade elétrica, coliformes, fósforo, amônia), mostrar a variação dos dados e, em uma análise mais detalhada, indicar o comportamento de corpos hídricos e reservatórios. Essa análise pode facilitar a reunião de informações e auxiliar no planejamento ambiental de recursos hídricos (Bilgin, 2015; Borges et al., 2018).

Sendo assim, a qualidade da água de uma localidade é estabelecida por processos naturais e antrópicos, que podem alterar as características do corpo d'água. Acerca das variáveis naturais, pode-se citar a intensidade das precipitações, intemperismo, cobertura vegetal e, diante da influência antrópica, se tem a agricultura, concentração urbana, atividade industrial, uso doméstico, matriz energética, entre outros.

Em razão de atenuantes que impactam nos recursos hídricos de forma não regular, como a exploração incorreta e desordenada dos solos pela agropecuária, ocorre eventos de poluição difusa e que são constantes ao longo do tempo em todo o ano (Mello et al., 2020). Ademais, o escoamento superficial da água, que é um fenômeno sazonal, influenciado pelas condições climáticas da bacia

hidrográfica, também é responsável por ocasionar poluição difusa (Vega et al., 1998; Silva e Machado, 2018).

Perante os impactos ambientais que ocorrem em bacias hidrográficas, é imprescindível esse conhecimento acerca dos níveis de poluição. Com estes estudos torna-se possível compreender o comportamento sazonal da qualidade de água, e suas relações com as fontes poluidoras (Carvalho et al., 2020). No território brasileiro, há diversas bacias hidrográficas que enfrentam problemáticas de poluição, em razão da ausência de tratamento de esgotamento sanitário proveniente das atividades domésticas, industriais e agropecuárias.

Com o conhecimento dos parâmetros de qualidade de água e, a relação destes com as estações do ano e o regime pluviométrico, se permite identificar os níveis de poluição ao longo dos cursos hídricos (Maia et al., 2019). Diante disso, averigua-se a variância da qualidade de água e o comportamento da poluição, considerando fatores de tempo e espaço, como a variação climática e características de localização.

Neste contexto, no estado de Pernambuco e em todo o litoral do Brasil, há problemáticas similares às ocorrentes em todo o território nacional, em detrimento da forte pressão de utilização para abastecimento das populações e suprimimento de demandas de setores como agricultura, pecuária e indústria. Essas atividades ocasionam um pertinente lançamento de cargas poluidoras, que em longo prazo degradam os recursos hídricos e os serviços ecossistêmicos (Souza et al., 2019).

A referida poluição que atinge as bacias hidrográficas, influenciando na qualidade de água, pode ter relação com as atividades econômicas presentes e com os fatores naturais hidrológicos (Silva e Silva, 2020). Em regiões com grandes déficits de saneamento, a poluição proveniente de zonas urbanas é maior, ou em regiões com intensa atividade industrial ou agrícola, a poluição de nutrientes também pode atingir níveis altos.

Nesse sentido, é necessária a verificação da qualidade de água, considerando os referidos fatores espaciais, antrópicos e temporais em bacias hidrográficas, de modo que seja possível apontar se há relação destas variáveis com os níveis de poluição encontrados. Com isso, pode-se confirmar ou não, as hipóteses de influência sobre a qualidade hídrica dos corpos d'água, possibilitando a elaboração de medidas de mitigação da poluição ambiental ocorrente.

Assim, além da localização das atividades econômicas, o comportamento hidrológico da

precipitação, que influencia a vazão da água dos cursos hídricos, pode resultar em níveis de poluição diferentes, em razão da diluição e carreamento de cargas poluidoras. Portanto, é bastante útil constatar essa variação da qualidade de água a partir de ferramentas estatísticas, para o adequado gerenciamento de recursos hídricos (Sousa et al., 2022). Neste contexto, há a possibilidade de traçar estratégias com a finalidade de controlar a poluição ambiental, que pode atingir os setores econômicos e a população em geral, auxiliando na redução de prejuízos pertinentes.

Diante do exposto, o objetivo do presente artigo consistiu em realizar a análise estatística para verificar a variância de dados sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Goiana, bem como aplicar a análise de agrupamentos. Dessa forma, é possível averiguar o comportamento estatístico entre os pontos de monitoramento e as variáveis sazonais envolvidas.

Material e métodos

Descrição da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Goiana está localizada na mesorregião da Zona da Mata Norte, em Pernambuco, sendo constituída principalmente pelos rios Capibaribe-Mirim e Tracunhaém. Possui área de aproximadamente 2.829 km², que engloba 26 municípios do Estado, como Goiana, Timbaúba, Vicência, entre outros, além de estar localizado nos limites com o estado da Paraíba (CPRH, 2020).

A localização da bacia hidrográfica, bem como os pontos de coleta de qualidade de água, está ilustrada na Figura 1. No que se refere aos pontos de monitoramento, na Figura 2 é possível observar o diagrama unifilar da referida bacia, evidenciando os sete pontos de monitoramento da qualidade de água realizado pela Agência Estadual de Meio Ambiente - CPRH (2020), do Estado de Pernambuco, na bacia hidrográfica em estudo.

A partir destes pontos de monitoramento, a CPRH dispõe um banco de dados com as informações de qualidade de água, servindo como base para averiguar a evolução temporal e espacial dos valores dos parâmetros. Sendo assim, todo o planejamento das atividades relacionadas com o gerenciamento da bacia hidrográfica, deve considerar estes dados de qualidade.

Os parâmetros analisados nesse estudo foram: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, amônia, fósforo total, coliformes termotolerantes e condutividade elétrica (CE). Totalizando assim, oito parâmetros para os pontos

de coleta. Os dados foram obtidos por meio da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH, 2020) e corresponderam aos sete pontos de monitoramento ambiental, mostrados na Figura 2.

Os referidos dados de qualidade da água são dos seis últimos períodos de análise dos parâmetros supracitados, sendo eles: junho de 2018 (estação chuvosa), setembro de 2018 (estação seca), dezembro de 2018 (estação seca), março de

2019 (estação chuvosa), junho de 2019 (estação chuvosa), setembro de 2019 (estação seca). Deste modo, pode-se realizar a análise considerando a sazonalidade da região, além de averiguar a conformidade dos valores dos parâmetros de qualidade em relação a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), que atesta os limites de valores para os referidos parâmetros, visando assegurar a qualidade de água dos recursos hídricos.

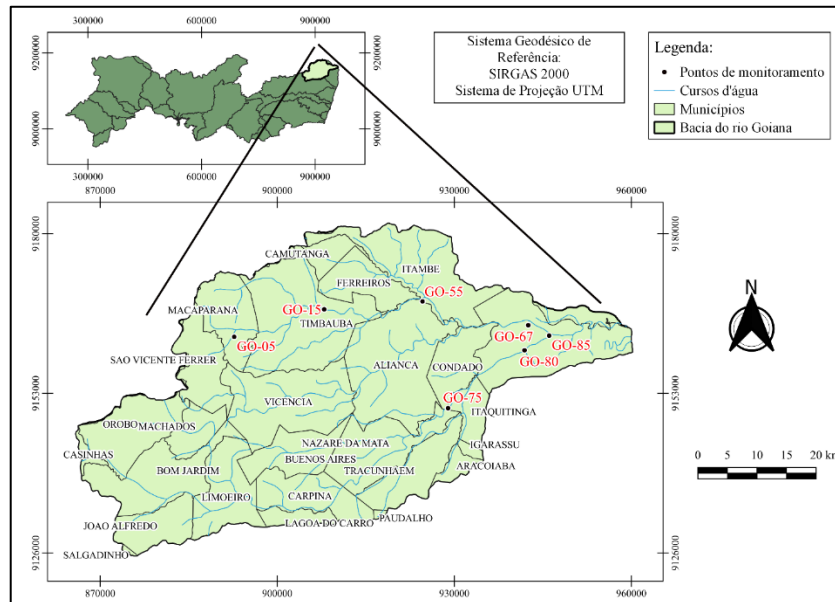


Figura 1. Bacia do rio Goiana, municípios e hidrografia, com os pontos de monitoramento de qualidade de água da CPRH. *GO-05, GO-15, GO-55, GO-67, GO-75, GO-80, GO-85: indicam os pontos de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Goiana.

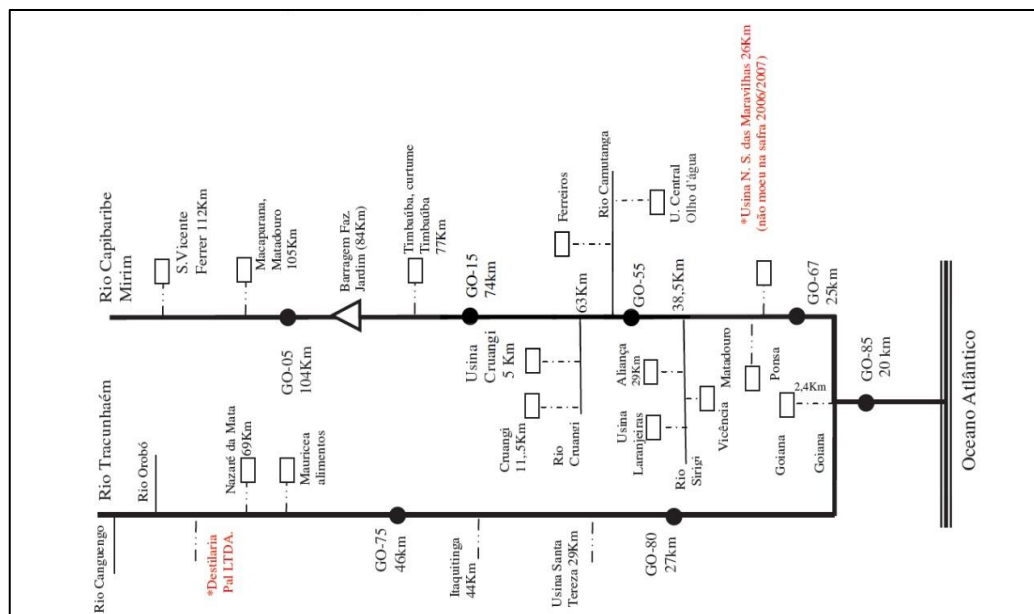


Figura 2. Diagrama unifilar da bacia do rio Goiana, com os pontos de monitoramento de qualidade de água da CPRH. *GO-05, GO-15, GO-55, GO-67, GO-75, GO-80, GO-85: indicam os pontos de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Goiana. Fonte: CPRH (2020).

Parâmetros analisados e períodos considerados

Para efetuar as análises estatísticas, foram consideradas seis tomadas de análises para os pontos de monitoramento em estudo que ocorreram coletas e análises, sendo três tomadas na estação seca e três na estação chuvosa, conforme foi descrito no relatório da CPRH (2020). Para os referidos sete pontos de monitoramento, visualiza-se na Tabela 1 as campanhas de coleta e análise de água para o período considerado.

Com isso, em cada ponto, realizou-se as coletas de amostras de água para todos os oito parâmetros de qualidade em estudo e, considerando as seis campanhas realizadas, bem como as que não foram realizadas em determinados pontos, foram obtidos cerca de 252 (duzentos e cinquenta e dois)

dados de qualidade de água para a bacia do rio Goiana.

Em relação a precipitação, na Figura 3, observa-se a média mensal da precipitação na bacia do rio Goiana, no período em estudo, de 2018 a 2019. O ano de 2019, durante a maior parte do período chuvoso (junho, julho, agosto), recebeu maiores índices pluviométricos, em comparação ao ano de 2018. Em 2019, o mês de maior chuva consistiu em julho e, em 2018, o mês de maior índice, foi abril. Para o período de estiagem, novembro e dezembro, representam os meses de menores índices de precipitação em 2018 e, setembro e outubro, representam os meses de menor precipitação em 2019.

Tabela 1. Campanha de coleta e análise de água para a bacia do rio Goiana, 2018 e 2019.

Ponto	Jun/2018	Set/2018	Dez/2018	Mar/2019	Jun/2019	Set/2019
GO-05	X	X	X	X	X	X
GO-15	X	X	X	X	X	X
GO-55	X	X	X	X	X	X
GO-67	X	X	X	X	X	X
GO-75	X	X	Não houve coleta	Não houve coleta	X	X
GO-80	X	X	Não houve coleta	Não houve coleta	X	X
GO-85	X	X	Não houve coleta	Não houve coleta	X	X

Fonte dos dados: CPRH (2020).

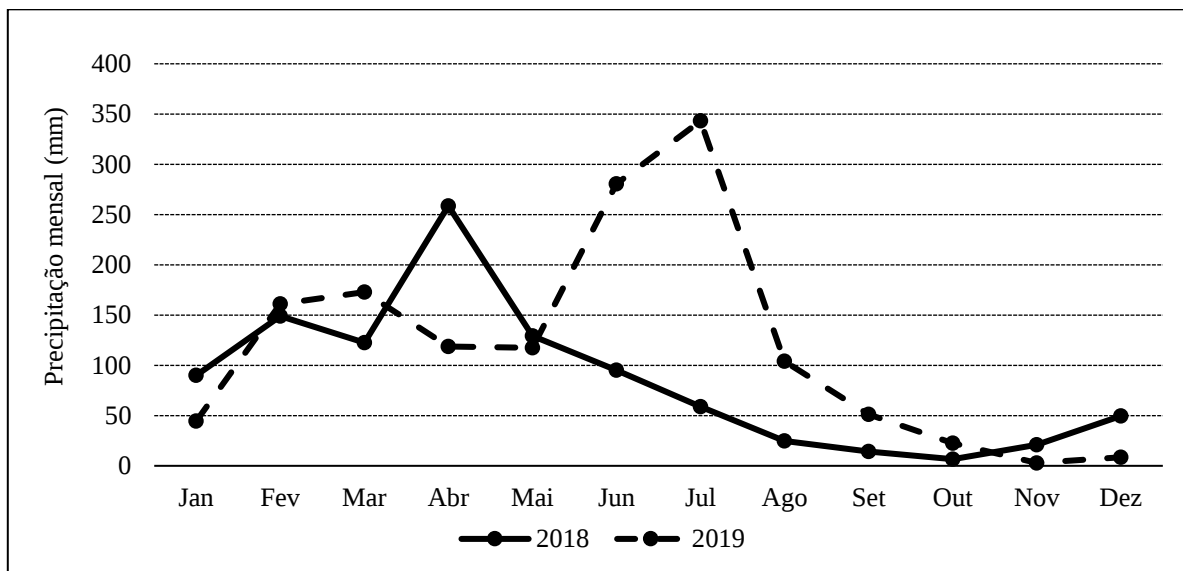


Figura 3. Precipitação média mensal de 2018 e 2019 na Bacia do rio Goiana. Fonte dos dados: APAC (2022).

Análise estatística

Os dados foram tabulados e processados utilizando o *Microsoft Excel 2019* (Albuquerque, Novo México, EUA), com o auxílio do suplemento *Action Stat*, considerando os parâmetros

isoladamente e os efeitos da sazonalidade. Realizou-se a análise de variância (ANOVA) para testar as duas hipóteses possíveis: a H_0 (hipótese nula), que indica que todas as médias analisadas do conjunto de dados são estatisticamente iguais; e a

H_1 (hipótese alternativa), que indica que pelo menos uma dessas médias é diferente estatisticamente das demais. Estas hipóteses são verificadas com base em um nível de significância de 0,05, sendo que os parâmetros que geram um p -valor inferior a essa significância de 0,05, são rejeitadas as hipóteses nulas.

Concomitantemente a ANOVA, realizou-se o teste de Fisher (*least significant difference test*), que é um procedimento utilizado para comparar todos os pares de médias do estudo e controlar a taxa de erro em um nível de significância α pré-determinado para cada comparação. Para α entre as médias inferior a 5%, rejeita-se a hipótese de igualdade; com valores superiores de α entre as médias, aceita-se a hipótese de médias iguais, ou seja, estatisticamente os valores das médias obtidos não são discrepantes (Devore, 2006; Wang et al., 2021).

Ressalta-se que na interpretação, a hipótese nula é rejeitada quando o valor- p é menor que a probabilidade, que nesse estudo é de 0,05 (5%). Portanto, nos casos em que essa hipótese é rejeitada, ou seja, casos em que os pontos variam significativamente entre si para os seus respectivos parâmetros, obtiveram-se valores de f altos.

Nesse sentido, com a aplicação da ANOVA e do Teste de Fischer, foram apontados os pontos de monitoramento que possuem maior discrepância estatística, evidenciando diferentes possíveis níveis de poluição, considerando a sazonalidade e a localização dos referidos pontos. Assim, pode-se verificar a influência do tempo e do espaço na variação da qualidade de água, de modo que seja possível apontar possíveis causas desta variação.

Para verificar também a relação entre os pontos, foi utilizada a técnica de análise de agrupamento, que consiste em um método que

objetiva separar os objetos analisados em grupos, com base nas características (variáveis) que os mesmos possuem. Neste caso, se buscou estudar os agrupamentos gerados pelas médias dos parâmetros de qualidade de água dos sete pontos de monitoramento, para as estações chuvosas e secas e, para todas as campanhas de monitoramento em conjunto.

Segundo Silveira et al. (2012) e Yuan e Yang (2019), a análise de agrupamento tem como premissa básica, uma matriz contendo m amostras, denominadas objetos. Deste modo, se tem a finalidade de agrupar de forma automática os n objetos da base de dados em k clusters (grupos), fazendo uso apenas dos dados das variáveis das referidas amostras.

No estudo de um conjunto que possui relações interdependentes entre si, esta técnica de estatística multivariada promove uma classificação desses grupos, considerando os atributos e características homogêneas internas que se manifestam de forma discrepante entre cada objeto. Com isso, são formados grupos que são definidos como heterogêneos com comportamentos distintos entre si (Reis, 2001; Santos e Sousa, 2018; Braz et al., 2020; Ventura e Cavalieri, 2021).

Para estabelecer as semelhanças ou as diferenças que existem entre os elementos característicos, deve ser utilizada uma função de distância. Neste estudo, foi adotada a distância euclidiana, que está descrita na Equação 1 e expõe à similaridade entre os dados. Destarte, foi aplicado o método hierárquico da análise de agrupamento, em que se tem como finalidade principal, averiguar mais de um tipo de partição e aproximação dos dados entre os objetos em estudo, produzindo os variados agrupamentos (Cormack, 1971; Mcroberts, 2007; Saxena et al., 2017).

$$d(X_i, X_k) = [(X_i - X_k)'(X_i - X_k)]^{1/2} = [\sum (X_{il} - X_{kl})^2]^{1/2} \quad (\text{Equação 1})$$

No que se refere aos métodos hierárquicos, que possuem como objetivo ordenar hierarquicamente os grupos obtidos, podem ser aplicadas técnicas estatísticas para elaboração do desenho dos agrupamentos formados. Para tal fim, se tem o método de Ward, que foi utilizado neste estudo. Este método, que também é denominado de método da mínima variância, consiste em agrupar os dados com base na medida de distância entre dois clusters, considerando a soma das distâncias ao quadrado entre os dois referidos clusters.

De acordo com Reis (2001) e Kassambara (2017), o método de Ward consiste em

uma metodologia de agrupamento hierárquico, no qual o procedimento utilizado para formar agrupamentos é calculado a partir da soma de quadrados entre os dois agrupamentos. Essa técnica é realizada a partir da variância contida sobre todas as variáveis, conforme mostra as equações 2 a 5. Para isso, foi utilizado o software *Past3* (PAleontological STatistics, Version 3.20, Oslo, Noruega), que consiste em um programa computacional utilizado em trabalhos estatísticos desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Oslo, Noruega (Hammer et al., 2001).

$$SSl = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^p (Xl,k,j - \bar{X}l,j)^2, \quad \bar{X}l,j = \frac{1}{nl} \sum_{k=1}^{nl} (Xl,k,j) \quad (\text{Equação 2})$$

$$SSl,i = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^p (Xl,k,j - \bar{X}j)^2 + \sum_{k=1}^{ni} \sum_{j=1}^p (Xi,k,j - \bar{X}j)^2, \quad \bar{X} = \frac{1}{nl+ni} \left(\sum_{k=1}^{nl} Xl,k,j + \sum_{k=1}^{ni} Xi,k,j \right) \quad (\text{Equação 3})$$

$$(Cl, Ci) = SSl,i - (SSl + SSi) \quad (\text{Equação 4})$$

$$(Cl, Ci) = \frac{nl*ni}{nl+ni} \sum_{j=1}^p (\bar{X}l,j - \bar{X}i,j)^2 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: Xl,k,j = valor para a variável p na observação j pertencente ao cluster l ; SSl = soma dos erros quadrados dentro do cluster l ; $SSTl,i$ = soma total dos erros quadrados (agrupando os clusters l e i).

Para melhor visualização dos agrupamentos, utilizou-se o dendrograma, por meio dos níveis das distâncias dos referidos grupos desenvolvidos. Assim, pode-se analisar os grupos dos sete pontos de monitoramento formados e como são as suas relações, envolvendo os parâmetros de qualidade de água, de acordo com o período de estação chuvosa e seca e, considerando todo o período de monitoramento em estudo.

O número de grupos e a quantidade de pontos de monitoramento expressos em cada um destes grupos, foram determinados de maneira subjetiva, por intermédio de corte transversal no dendrograma, considerando as características e o desenho formado. Com isso, este corte foi realizado de forma que se obtenha a quantidade de grupos factível e coerente entre as distâncias do dendrograma, sendo possível posteriormente traçar medidas de gestão executáveis e viáveis para os enquadramentos gerados.

Com a aplicação da referida análise de agrupamentos, que fornece os referidos agrupamentos com base nos parâmetros de qualidade de água de cada ponto, foi possível verificar as relações entre estas. Portanto, foi permitido apontar quais as regiões ($R1, R2, R3, \dots$) que possuem dados de qualidade de água com menor variância entre si.

Deste modo, a partir dessa análise de agrupamentos pode-se determinar quais pontos de monitoramento, quanto aos níveis de poluição, possuem características mais similares ou discrepantes entre si, considerando também a sazonalidade. Portanto, com este conhecimento

aprofundado do comportamento da bacia hidrográfica em relação a qualidade de água e sua variação, torna-se possível indicar medidas de gestão para atenuação dos impactos ambientais.

Resultados e discussão

Com a obtenção dos dados de parâmetros de qualidade de água disponibilizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), inicialmente calculou-se as médias dos sete pontos de monitoramento para as seis campanhas de análise em conjunto, conforme mostrado na Tabela 2, dos oito parâmetros com análises.

Como pode ser notado, os valores de pH estão bastante próximos entre si, não havendo discrepância ao longo da bacia hidrográfica. Em relação ao OD, o ponto GO-15, apresenta valor bastante baixo de média, estando inferior a 5 mg/L, assim como o ponto GO-67, sendo este valor, o mínimo exigido pela legislação. Diversos autores (Von Sperling, 2005; Azaiez, 2014; Zounemat-Kermani e Scholz, 2014; Garcia et al., 2018) apontam que a o OD é vital para a sobrevivência da vida aeróbia nos sistemas aquáticos, garantindo o oxigênio para realização das funções ecossistêmicas, sendo um dos principais indicadores de qualidade. Valores abaixo do mínimo permitido pela legislação indicam ambientes com lançamento de cargas poluidoras, que ocasionam a redução de oxigênio na massa de água (Siqueira et al., 2012; Cunha e Ferreira, 2019).

Tabela 2. Médias dos parâmetros de qualidade de água para os pontos de monitoramento, na bacia hidrográfica do rio Goiana*.

Parâmetros	Unidade	GO-05	GO-15	GO-55	GO-67	GO-75	GO-80	GO-85
pH	-	7,37	7,32	7,67	7,30	7,70	7,48	7,35
OD	mg/L	5,50	2,88	6,42	4,43	6,75	4,90	5,00
DBO	mg/L	4,63	6,08	3,07	3,22	2,23	4,30	2,15
Turbidez	UNT	13,67	16,92	28,50	38,33	26,50	27,50	80,00
Amônia	mg/L	2,27	4,47	0,87	0,46	0,39	0,11	0,35
Fósforo total	mg/L	0,44	0,86	0,44	0,28	0,30	0,22	0,23
Coliformes Termot.	NMP/100mL	29558,33	58263,33	19600,00	890,00	3545,00	1120,00	1305,00
Condutividade Elétrica	µS/cm	352,18	609,67	532,00	1691,00	636,50	616,25	736,00

* - Foram consideradas todas as 6 campanhas, sendo: junho de 2018 (estação chuvosa), setembro de 2018 (estação seca), dezembro de 2018 (estação seca), março de 2019 (estação chuvosa), junho de 2019 (estação chuvosa), setembro de 2019 (estação seca).

No que tange os valores de fósforo total, em todos os pontos, os valores obtidos foram maiores do que 1 mg/L, mostrando valores acima do permitido pela Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), que podem revelar ambientes contaminados por esgotos domésticos, em razão da presença dos detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal (Lucio et al., 2012; Morais et al., 2020). Em relação a condutividade elétrica, amônia, coliformes termotolerantes e turbidez houveram valores discrepantes entre os pontos de monitoramento, ou seja, nos pontos que possuem maiores valores, nessas localidades podem ocorrer

ações impactantes mais intensas, como possíveis lançamentos como esgoto doméstico, industrial ou agropecuário, para explicar essa diferença de valores obtidos.

Em relação aos valores obtidos apenas nas campanhas da estação chuvosa e seca, as médias individuais sazonais estão dispostas na Tabela 3. Em geral, nota-se que não houveram grandes mudanças na maior parte dos pontos, na comparação das médias gerais. Porém, ressalta-se que ocorreram mudanças de valores relevantes para turbidez e amônia em alguns pontos, entre os períodos sazonais.

Tabela 3. Médias dos parâmetros de qualidade de água para os pontos de monitoramento, considerando as campanhas da estação chuvosa e seca separadamente.

Parâmetro	Unid.	Estação	GO-05	GO-15	GO-55	GO-67	GO-75	GO-80	GO-85
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
pH	-	Chuvosa	7,43	7,43	7,77	7,37	7,90	7,45	7,45
		Seca	7,30	7,20	7,57	7,23	7,50	7,50	7,25
OD	mg/L	Chuvosa	5,57	2,73	6,20	3,93	6,90	4,45	5,10
		Seca	5,43	3,03	6,63	4,93	6,60	5,35	4,90
DBO	mg/L	Chuvosa	5,60	6,83	2,23	4,57	2,55	6,20	2,20
		Seca	3,67	5,33	3,90	1,87	1,90	2,40	2,10
Turbidez	UNT	Chuvosa	14,00	21,17	46,67	58,33	45,00	40,00	55,00
		Seca	13,33	12,67	10,33	18,33	8,00	15,00	105,00
Amônia	mg/L	Chuvosa	2,87	2,02	0,14	0,69	0,04	0,13	0,23
		Seca	1,67	6,91	1,60	0,23	0,75	0,09	0,47
Fósforo Total	mg/L	Chuvosa	0,59	0,80	0,50	0,41	0,36	0,28	0,21
		Seca	0,28	0,92	0,37	0,16	0,25	0,15	0,25
Coliformes Termo.	NMP/100mL	Chuvosa	4300	84467	32233	1160	6650	1490	1300
		Seca	54817	32060	6967	620	440	750	1310
Cond. Elétrica	µS/cm	Chuvosa	274	599	590	447	578	618	498
		Seca	430	620	474	2935	695	615	974

A turbidez consiste no grau de atenuação da incidência da luz no corpo hídrico, medindo a residência da água quanto a passagem de luz (Santos e Mohr, 2013; ANA, 2018). As partículas sólidas presentes na superfície da água, o assoreamento e ocupação antrópica, influenciam nesse processo (Teixeira et al., 2004; Geminiano et al., 2021). Consequentemente, a variância de turbidez entre os pontos de monitoramento, podem indicar as localidades com mais presença de sólidos em suspensão, que acarretam maiores valores, evidenciando um ambiente turvo.

Este mesmo fato possivelmente ocorre para a amônia, que consiste em um composto proveniente do metabolismo de proteínas, tendo a sua origem na decomposição de matéria orgânica, ração, excrementos, entre outros (Pereira e Mercante, 2005; Silva e Araújo, 2017). Assim, em

locais com grande influência de atividades de agropecuária ou de demais produtos agropecuários, aplicações de fertilizantes nitrogenados, bem como atividades de piscicultura, podem ser a fonte poluidora que revelam os índices relevantes de amônia em determinados pontos (Boyd, 1992; Baldisseroto, 2002; Hurtado et al., 2022).

Com a finalidade de analisar a variância dos valores dos parâmetros, entre as campanhas de monitoramento, a partir da aplicação da ANOVA, foram obtidos os valores de f e os valores de p (significância), considerando todas as seis tomadas de análises efetuadas na bacia do rio Goiana e, considerando apenas as tomadas das estações de chuva e seca, de forma isolada. Esses resultados estão contidos na Tabela 4, em que se revela quais parâmetros demonstraram maior variabilidade, dentre as considerações de sazonalidade.

Tabela 4. Resultados da comparação dos testes ANOVA dos parâmetros monitorados.

Parâmetros	Todas as estações		Estação chuvosa		Estação seca	
	f	valor- p	f	valor- p	f	valor- p
pH	1,6607	0,1665	5,1051	<u>0,0097</u>	0,3573	0,8911
OD	6,1752	<u>0,0003</u>	3,4831	<u>0,0352</u>	1,9680	0,1565
DBO	1,6895	0,1592	0,9336	0,5084	2,1907	0,1231
Turbidez	3,7896	<u>0,0066</u>	2,9066	0,0597	5,8746	<u>0,0058</u>
Amônia	2,5346	<u>0,0427</u>	2,2829	0,1117	1,7931	0,1899
Fósforo total	2,9069	<u>0,0241</u>	2,8953	0,0604	1,0988	0,4210
Coliformes termotolerantes	1,5113	0,2096	1,6668	0,2189	0,6315	0,7034
Condutividade elétrica	0,6787	0,6679	1,4090	0,2940	0,6655	0,6797

Nesse caso, os valores de p comprovaram se houve variância das médias entre os pontos, se pelo menos uma das médias foi significativamente diferente entre os demais pontos. Na Tabela 5, os valores de p em negrito e sublinhado corresponderam aos parâmetros que resultaram em significância menor do que 5% ($p \leq 0,05$), indicando rejeitar a hipótese nula, sendo possível averiguar que houve mudanças nessas variações entre as estações do ano. Dessa forma, evidenciase as mudanças de alguns parâmetros, em detrimento da sazonalidade, indicando variância significativa ($p \leq 0,05$).

Na estação chuvosa, os parâmetros pH ($p = 0,0097$) e OD ($p = 0,0352$) resultaram em valores de p abaixo de 5%, já na estação seca, apenas a turbidez ($p = 0,0058$), indicou um valor de p abaixo desta faixa. Parâmetros como a OD possivelmente variam conforme ocorre o lançamento de carga poluidora no corpo d'água, em determinadas épocas esse lançamento pode ser mais intenso,

como em períodos chuvosos (Nagalli e Nemes, 2009), o que também pode influenciar o pH e a turbidez da água. Este último parâmetro, também sofre influência das características física dos cursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Goiana, que são influenciadas pela sazonalidade, como a precipitação, crescimento da vegetação no entorno, que podem limitar a capacidade de incidência de luz na massa de água.

Para averiguar a variância da qualidade de água, a ANOVA consiste em uma ferramenta estatística de ampla aplicabilidade (Silva e Oliveira, 2014; Piratoba et al., 2017; Santos et al., 2020). A análise de variância realizada por Piratoba et al. (2017), em relação ao parâmetro pH, indicou que a localização dos pontos de coleta não influenciou estatisticamente os valores das médias (aceitou-se a hipótese nula). Silva e Oliveira (2014), em estudo conduzido no Rio Agrari (no Estado do Amapá), verificaram diferenças significativas entre as médias do oxigênio

dissolvido no período chuvoso, para a maioria dos pontos.

Tabela 5. Resumo do Teste de Fisher, aplicado sobre os parâmetros monitorados.

Parâmetros	Menores valores de p		Níveis abaixo da significância	Quant.
	Dif. entre níveis	Val.		
pH	GO67-GO75	0,025	GO15-GO55; GO15-GO75; GO55-GO67; GO67-GO75; GO75-GO85	5
OD	GO15-GO55 e GO15-GO75	0	GO05-GO15; GO15-GO55; GO15-GO75; GO15-GO80; GO15-GO85; GO55-GO67; GO55-GO80; GO67-GO75; GO75-GO80; GO75-GO85	10
DBO	GO15-GO85	0,0103	GO15-GO55; GO15-GO75; GO15-GO85	3
Turbidez	GO05-GO85	0	GO05-GO85; GO15-GO85; GO55-GO85; GO67-GO85; GO75-GO85; GO80-GO85	6
Amônia	GO15-GO80	0,0031	GO15-GO55; GO15-GO67; GO15-GO75; GO15-GO80; GO15-GO85	5
Fósforo total	GO15-GO67	0,003	GO05-GO15; GO15-GO55; GO15-GO67; GO15-GO75; GO15-GO80; GO15-GO85	6
Col. term.	GO15-GO67	0,0223	GO15-GO67; GO15-GO75; GO15-GO80; GO15-GO85	4
Cond. elétrica	Nenhum	-	-	-

No que diz respeito ao Teste de Fisher, a Tabela 5 revela os menores valores de p obtidos entre as diferenças de níveis, para todos os parâmetros. As diferenças de níveis consistem nas relações entre os 7 pontos de monitoramento e, como ocorre a variação das médias entre os mesmos, considerando os períodos de análise de água.

Diante disso, levando em conta todos os parâmetros, os menores valores de p , que indicam as maiores diferenças significativas entre as médias, ocorreram entre as relações com o ponto GO-15. Para todos os parâmetros, exceto a condutividade elétrica, o Teste de Fischer apontou um valor de p menor do que 5%, em pelo menos uma diferença de nível, envolvendo o ponto GO-15. Em outras palavras, relacionando o ponto GO-15, com os demais pontos individualmente, houve grande variação dos dados de qualidade de água.

O parâmetro que obteve a maior quantidade de níveis com variação significativa corresponde a OD, no qual em 10 relações, na maior parte envolvendo o ponto GO-15, se obteve valores de p menor do que 5%. A condutividade elétrica foi o único parâmetro que para todas as diferenças de níveis, pode-se aceitar a hipótese nula, em que não há diferença entre as médias dos pontos analisados, em razão da significância obtida pelo Teste de Fisher ser maior do que 5% em todos os casos.

No que concerne a análise de agrupamentos, com a aplicação do método Ward, foi obtido o dendrograma, como mostra a Figura 4,

para os valores médios dos parâmetros de qualidade de água para os 7 pontos de monitoramento em questão. Como foi ser visualizado, de forma inicial, podem ser indicados 4 grupos, a partir da variância existentes entre os referidos pontos de monitoramento.

Os pontos GO-15 (grupo 1) e GO-75 (grupo 3), possuem valores mais discrepantes e foram classificados em um grupo distinto cada, mais distante dos outros agrupamentos, principalmente o ponto GO-15. Os outros grupos correspondem aos pontos GO-67, GO-80, GO-85 (grupo 2) e GO-05, GO-55 (grupo 4).

Considerando o comportamento gerado no dendrograma, se percebe que o ponto GO-15, o mais isolado, está situado nas proximidades do município de Timbaúba. Ademais, este ponto também possui média de DBO mais elevada e média de OD mais baixa, além de fósforo total mais elevado, em comparação com os outros pontos, indicando a suposta contaminação por despejo de carga poluidora.

O município de Timbaúba possui cerca de 52.587 habitantes (IBGE, 2021), e de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, no ano de 2017, que consiste no último ano com informações sobre esgotamento sanitário, cerca de 86% da população, possuía acesso a coleta de efluentes. Entretanto, mesmo com a realização da coleta, não ocorre o tratamento de esgoto, sendo o lançamento efetuado a partir do efluente bruto, segundo dados do SNIS (Brasil, 2021).

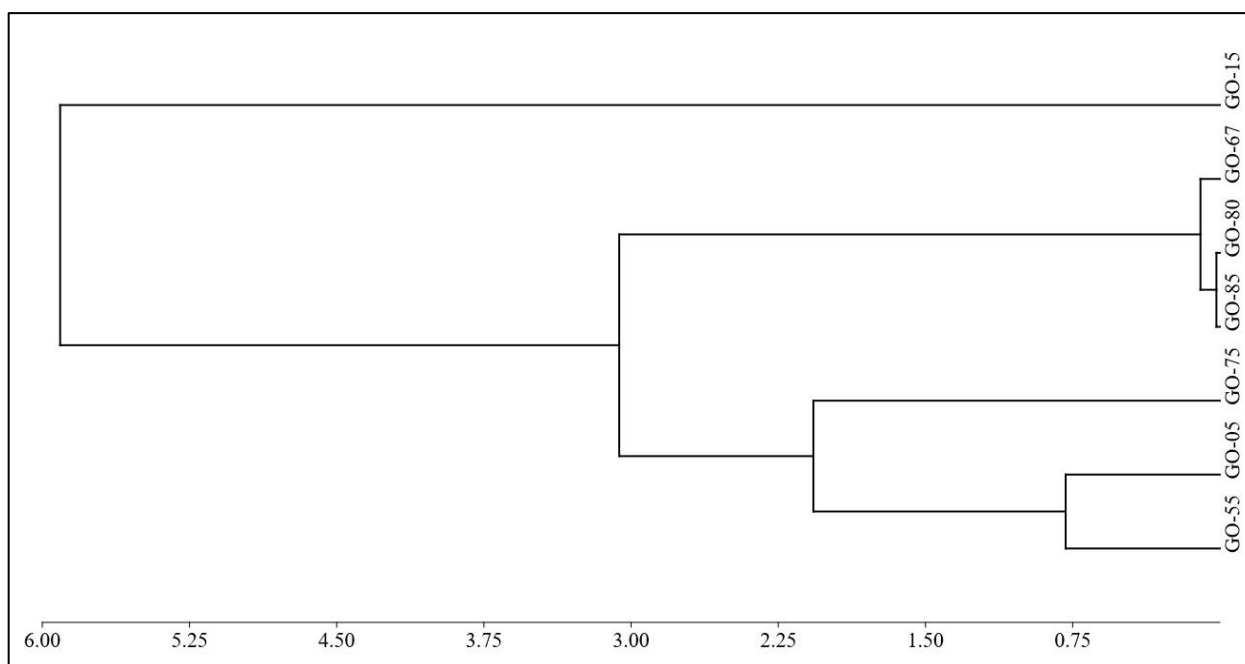


Figura 4. Agrupamentos dos pontos de monitoramento, considerando todas as campanhas.

Ademais, conforme foi apontando, nas proximidades de Timbaúba ocorre índices de qualidade de água preocupantes, que podem evidenciar a necessidade de ampliação do tratamento de esgoto que é coletado. Nesse sentido, a ineficiência do acesso ao saneamento básico consiste em uma das maior problemáticas para o município.

Os pontos GO-55 e GO-05 podem ser enquadrados em outro grupo, em razão possuírem dados de qualidade de água mais similares. Estes pontos estão localizados em áreas mais distantes de centros urbanos. Entretanto, possuem certa proximidade com abatedouros ou usinas. Assim, possivelmente a qualidade de água é influenciada durante o período anual, possivelmente por atividades agropecuárias, que alteram parâmetros de DBO, Nitrogênio e Fósforo.

Ademais, os pontos GO-85, GO-80 e GO-67, também podem ser classificados em outro agrupamento, com valores de médias de parâmetros de qualidade mais similares. Nestes pontos, como há uma maior distância de atividades econômicas e de áreas urbanas e, estão situados próximos do deságue no mar, pode-se indicar que os cursos hídricos da bacia do rio Goiana, próximos ao final do trajeto, começam a ter características de qualidade mais coerentes entre si.

As médias da maioria dos parâmetros nestes últimos pontos não variaram significativamente em relação aos outros. Porém, os agrupamentos podem revelar que houve

determinada autodepuração da matéria de poluição lançada ou, o lançamento de cargas poluidoras possivelmente é reduzido perto do mar. O mesmo fato ocorre para o grupo do ponto GO-75, localizado nas proximidades do trecho médio do rio Tracunhaém, sem grandes influências de áreas urbanas. Portanto, a qualidade de água é influenciada pelas grandes áreas urbanas ou atividades econômicas, que podem dispor diferentes agrupamentos, dependendo do nível de poluição e tentativas de intervenção.

Neste contexto, medidas de gerenciamento podem ser tomadas de acordo com os agrupamentos gerados, considerando todo o período de análise (período chuvoso e seco), as medidas de intervenção apontam direcionamentos para os grupos formados, que inicialmente possuem características mais congruentes para os grupos 2 e 4. Os pontos destes grupos possuem dados de qualidade mais coerentes entre si, havendo mais discrepâncias destes com o grupo 1.

Em relação a análise de agrupamentos com a aplicação do método de Ward, para os pontos de monitoramento, apenas considerando as campanhas da estação chuvosa, foi obtido o dendrograma como mostra a Figura 5, para os valores médios dos parâmetros de qualidade de água para os sete pontos de monitoramento. Neste caso, foram estabelecidos inicialmente a formação de três grupos, a partir da variância contida entre os referidos pontos de monitoramento.

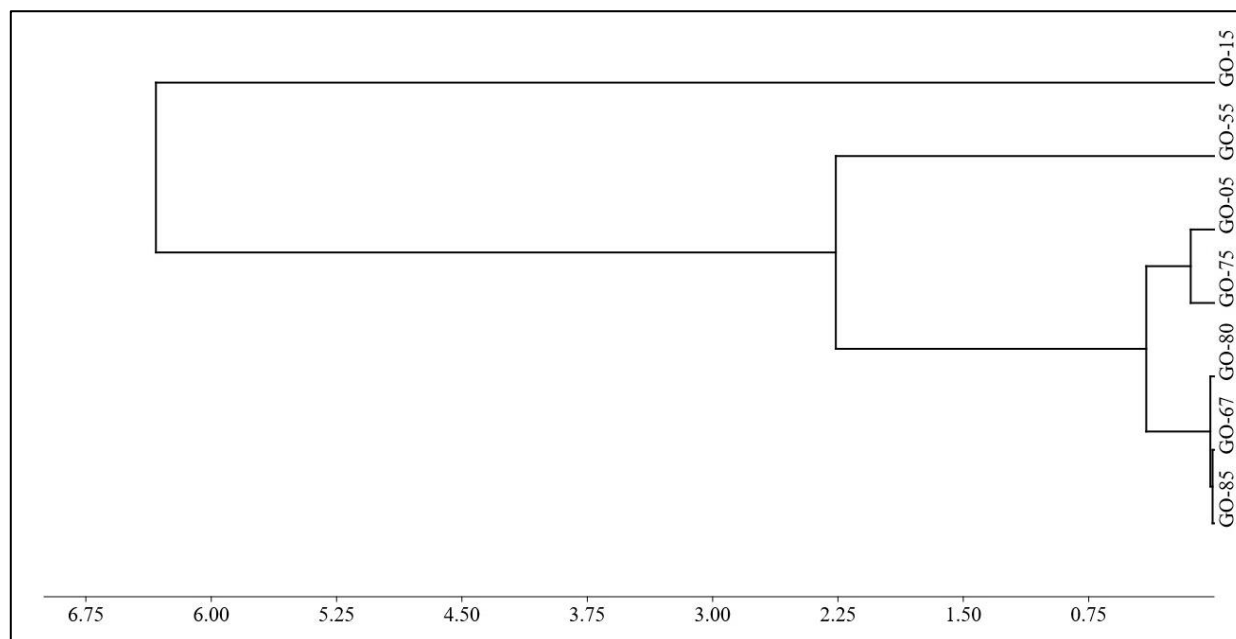


Figura 5. Agrupamentos dos pontos de monitoramento, considerando a estação chuvosa.

Os pontos GO-15 (grupo 1) e GO-55 (grupo 2), ficaram isolados em grupos separados, mais distante do outro agrupamento, revelando maior variância, sendo estatisticamente não similar aos outros pontos. O outro grupo corresponde aos pontos GO-05, GO-75, GO-80, GO-67, GO-85 (grupo 3), que estão mais próximos entre si, considerando as distâncias geradas.

O ponto GO-15 por estar localizado próximo de área urbana, pode receber alterações na sua qualidade de água em épocas de chuva, em razão do aporte de canais de drenagem no rio Capibaribe Mirim, que contribuem para a diluição da água e aumento da poluição difusa. Em relação ao ponto GO-55, sua localização é próxima ao deságue do rio Camatanga, no rio Capibaribe Mirim, onde também pode haver maior diluição da água com aporte da contribuição do afluente no rio principal. Os demais pontos, que formam um agrupamento único, possuem localização mais similares, distantes de municípios e, com maior presença de atividades agropecuárias.

No que se refere a estação seca, os agrupamentos estão expostos na Figura 6, mostrando a possível formação de 3 grupos. Os pontos GO-05 (grupo 1) e GO-15 (grupo 2), ficaram isolados, em grupos separados, estando estatisticamente mais distantes dos outros pontos, que são representados por GO-55, GO-75, GO-80, GO-67, GO-85 (grupo 3). Como é possível visualizar, este último grupo de pontos de monitoramento, possui a variância mais discrepante estatisticamente.

O ponto GO-05 está localizado mais próximo da nascente do rio Capibaribe Mirim e, sem a influência da precipitação que contribui para a poluição difusa, em períodos secos possivelmente possui um comportamento diferenciado dos demais pontos. Isso pode ocorrer em detrimento da qualidade do rio não sofrer ainda a influência da urbanização, das atividades industriais e agropecuárias com mais intensidade, como ocorre nos pontos mais à jusante.

Ademais, o ponto GO-15, localizado após o município de Timbaúba, também foi enquadrado em um grupo isolado no período seco. Este fato pode revelar que as atividades urbanas ainda impactam a qualidade de água também em períodos de estiagem, apontando novamente um comportamento diferenciado, em relação aos outros locais de monitoramento.

Os demais pontos, para o período seco, representam o mesmo agrupamento, com comportamentos de qualidade de água mais similares, mesmo onde há o aporte de rios afluentes. Como em períodos secos a vazão dos cursos hídricos também é menor, este comportamento pode ser mais esperado, em razão de haver menor carreamento de poluentes. Com isso, estes pontos, dispendo de atividades socioeconômicas parecidas, que geram lançamentos de cargas poluidoras similares, constituem comportamentos de qualidade de água estatisticamente mais próximos.

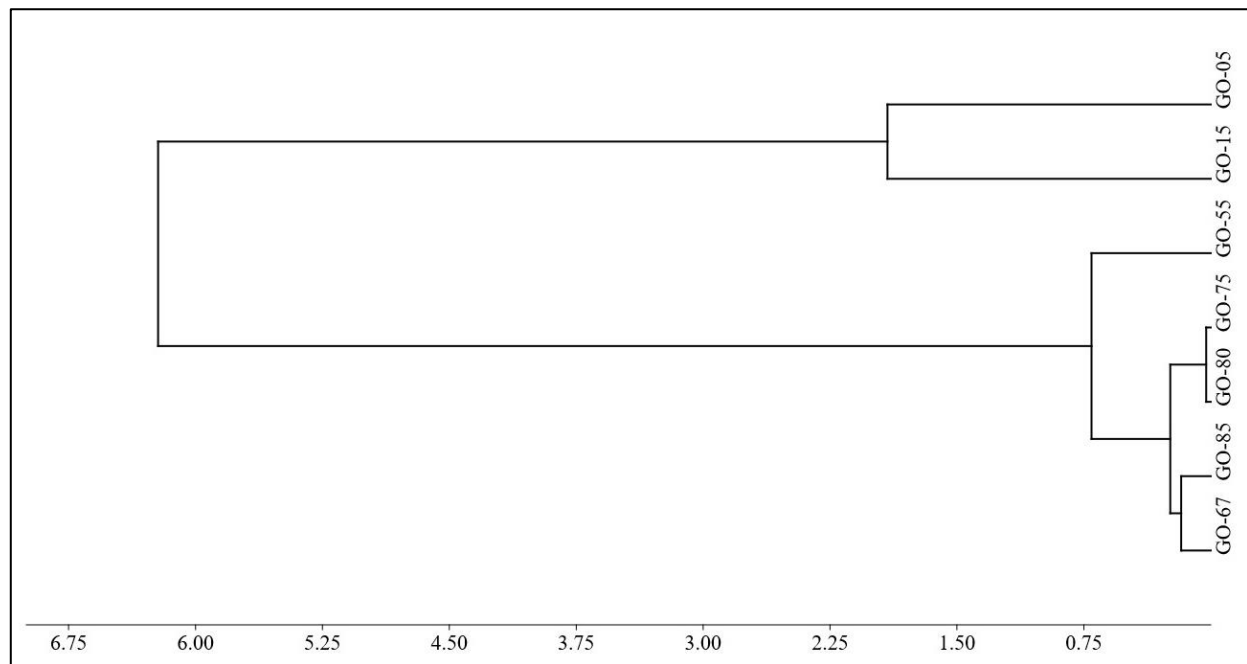


Figura 6. Agrupamentos dos pontos de monitoramento, considerando a estação seca.

Assim, verifica-se que mesmo ocorrendo valores médios próximos na estação chuvosa, seca e na análise englobando todas as campanhas, os agrupamentos comprovaram que há um certo grau de distância entre os pontos de amostragem. Diante disso, apenas o ponto GO-15, nas proximidades de Timbaúba, sempre se apresenta de forma isolada, os demais pontos formam agrupamentos diferentes, considerando a sazonalidade.

Na análise de todos os dendrogramas, fica nítido que houveram certas diferenças no comportamento dos grupos, entre os períodos de tempo adotados (estações do ano). Estudos realizados por Souza et al. (2015) no Córrego Bandeira em Campo Grande/MS e, por Palácio et al. (2009) na bacia hidrográfica do rio Curu, no Ceará, também indicaram diferenças significativas entre os agrupamentos formados pelos pontos de monitoramento, considerando a sazonalidade, em detrimento das mudanças nas características químicas da água, que são influenciadas por fatores como a vegetação no entorno dos corpos d'água e incidência de chuvas, ocasionando mudanças na cor da água, na sua diluição e no carreamento de nutrientes.

De acordo com Rosário et al. (2021), em estudo na sub bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, na região sudeste do Brasil, notou-se que a qualidade das águas no período seco é marcadamente superior aos valores do período chuvoso, na maior parte do tempo entre 1978 a 2018. Essa tendência também revelou uma predominância da poluição difusa, assim como

pode ser verificado no rio Goiana em determinados pontos e períodos, principalmente pelo escoamento superficial das águas pluviais, em relação à poluição pontual. Neste caso, evidencia-se que é ideal priorizar o controle das fontes poluidoras difusas, além de incrementar e conservar a cobertura vegetal nativa e a vegetação das matas ciliares nas margens e nas áreas de preservação permanente.

Já em estudo desenvolvido por Araujo et al. (2020), no rio Corrente dos Matões, no estado do Piauí, a análise de agrupamento revelou pontos amostrados que podem ser classificados em três grupos de acordo com as similaridades. Assim, a sazonalidade também contribui para apontar agrupamentos diferentes, sendo que essa divisão foi fortemente influenciada pelas atividades agrícolas da região, em que os pontos com maior presença dessas atividades, foram agrupados em um grupo isolado. Ademais, pontos com intensa influência urbana foram enquadrados em outros grupos. Com base nas informações de similaridades entre os pontos do rio Corrente dos Matões, é possível projetar uma estratégia de amostragem ideal, para melhor conhecimento da qualidade de água da região, priorizando os locais em que há intensos processos agrícolas e ocupação urbana, que assim como no rio Goiana, influenciam a variação da qualidade de água.

Sendo assim, na bacia do rio Goiana, as questões climáticas possivelmente contribuem significativamente em algumas áreas, no que se refere a qualidade de água. Em conjunto com as

mudanças de precipitação, vazão do rio, velocidade de água, que em geral ocorrem de forma sazonal, também se tem a influência das atividades antrópicas, que atingem parâmetros específicos. Nestas ações são englobadas a agricultura que possuem períodos de colheita, atividades industriais e de pecuária, bem como atividades urbanas envolvendo o lançamento de efluentes e resíduos sólidos.

A análise de parâmetros de qualidade da água, em estudo realizado por Borba et al. (2021), em poços de monitoramento localizados em áreas de disposição de resíduos sólidos, também permitiu verificar modificações em alguns parâmetros. Essas alterações foram notadas principalmente em coliformes totais e termotolerantes, nitratos e sulfatos, sendo que a aplicação da análise de agrupamentos também apontou pontos com comportamentos isolados.

Na bacia do rio Goiana, o ponto GO-15, localizado nas intermediações do município de Timbaúba, como foi apontado também na ANOVA, é o único que foge a essa regra. O mesmo possui maior discrepância em relação aos outros pontos, tanto na estação seca, quanto na chuvosa e, considerando todo o período de estudo.

Nesse sentido, para os demais pontos os agrupamentos formados cumprem a regra de se apresentarem com comportamentos diferentes entre as estações do período de estudo, bem como na análise contando todas as campanhas de monitoramento. Esse comportamento revela que na maior parte da bacia do rio Goiana, há influência da estação do ano, na qualidade da água, resultando em alguns comportamentos sazonais.

Conclusões

Diante da análise de variância realizada, verificou-se quais parâmetros de qualidade da água da bacia do rio Goiana apresentaram valores estatisticamente diferentes. Desconsiderando o efeito da sazonalidade entre os períodos amostrais, o oxigênio dissolvido, a turbidez, a amônia e o fósforo total apresentaram pelo menos uma média variante dentro do seu respectivo conjunto, possivelmente indicando a influência de lançamento de cargas poluidoras em algum ponto de monitoramento, que sob influência do uso e ocupação do solo, alteram a qualidade da água.

A utilização do teste de Fisher indicou que o ponto GO-15, localizado a jusante do município de Timbaúba, apresentou a maior quantidade de valores estatisticamente diferentes quando comparado com os demais pontos. Possivelmente

os atuantes de origem antrópica no entorno do referido ponto influenciaram nesta variação.

Em relação a análise de agrupamentos, é notável certas mudanças no comportamento dos pontos agrupados ao considerar a sazonalidade, sendo que o ponto nas proximidades do município de Timbaúba apresentou comportamentos mais distantes em relação aos outros pontos, em ambas estações. Os pontos em estudos não possuem uma classificação única quanto aos parâmetros de qualidade de água, em razão de ocorrer variação dos agrupamentos formados ao considerar a sazonalidade.

Neste contexto, possivelmente em razão das questões de variabilidade de precipitação e vazão, que influenciam o carreamento e difusão de cargas poluidoras, a qualidade ambiental da bacia hidrográfica é alterada. Em locais com lançamento de esgoto doméstico ou agrícola, em períodos de chuvas, essa poluição pode atingir área mais distantes, à jusante do lançamento, contribuindo para alastramento da poluição, dependendo do poder de autodepuração dos cursos hídricos.

Deste modo, evidencia-se que as atividades intensas urbanas na bacia do rio Goiana, como despejo de esgotamento doméstico influenciou na variação da qualidade de água. Ademais, pontos que estão localizados nas proximidades de zonas rurais, com atividades agropecuárias, também foram apontados como pontos com características similares. Assim, a cobertura do solo no espaço da bacia hidrográfica do rio Goiana, possui influência nessa variação da qualidade de água.

Portanto, recomenda-se um estudo sobre uso e ocupação do solo, além da determinação de possíveis pontos de poluição e contaminação, nos pontos amostrados, de forma pontual e difusa. Com isso, se permite explicar as flutuações nas médias e nas variações dos parâmetros observados, bem como pode auxiliar no gerenciamento das atividades potencialmente poluidoras, que ocasionam impactos ambientais.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Pós-Graduação.

Referências

ANA. Agencia Nacional das Águas, 2020. Portal da qualidade das águas. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#_ftn8>. Acesso em: 20 ago. 2022.

- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2022. Histórico de Chuvas. Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: abr. 2022.
- Araujo, F.B.C., Moura, M.C.S., Arauco, A.M.S., Santos, G.V., Novais, M.C., 2020. Avaliação espacial e sazonal da qualidade da água do rio Corrente dos Matões (Piauí), utilizando análise multivariada. *Ambiência Guarapuava* (PR) 16 900 – 917, ISSN 2175 – 9405. DOI:10.5935/ambiencia.2020.01.02
- Azañez, M., Belgacem, F.B., Hecht, F., Le Bot, C., 2014. An ill-posed parabolic evolution system for dispersive deoxygenation–reaeration in water. *Iop Science*, UK, 30, 015002 (21pp).
- Baldisseroto, B., 2002. Fisiologia de Peixes Aplicada à Piscicultura. Editora da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS.
- Bilgin, A., 2015. An assessment of water quality in the Coruh Basin (Turkey) using multivariate statistical techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 721, p. Disponível: DOI 10.1007/s10661-015-4904-9. Acesso: 23 ago. 2022.
- Borba, W.F., Silva, J.L.S., Kemerich, P.D.C., Souza, E.E.B., Fernandes, G.A., Carvalho, I.R., Lorandi, L., 2021. Análise da qualidade da água de poços de monitoramento em área de disposição de resíduos sólidos urbanos no sul do Brasil. *Rev. Geociênc. Nordeste*, Caicó, 7, 306-316.
- Borges, S.A., Cunha A.H.N., Silva, S.M.C., Vieira, J.A., Nascimento, A.D.R., 2018. Qualidade da água de irrigação na cultura do tomate de mesa no município de Goianópolis-GO. *Multi-Science Journal*, 1, 74-82, 2018. Disponível: <http://doi.org/10.33837/msj.v1i2.63>. Acesso: 25 ago. 2022.
- Boyd, C.E., 1992. Water quality management for ponds/fish culture. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*: 9. ed. Elsevier Scientific Publishing Company. 318p.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1997. Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 17 mar.
- Brasil. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2021. SNIS: Série histórica: Município de Timbaúba. Ministério das Cidades, 2021. Disponível: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>> Acesso: 06 mai. 2022.
- Braz, A.M., Oliveira, I.J., Cavalcanti, L.C.S., Almeida, A.C., Chávez, E.S, 2020. Análise de agrupamento (cluster) para tipologia de paisagens. *Mercator*, Fortaleza, 19, e19011. ISSN:1984-2201.
- Carvalho, L.L.S., Lacerda, C.F., Carvalho, C.M., Lopes, F. B., Andrade, E. M., Gomes Filho, R. R., 2020. Variabilidade espaço-temporal da qualidade das águas subterrâneas em área irrigada no semiárido brasileiro. *Research, Society and Development*, 9, e644985786. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5786
- Cormack, R.M., 1971. A review of classification. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 134, 321-367.
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente, 2020. Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco – 2018 e 2019. Recife, Pernambuco: 2020. Disponível: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/monitoramento-ambiental/qualidade-da-agua/bacias-hidrograficas/relatorio-bacias-hidrograficas/>> Acesso: 06 jun. 2022.
- Cunha, C.L.N., Ferreira, A.P., 2019. Análise crítica por comparação entre modelos de qualidade de água aplicados em rios poluídos: contribuições à saúde, água e saneamento. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24,.473-480. Disponível: DOI:<http://doi.org/10.1590/s1413-41522019112332>. Acesso: 08 jun. 2022.
- Devore, J.L., 2006. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Garcia, J.M., Mantovani, P., Gomes, R.C., Longo, R.M., Demanboro, A.C., Bettine, S.C., 2018. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. *Soc. Nat., Uberlândia-MG*, 30, 228-254, ISSN 1982-4513.
- Geminiano, M.M., Soares, A., Pinto, A.L., 2021. Influência do uso da terra nos parâmetros da qualidade das águas superficiais do monumento das lagoas urbanas da cidade de Três Lagoas/MS no inverno de 2019. *Geosul, Florianópolis*, 36, 558-581. Disponível: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e71717>. Acesso: 16 jun. 2022.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Rayan, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4 (1): 9pp.

- Hurtado, F.B., Moreira, F.F., Bomfim, S.C., 2022. Toxicidade aguda da amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) frente a alevinos de Tambaqui. *Ciência Animal e Veterinária: inovações e tendências* - ISBN 978-65-5360-123-9 - Editora Científica Digital, vol. 2.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Cidades e Estados – Timbaúba - Pernambuco. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, IBGE. Disponível: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/timbauba.html>>. Acesso: 05 mai. 2022.
- Kassambara, A., 2017. Practical guide to cluster analysis in R: unsupervised machine learning: *Journal of Computational and Graphical Statistics*, Sthda, 1, 187.
- Lucio, M.Z.T.P.Q., Santos, S.S., Silva, D.M.L., 2012. Hydrochemistry of Cachoeira River (Bahia State, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24, 181-192, 2012. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000037>. Acesso: 15 jun. 2022.
- Maia, K.P., Silva, G.A., Libânio, M., 2019. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24 1013-1025. DOI: 10.1590/S1413-41522019175743.
- Mcroberts, R.E., Tomppo, E.O., Finley, A.O., Heikkinen, J., 2007. Estimating areal means and variances of forest attributes using the k-nearest neighbours technique and satellite imagery. *Remote Sens. Environ.* 111, 466 – 480.
- Mello, K., Taniwaki, R. H., Paula, F.R., Valente, R.A., Randhir, T.O., Macedo, D.R., Leal C.G., Rodrigues C.B., Hughes, R.M., 2020. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 270, 110879.
- Morais, M.A., Gomes, F.B.M., Lemos Filho, L.C.A., Freire, G.S.S., Silva, G.F., Facundo, A.L., 2020. Qualidade da água como instrumento para a gestão hídrica da Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu (Rio Grande do Norte, Brasil). *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 7(17): 1563-1573. ISSN: 2359-1412.
- Nagalli, A., Nemes, P.D., 2009. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba*, 7, 131-144.
- Nonato, E.A., Viola, Z.G.G., Almeida, K.C.B., Schor, H.H.R., 2007. Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do alto curso do Rio das Velhas. *Química Nova*, v. 30, 797-804. Disponível: Doi: 10.1590/S0100-40422007000400008. Acesso: 20 jun. 2022.
- Oliveira, L.N., Silva, C.E., 2014. Qualidade da água do rio Poti e suas implicações para atividade de lazer em Teresina/PI. *Revista Equador*, 128-147
- Palácio, H.A.Q., Andrade, E.M., Lopes, F.B., Alexandre, D.M.B., Arraes, F.D.D., 2009. Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. *Ciência Rural*, Santa Maria, 39, 2494-2500.
- Pereira, L.P.F., Mercante, C.T.J., 2005. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão. *Boletim do Instituto de Pesca*, 31, 1, p. 81-85.
- Pinto, C.C., Faria, F. P. C. P., Almeida, G. M., 2021. Utilização de modelo baseado em análise por componentes principais para identificação de condições críticas de qualidade de água superficial. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, 12, 288-305.
- Piratoba, A.R.A., Ribeiro, H.M.C., Morales, G.P., Gonçalves, W. G., 2017. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambiente & Água*, 12, 435–456. Disponível: Doi: 10.4136/ambi-água.1910. Acesso: 26 jun. 2022.
- Reis, E., 2001. *Estatística multivariada aplicada*. Lisboa: Edições Silabo. 342 p.
- Rosário, G.F.M., Salvador, N.N. B., Barros, D.R., 2021. Variação da qualidade das águas em um rio na região Sudeste do Brasil no longo prazo (1978-2018) segundo os índices IQA e IVA. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.7, p.475-486. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.007.0041>
- Santos, R.S., Mohr, T., 2013. Saúde e Qualidade da Água: Análises Microbiológicas e Físico-Químicas em Águas Subterrâneas. *Revista Contexto & Saúde*, Ijuí: Editora Unijuí, 13 46-53.
- Santos, E.F.N., Sousa, I.F., 2018. Análise estatística multivariada da precipitação do estado de Sergipe através dos fatores e agrupamentos. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 14, vol. 23, ISSN:2237-8642.
- Santos, G.B., Valentini, M.H.K., Silva, L.A., Franz, H.S., Corrêa, B.L., Duarte, V.H., Silva,

- M.A., Corrêa, M.G., Vieira, B.M., Nadaleti, W.C., Vieira, B.M., 2020. Análise da qualidade das águas do Arroio Moreira/Fragata (RS) através de métodos estatísticos. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11, 217-226. Disponível: DOI10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0019. Acesso: 27 jun. 2022.
- Santos, C.J., Lämmle, L., Moreira, V.B., Picanço, J.L., Mincato, R.L., Ayer, J.E.B., 2021. Avaliação da qualidade da água em aquífero raso em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 3241-3254.
- Saxena, A., Prasad, M., Gupta, A., Bharill, N., Patel, O. P., Tiwari, A., Er, M. J., Ding, W., Lin, C., 2017. A review of clustering techniques and developments. *Neurocomputing*, v. 267, p. 664-681. Disponível: DOI 10.1016/j.neucom.2017.06.053. Acesso: 25 jun. 2022.
- Silva, E.S., Oliveira, J.C.S., 2014. Avaliação da qualidade da água da Reserva Particular Natural (RPPN) Seringal Triunfo, Rio Araguari, Ferreira Gomes-AP-Brasil. *Biota Amazônia*, 4, 28-42.
- Silva, M.A., Araújo R.R., 2017. Análise temporal da qualidade da água no córrego Limoeiro e no rio Pirapozinho no Estado de São Paulo - Brasil. *Rev Form* 1(24):182-203.
- Silva, J.C.B., Machado, C.J.S., 2018. Associações entre dengue e variáveis socioambientais nas capitais do nordeste brasileiro por análise de agrupamentos. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo 21, Temas em Destaque, 21:e01332.
- Silva, H.B., Silva, C.E., 2020. Qualidade da água de um parque urbano em Teresina, PI. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13,. 2371-2387.
- Silveira, F.G., Silva, F.F., Carneiro, P.L.S., Malhado, C.H.M., 2012. Classificação multivariada de modelos de crescimento para grupos genéticos de ovinos de corte. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13, 62-73.
- Siqueira, G.W., Aprile, F., Miguéis, A.M., 2012. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil). *Acta Amazonica*, vol. 42(3) 2012: 413 – 422.
- Sousa, D.G., Marques, D.S., Santos, V.S., Sousa, A.C., Figueiredo, G.A., 2019. Aplicação de técnicas de análise exploratória no monitoramento da qualidade da água do rio Cuiá, João Pessoa-PB. *Ambiência Guarapuava* (PR), 15, 31 – 145. DOI:10.5935/ambiencia.2019.01.08
- Souza, A., Bertossi, A.A.A., Lastoria, G., 2015. Diagnóstico temporal e espacial da qualidade das águas superficiais do Córrego Bandeira, Campo Grande, MS. *Revista Agro@mbiente On-line*, 9, 227-234.
- Souza, P.F.G., Costa, C.R., Costa, M.F., 2019. Diagnóstico da qualidade da água da bacia do Rio Goiana. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 6, 2-15. ISSN: 2595-4431.
- Strobl, R.O., Robillard, P.D., 2008. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *Journal of Environmental Management [online]* 87, p. 639–648.
- Teixeira, A.R., Santos, E.P.C., Pádua, V.L., Heller, L., Di Bernado, L., Libânio, M., 2004. A confiabilidade analítica dos valores de turbidez da água filtrada e seu efeito no cumprimento do padrão de potabilidade. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 9,. 65-72.
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Dong, M., Xu, D., Liu, Y., Xu, X., 2019. Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. *Science of the Total Environment*, v. 667, p. 142–151.
- Trindade, A.L.C., Almeida, K.C.B., Barbosa, P.E., Oliveira, S.M.A.C., 2017. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, 22, 13-24. Disponível: DOI <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016131457>. Acesso: 28 jun. 2022.
- Valentini, M.H.K., Santos, G.B., Duarte, V.H., Dröse, A., Vieira, B.M., Viana, F.V., Corrêa, B.L., Guedes, H.A.S., Nadaleti, W.C., Vieira, B.M., 2020. Monitoring and identification of pollutant groups of the Lagoa Mirim. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 11, 227-235.
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., Debán, L., 1998. Assesment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, 32, 3581-3592.
- Ventura, T., Cavalieri, M.A.R., 2021. Diferenciais de salários dentro do Poder Executivo Brasileiro: uma análise de cluster. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, 55(4): p. 757-781. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-761220190357>. Acesso: 29 jun. 2022.
- Von Sperling, M., 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia

- Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.
- Von Sperling, M., 2007. Estudos de modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, vol. 7, 452 p.
- Voza, D., Vuković, M., 2018. The assessment and prediction of temporal variations in surface water quality - a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 434.
- Wang, Z., Zhu, L., Ran, B., Jiang, H., 2020. Queue profile estimation at a signalized intersection by exploiting the spatiotemporal propagation of shockwaves. *Transportation Research Part B: Methodological*, 141, 59–71. Disponível: 10.1016/j.trb.2020.08.009. Acesso: 01 ago. 2022.
- Yuan, C., Yang, H., 2019. Research on K-value selection method of K-means clustering algorithm: *J Multidisciplinary Scientific Journal*, 2, 266-235.
- Zounemat-Kermani, M., Scholz, M., 2014. Modeling of Dissolved Oxygen Applying Stepwise Regression and a Template-Based Fuzzy Logic System. *Journal of Environmental Engineering, USA*, 140, 69-76.