

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIBEIRÃO ESPÍRITO SANTO, JUIZ DE FORA – MG

APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS IN THE WATER QUALITY MONITORING OF RIBEIRÃO ESPÍRITO SANTO, JUIZ DE FORA – MG

Camila Nunes Bittencourt^a, Williana da Mata Santos Lima^a, Taciane de Oliveira Gomes de Assunção^a,
Maria Helena Rodrigues Gomes^a, Renata de Oliveira Pereira^{a*}

^aUniversidade Federal de Juiz de Fora

camila.bittencourt@engenharia.ufjf.br, williana.mata@engenharia.ufjf.br, taciane.assuncao@engenharia.ufjf.br,
mariahelena.gomes@ufjf.br, renata.pereira@ufjf.br*

Submissão: 27 de março de 2023

Aceite: 26 de fevereiro de 2024

Resumo

O presente estudo avaliou a qualidade da água do Ribeirão Espírito Santo (RES), por meio de parâmetros físico-químicos e biológicos utilizando análises estatísticas multivariadas. Foram analisadas campanhas de amostragem realizadas em três pontos, no período de 2013 a 2019, e os parâmetros estudados foram: pH, sólidos dissolvidos totais (SDT), salinidade, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica (CE), temperatura, demanda química de oxigênio (DQO), coliformes termotolerantes (CT), oxigênio dissolvido (OD), fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais (ST), nitrogênio total e ferro. Inicialmente, foi utilizada a estatística descritiva para verificar o perfil espacial e sazonal dos parâmetros. As variáveis temperatura e cor aparente apresentaram as maiores diferenças entre os períodos secos e chuvosos, seguidos de CT e OD. Na análise espacial as variáveis DBO, DQO, sólidos totais, condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos se demonstraram significativas. Ademais, a análise estatística provou ser uma ferramenta importante para análise da qualidade da água. A análise de componentes principais para a realização da análise fatorial revelou dois fatores principais. O primeiro fator indica a poluição por matéria orgânica e sólidos dissolvidos e o segundo indica poluição difusa pelo carreamento de sólidos. Sendo assim, conclui-se que o RES apresenta sinais de degradação da qualidade hídrica decorrentes de ações antrópicas, como o lançamento de efluentes industriais e domésticos dispostos no corpo d'água e, ainda, atividade agropecuária. Aponta-se a importância do tratamento dos efluentes despejados, preservação da mata ciliar e ações para minimizar o carreamento de sólidos para o corpo receptor, além de políticas públicas voltadas à preservação do ribeirão Espírito Santo.

Palavras-chave: poluição; sazonalidade; análise não-paramétrica; parâmetro físico-químico.

Abstract

The paper evaluated the water quality of Ribeirão Espírito Santo (RES), through physical-chemical and biological parameters using multivariate statistical analysis. Sampling campaigns conducted at three points, in the period of 2013 to 2019, were analyzed and the parameters studied were: pH, total dissolved solids, salinity, turbidity, apparent color, electrical conductivity (EC), temperature, chemical oxygen demand (COD), coliforms thermotolerant (CT), dissolved oxygen (DO), total phosphorus, biochemical oxygen demand (BOD), total solids, total nitrogen, and iron. Initially, descriptive statistics were used to verify the spatial and seasonal profile of the parameters. The temperature and apparent color variables showed the greatest differences between dry and rainy seasons, followed by TC and OD. In the spatial analysis, the variables BOD, COD, total solids, electrical conductivity, salinity, and total dissolved solids were shown to be significant. In addition, statistical analysis proved to be an important tool for analyzing water quality. Principal component analysis for conducting factor analysis revealed two main factors. The first factor indicates pollution by organic matter and dissolved solids and the second

indicates diffuse pollution by carrying solids. Thus, it is concluded that the RES shows signs of water quality degradation resulting from anthropic actions, such as the release of industrial and domestic effluents disposed in the water body and, also, agricultural activity. It points out the importance of treating the effluents discharged, preserving the riparian forest, and actions to minimize the transport of solids to the receiving body, in addition to public policies aimed at the preservation of Ribeirão Espírito Santo.

Key-words: pollution; seasonality; non-parametric analysis; physical-chemical parameter.

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água potável e ao saneamento, tal como a boa gestão dos ecossistemas de água doce, são imprescindíveis para a saúde humana, para a sustentabilidade ambiental e para a prosperidade econômica (ONUBR, 2024). Contudo, a qualidade e a disponibilidade da água estão cada vez mais comprometidas, considerando o aumento crescente da demanda hídrica, a uma taxa em torno de 1% ao ano em âmbito mundial (ONUBR, 2018). Além disso, os recursos hídricos vêm sofrendo uma intensa degradação ambiental nas últimas décadas, decorrente de atividades antrópicas desenvolvidas nas bacias de drenagem e do acelerado crescimento demográfico, principalmente no meio urbano (Lima; Oliveira; Tavares, 2023; Silva; Minoti, 2023; Rodrigues *et al.*, 2021; Freitas, 2020; Righetto, Gomes; Freitas, 2017). Sendo assim, o monitoramento de parâmetros de qualidade da água se torna imprescindível, pois permite identificar diversas características específicas aos processos dinâmicos naturais e ecológicos, além de ser uma ferramenta primordial que propicia a obtenção de uma base de dados, visando um manejo adequado das bacias hidrográficas e subsídios para uma gestão eficiente das águas e ações de controle ambiental (Arruda *et al.*, 2023; Libos; Pinheiro; Girardi, 2023; Queiroz Neto; Albuquerque; Batista, 2023; Thomaz; Centeno; Cecconello, 2023; Viana *et al.*, 2023; Cintra *et al.*, 2020; Fernandes *et al.*, 2020; Carvalho *et al.*, 2015; Santos, 2012; Bárbara *et al.*, 2010; Brito, 2008).

Todavia, programas de monitoramento geram complexos conjuntos de dados, tornando difícil sua interpretação para a tomada de decisões. Sendo assim, ferramentas estatísticas surgem como alternativas eficientes para tratar, extrair e correlacionar informações desses dados, pois permitem obter um melhor valor de representação, mesmo com toda a variabilidade inerente ao processo ambiental (Trindade, 2013).

Na área ambiental, destaca-se a análise multivariada, que consiste em modelos estatísticos que consideram, concomitantemente, muitas variáveis dependentes entre si (Sabino; Lage; Almeida, 2014), possibilitando a extração de resultados que a análise univariada é incapaz de exibir, uma vez que a análise univariada não considera a interação entre os parâmetros estudados (Maia; Silva; Libânio, 2019). A técnica da estatística multivariada tem sido aplicada a matrizes de monitoramento da qualidade da água, pois a mesma tem demonstrado eficácia na classificação das águas dos rios, na determinação de variações espaciais causadas por fatores naturais e antropogênicos, nas variações sazonais e no desenvolvimento de estratégias apropriadas para uma gestão eficaz dos recursos hídricos (Okumura *et al.*, 2020). Estudos como o de Oliveira *et al.* (2023), Rodrigues Júnior *et al.* (2022), Águas *et al.* (2020) e Sousa *et al.* (2019) concluíram que o uso das ferramentas estatísticas multivariadas se demonstrou eficiente na interpretação dos dados e na compreensão dos fenômenos ocorridos nas águas estudadas.

Ademais, a gestão e o monitoramento dos recursos hídricos, sejam na coleta e/ou no registro dos dados hidrológicos, são onerosos, em termos de esforços e recursos (WMO, 2014), salientando ainda mais a importância da aplicação de modelos estatísticos. A aplicação das análises multivariadas possibilita além da redução de dados, a identificação das análises que de fato representam e caracterizam a bacia em estudo, direcionando a manutenção das informações relevantes e a eliminação das irrelevantes e/ou redundantes (Maia; Silva; Libânio, 2019). Portanto, análises que não se demonstram significativamente representativas podem ser excluídas de estudos futuros, reduzindo os custos com tais análises.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variação sazonal e espacial da qualidade

da água do Ribeirão Espírito Santo, além de aplicar a análise estatística aos parâmetros físico-químicos e biológicos, a fim de se obter uma melhor interpretação dos resultados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

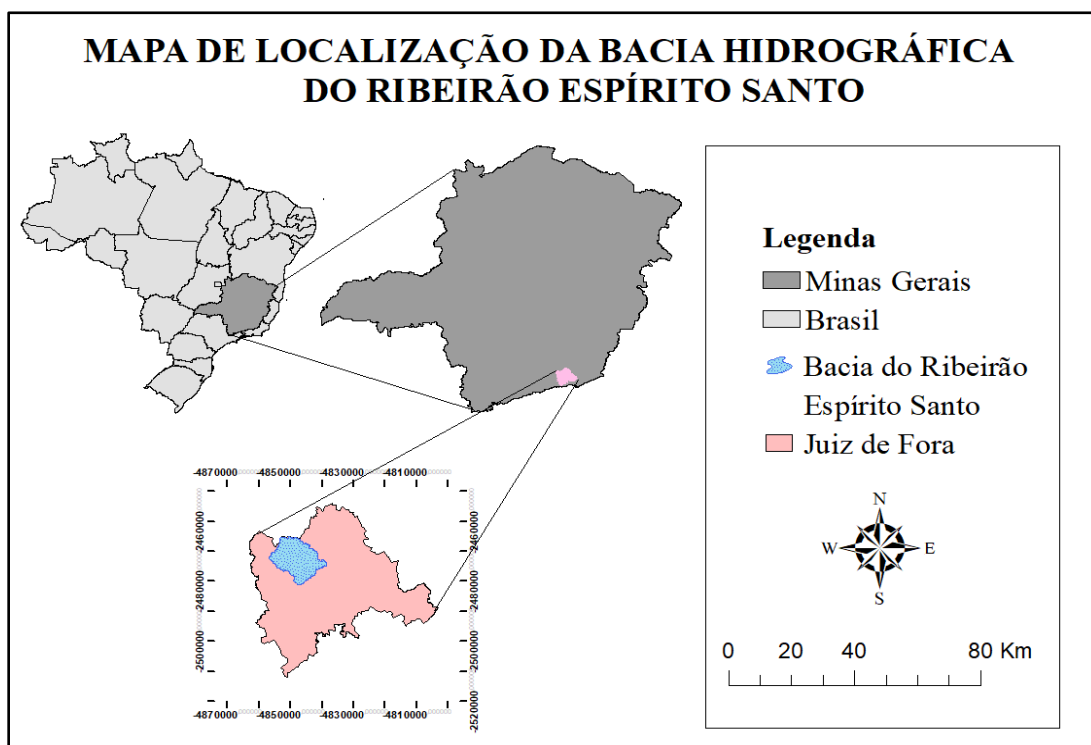
A área de estudo foi a bacia hidrográfica do Ribeirão Espírito Santo (BHRES) que está localizada no município de Juiz de Fora, Minas Gerais (Figura 1). Foi realizada uma revisão sobre os usos, estudos previamente realizados, clima e principais características da área de estudo para definição dos pontos e época de coleta.

Minas Gerais apresenta dois períodos bem definidos que podem ser identificados como seco e

chuvoso (Abreu, 1998). Em Juiz de Fora, o período chuvoso se inicia no mês de outubro estendendo-se até o mês de março e o período seco compreende os meses de abril a setembro (Oliveira, 2020). Nesse sentido, esses períodos foram utilizados para definir as coletas no período de seca e chuva no ribeirão Espírito Santo.

Para a avaliação dos índices pluviométricos da cidade de Juiz de Fora, foram retirados dados de precipitação acumulada mensal referentes aos meses que foram realizadas as coletas, de 2013 a 2019. Os dados foram disponibilizados no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), na estação 83692 (INMET, 2020). Tais índices foram utilizados para verificar se houve um comportamento distinto do esperado em relação às épocas de seca e chuva.

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do ribeirão Espírito Santo



Fonte: autoria própria.

2.2 Estratégia de amostragem e metodologia aplicada

As campanhas de amostragem foram realizadas ao longo de sete anos (Tabela 1) em diferentes épocas do ano, abrangendo no mínimo uma na época de seca e uma na época de chuva,

totalizando 14 coletas, para que se pudesse ter uma variação sazonal. Foram selecionados estrategicamente três pontos do ribeirão Espírito Santo (Figura 2), ponderando a melhor representatividade espacial da bacia, além de serem pontos onde ocorrem atividades com potencial de

degradação (Santos *et al.*, 2018). O ponto 1 (P1) está localizado após uma extensa área residencial, em área predominantemente rural, onde há uso e ocupação do solo com atividades agropecuárias e de pastagens ao entorno das margens do ribeirão. O ponto 2 (P2) se encontra às margens de uma rodovia movimentada e de intensa interferência antrópica, além disso, é a jusante da captação de água da Estação de Tratamento de Água (ETA). O terceiro ponto (P3) de coleta encontra-se a jusante do lançamento de efluentes industriais oriundos do distrito industrial da cidade. A localização de cada ponto na bacia está representada na Figura 2, assim como as principais características no entorno dos pontos.

Os parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água analisados foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Salinidade (Salin.), Turbidez (Turb.), Cor Aparente (Cor Ap.), Condutividade Elétrica (CE), Temperatura (Temp.), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Coliformes Termotolerantes (CT), Oxigênio Dissolvido (OD), Fósforo Total (FT), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Nitrogênio Total (NT) e Ferro. Foram coletadas alíquotas de amostra para a medição, *in situ*, de OD, temperatura, CE, salinidade e pH, através das sondas HANNA HI9828 e a sonda HACH 58258-00. Para a medição dos demais parâmetros, as amostras foram conservadas resfriadas e transportadas para o Laboratório de

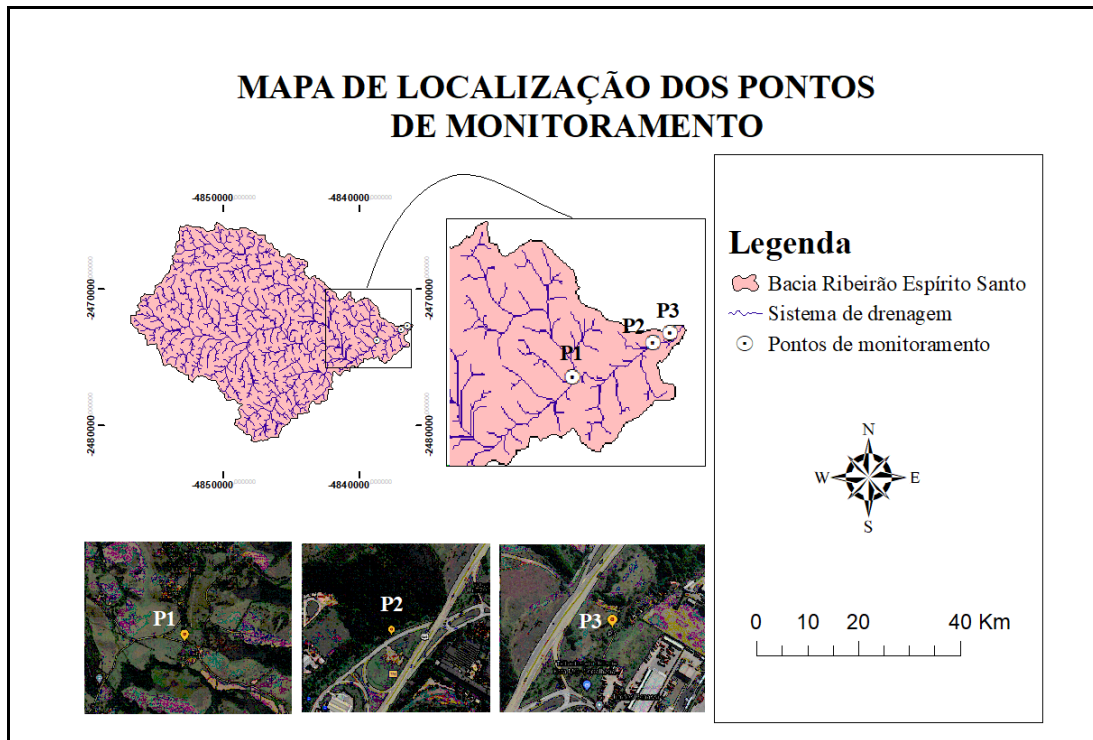
Qualidade Ambiental (LAQUA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora, para serem analisadas, segundo metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). Os procedimentos de coleta e preservação das amostras para as análises de qualidade da água seguiram as seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): ABNT NBR 9897:1987 e ABNT NBR 9898:1987 (ABNT, 1987a; 1987b).

Os resultados das variáveis estatisticamente significativas foram comparados com os parâmetros estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG N° 01/2008 (Minas Gerais, 2008), ao enquadramento do corpo hídrico de cada ponto analisado, com o intuito de apurar a conformidade das águas do ribeirão Espírito Santo frente ao seu enquadramento. Essa Deliberação foi alterada pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG N° 08/2022, a qual dista 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 (Minas Gerais, 2022). Contudo, como as coletas analisadas neste trabalho foram realizadas entre os anos de 2013 a 2019, período no qual estava vigente a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG N° 01/2008, a comparação dos resultados se deu com a mesma.

Tabela 1 - Datas das coletas

Coletas			
1ª Coleta	09/06/2013	8ª Coleta	01/05/2016
2ª Coleta	04/08/2013	9ª Coleta	13/10/2016
3ª Coleta	21/10/2013	10ª Coleta	05/07/2017
4ª Coleta	08/12/2013	11ª Coleta	28/02/2018
5ª Coleta	19/01/2014	12ª Coleta	02/10/2018
6ª Coleta	20/03/2014	13ª Coleta	27/05/2019
7ª Coleta	30/03/2015	14ª Coleta	29/10/2019

Fonte: autoria própria.

Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento


Fonte: autoria própria.

2.3 Análise Estatística

Inicialmente, realizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (Kruskal; Wallis, 1952) para determinar as variáveis mais significativas entre pontos e períodos sazonais, com nível de significância de 5%. Para as variáveis que se demonstraram significativas, foi aplicado o Teste de Dunn, o qual consiste em uma comparação múltipla a fim de analisar quais variáveis apresentaram comportamentos distintos entre si. Em seguida, foi realizada a estatística descritiva para ilustrar o perfil dos parâmetros de qualidade resultantes do teste anterior. Sendo assim, foram construídos *boxplots* para representar graficamente a distribuição sazonal e espacial, de forma a garantir a melhor interpretação dos resultados. A distribuição sazonal faz referência aos períodos seco e chuvoso, já a distribuição espacial ilustra os pontos de coleta, sendo eles P1, P2 e P3.

Além disso, foi realizada a análise de correlação de Spearman, com a finalidade de quantificar o grau de associação entre as variáveis e assim verificar quais parâmetros são mais adequados a serem submetidos à análise estatística multivariada, realizada através da Análise Fatorial (AF). O

coeficiente de Spearman varia de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo estiver de zero a associação é fraca e quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, a associação é forte. Coeficiente positivo indica relação direta e negativo indica relação inversa entre as variáveis estudadas (Figueiredo *et al.*, 2009).

O programa utilizado para as análises multivariadas, para o teste de Kruskal-Wallis e para a construção dos *boxplots* foi o Minitab versão 19.2. Para o teste de Dunn foi utilizado o programa Sigmaplot versão 12. Por fim, para a realização do teste de esfericidade de Bartlett e a medida de adequabilidade de KMO foi utilizado o *software* SPSS versão 20.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da área de estudo

O ribeirão Espírito Santo, principal rio da bacia hidrográfica do ribeirão Espírito Santo (BHRES), está localizado no município de Juiz de Fora, quarta maior cidade do estado de Minas Gerais em termos de população residente (IBGE, 2020a). Localizada estrategicamente entre os maiores mercados consumidores do país, Rio de Janeiro, Belo

Horizonte e São Paulo, a cidade apresentou de 2018 para 2019, um crescimento populacional de 0,8% (IBGE, 2020b), enfatizando a importância do monitoramento dos seus corpos hídricos.

A BHRES possui uma área de 147,8 km² localizada na porção noroeste de Juiz de Fora, delimitada pelas coordenadas 21°36'41" a 21°44'48" de latitude Sul e 43°26'30" a 43°37'46" longitude Oeste (Figura 1). O ribeirão Espírito Santo é afluente do rio Paraibuna pela margem direita, sendo assim, integrante também, da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Brovini *et al.*, 2018).

Ao longo dos 17 km de extensão, o ribeirão Espírito Santo sofre a ação de diversas atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes domésticos e industriais, sendo estes últimos provenientes do distrito industrial da cidade, no qual estão condensadas indústrias de diferentes segmentos (Louzada *et al.*, 2014). Além disso, ocorre no ribeirão a captação de água da ETA CDI para o abastecimento público de Juiz de Fora, sendo esse o seu principal uso. A ETA produz uma vazão de 620 L/s e atende aproximadamente 206 mil habitantes, correspondendo a 40% da população juiz-forana. Ademais, a água do ribeirão possui uso industrial e para atividades agropecuárias e de irrigação de pequenas culturas, contudo em menor escala (CESAMA, 2024; IBGE, 2020a).

De acordo com a classificação de Köppen, a região possui um clima predominante Tropical de Altitude do tipo Cwa, caracterizado por um clima mesotérmico com invernos secos, verões com altas temperaturas e pluviosidade elevada (CPS, 2020). A BHRES está situada em sua maior parte na zona rural, com 98,24% da sua área ocupada por pastagens, silvicultura e mata (Pinto *et al.*, 2014). Em relação ao enquadramento do ribeirão, o mesmo se enquadra na classe 1 das nascentes até a captação da ETA, sendo que após a captação, o ribeirão recebe a mesma classificação do rio Paraibuna no trecho onde deságua, classe 2 (Minas Gerais, 1996; Brasil, 1981).

3.2 Análise de Sazonalidade e Espacial

A partir do perfil de precipitação acumulada mensal, referente aos meses que foram realizadas as coletas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Espírito Santo, referendou-se que as coletas 2, 4, 5, 6, 7, 10 e 12 se enquadraram no período chuvoso, totalizando sete coletas, e as coletas 1, 3, 8, 9, 11,

13 e 14 se enquadraram no período de seca, totalizando sete coletas.

Foram representados nos *boxplots* da distribuição sazonal e distribuição espacial, apenas os 10 parâmetros que obtiveram p-valor inferior a 0,05 no teste de Kruskal-Wallis, conforme descrito na Tabela 2. Portanto, constata-se que os parâmetros temperatura, cor aparente, CT e OD são estatisticamente distintos entre os períodos secos e chuvosos (Tabela 2) e se encontram detalhados na Figura 3.

Na Figura 3a verifica-se que o CT no período chuvoso apresenta uma mediana superior se comparado ao período seco. Em 33% das amostras de CT analisadas houve valores acima do recomendado pela DN COPAM/CERH N° 01/2008. Destaca-se que os valores de CT para as águas doces de classes 1 e 2 na DN COPAM/CERH N° 08/2022 permaneceram os mesmos da DN COPAM/CERH N° 01/2008 apresentados na Figura 3a (Minas Gerais, 2008, 2022). A presença de CT indica degradação da qualidade da água devido à contaminação por material de origem fecal, fato que já havia sido constatado por Louzada *et al.* (2014) e Brovini *et al.* (2019). Silva, Celino e Alva (2016) comparando o período seco e o chuvoso, também observaram um aumento na contagem de coliformes devido ao maior índice pluviométrico, causado pelo carreamento de material fecal contribuindo, assim, para a contaminação microbiológica do local.

A cor aparente (Figura 3b) apresentou mediana de 168,0uC para o período chuvoso e de 93,5uC para o período seco. Em relação ao período seco, foram encontrados alguns valores muito discrepantes, que podem ter ocorrido por alguma interferência na margem do ribeirão. A influência do índice pluviométrico também foi percebida por Santos *et al.* (2017) e por Mendes e Ferreira (2014), que verificaram a relação entre a chuva e a cor aparente. Libânio (2010) observou a alta correlação da cor aparente, sólidos suspensos e turbidez no cenário com chuva. Contudo, ambos não foram estatisticamente relevantes, assim uma parcela pode ser devido a substâncias húmicas. Ainda segundo Libânio (2010), a cor é proveniente basicamente de duas fontes: (i) decomposição em maior magnitude de matéria orgânica vegetal e do metabolismo de microrganismo presente no solo; e (ii) de atividades antrópicas. Um estudo no rio Mississipi corrobora a afirmação anterior em que

80% era advindo de matéria orgânica em virtude de substâncias húmicas e 15% de atividades antrópicas

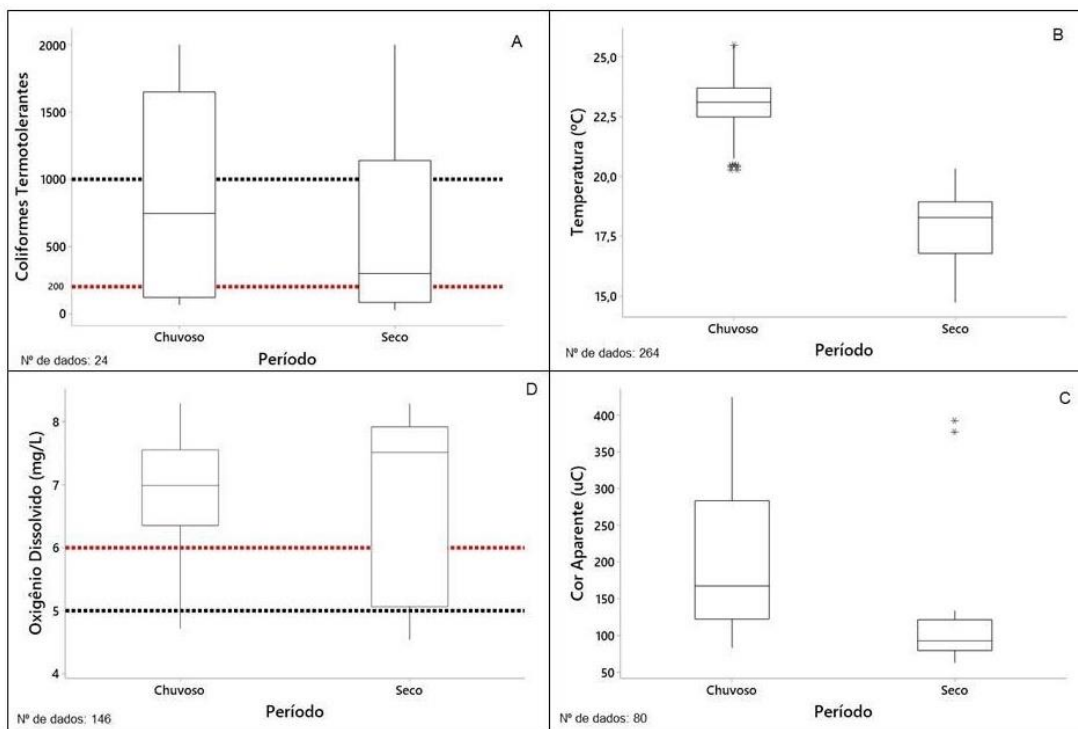
(Cohn; Cox; Berger, 1999).

Tabela 2 - Análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis a 95% de confiança dos parâmetros de qualidade da água para localização dos pontos (espacial) e estação seca e chuvosa (sazonal)

Parâmetros	P-valor	
	Espacial	Período
SDT	0,001	0,256
Salinidade	0,000	0,962
Turbidez	0,315	0,665
Cor Aparente	0,071	0,000
CE	0,000	0,362
DQO	0,000	0,736
Coliformes Termotolerantes	0,128	0,029
DBO	0,029	1,000
Nitrogênio Total	0,273	0,103
OD	0,528	0,041
Sólidos Totais	0,029	0,414
Temperatura	0,358	0,000
Fósforo Total	0,991	0,194
pH	0,758	0,542

SDT: Sólidos dissolvidos totais; CE: condutividade elétrica; DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; pH: potencial hidrogeniônico. Fonte: autoria própria.

Figura 3 - Variação sazonal das variáveis: a) Coliformes termotolerantes; b) Cor aparente; c) Temperatura; d) Oxigênio dissolvido



Limites estabelecidos pela DN COPAM Nº 01/2008: Linha em vermelho indica Classe 1 e linha preta indica Classe 2. Fonte: autoria própria.

A Figura 3c apresenta a variação da temperatura nos períodos amostrados. A temperatura oscilou no período chuvoso com valor máximo de 25,4°C e valor mínimo de 20,7°C; já no período seco a máxima foi de 20,3°C e a mínima de 14,7°C. Segundo Santos *et al.* (2018), o aumento da temperatura ambiente modifica a temperatura da água, e essa por sua vez influencia nos processos químicos e biológicos, o que afeta outros parâmetros.

O oxigênio dissolvido (Figura 3d) apresentou medianas de 6,9mg/L e 7,5mg/L para o período chuvoso e seco, respectivamente. Considerando que a redução da temperatura aumenta a solubilidade dos gases, a variação de ambos os parâmetros pode estar relacionada (Santos *et al.*, 2018). Em sua maioria, os valores de OD se apresentaram em conformidade com os limites estabelecidos pela DN COPAM/CERH N° 01/2008, de 6 mg/L para classe 1 e 5 mg/L para classe 2, limites esses que também se mantiveram na DN COPAM/CERH N° 08/2022 (Minas Gerais, 2008; 2022). Contudo, 8,2% das amostras estiveram em desconformidade, sendo encontrados valores mínimos de 4,7 mg/L e 4,5 mg/L para o período chuvoso e seco, respectivamente. Para Von Sperling (2018), a redução da concentração de oxigênio no meio pode causar mortalidade de diversos seres aquáticos, inclusive peixes. De acordo com a distribuição espacial, os seguintes parâmetros foram significativos: CE, SDT, salinidade, DBO, ST e DQO (Tabela 2).

Os *boxplots* da distribuição espacial estão ilustrados na Figura 4. Para P1, os valores de medianas para CE, SDT, salinidade, DBO, ST e DQO foram 29µS/cm, 15ppm, 0,01‰, 3,45mg/L, 54,6mg/L e 12mg/L, respectivamente, e para P2 obtiveram-se valores de 31µS/cm, 14,5ppm, 0,01‰, 3,5mg/L, 93,5mg/L e 11mg/L, nessa ordem. Pode-se notar que esses parâmetros obtiveram variação pouco expressiva de P1 para P2, validando o resultado obtido no teste de Dunn, no qual tais pontos não obtiveram diferenças estatísticas significativas. Como P1 está localizado após uma área residencial e há atividade agropecuária no seu entorno, este possivelmente está relacionado com a carga orgânica encontrada, representada pela DBO e DQO (Silva *et al.*, 2017). O P2 está localizado a jusante da captação de água da ETA e próximo ao meio urbano com a presença de poucas indústrias,

assim sofre influência dos despejos das mesmas (Silva *et al.*, 2017).

Os valores dos parâmetros citados para o trecho correspondente ao P3, obtiveram diferença estatística significativa no Teste de Dunn. Para o ponto 3 foram obtidos valores significativamente maiores, se comparados com o ponto 1 e o ponto 2, exceto para o ST que obteve diferença estatística significativa maior no P1. Em relação a DBO e DQO, o P3 se diferencia dos demais devido a sua localização ser a jusante do lançamento de efluentes industriais, acarretando na elevada contribuição de matéria orgânica no corpo d'água. Fato esse também evidenciado nos estudos de Silva *et al.* (2017) e Silva *et al.* (2018). A DBO e a DQO apresentaram medianas de 10,2mg/L e 66,4mg/L, respectivamente. Enquanto os parâmetros CE e SDT apresentaram valores de mediana de 47µS/cm e 42,5ppm, respectivamente. Destaca-se que a CE se relaciona à concentração de SDT e segundo Libânio (2010), águas naturais apresentam usualmente CE inferior a 100ps/cm, podendo atingir 1000µs/cm em corpos d'água receptores de elevadas cargas de efluentes domésticos e industriais. Quanto à salinidade, o valor de mediana foi de 0,04‰; esse aumento pode ser devido a intrínseca relação com CE e a concentração de cátions e ânions (Libânio, 2010). Com relação ao ST, o valor mediano encontrado foi de 99,9mg/L.

Assim como reportado nos estudos realizados por Santos *et al.* (2018) e por Pinto (2015), os valores encontrados para SDT nos três trechos analisados estiveram 100% em conformidade com os valores estabelecidos pela DN COPAM/CERH N° 01/2008, que estabelecia um valor máximo de 500mg/L de SDT para águas doces enquadradas como 1 e 2, esse valor máximo permitido foi mantido na DN COPAM/CERH N° 08/2022 para as águas de classes 1 e 2 (Minas Gerais, 2008, 2022). Para a DBO, os valores das medianas estiveram acima do recomendado pela legislação em todos os trechos. O ponto 1 apresentou em 16,1% das coletas desconformidade com o padrão estabelecido para as águas de classe 1, de 3mg/L. Quanto ao ponto 2 e 3, 12,9% e 29,1% das amostras encontraram-se, respectivamente, fora do padrão estabelecido para águas de classe 2, de 5mg/L. Destaca-se que assim como o SDT, os valores máximos permitidos para águas doces enquadradas em Minas Gerais como 1 e 2 para DBO pela DN COPAM/CERH N° 01/2008,

foram mantidos na DN COPAM/CERH N° 08/2022 (Minas Gerais, 2008, 2022). Com relação aos parâmetros CE, DQO e ST não há valores de referência estabelecidos tanto na DN COPAM/CERH N° 01/2008, quanto na DN COPAM/CERH N° 08/2022 (Minas Gerais, 2008, 2022).

3.3 Análise Estatísticas Multivariadas

Primeiramente, determinaram-se as variáveis que apresentaram baixa ou nenhuma correlação com os demais parâmetros, por meio da análise de correlação de Spearman (Tabela 3). Constatou-se que as variáveis OD e fósforo total não obtiveram nenhum coeficiente de correlação acima de 0,5, valor mínimo considerado por Helena *et al.* (2000) como uma forte relação entre as variáveis de qualidade de água, sendo então excluídas da AF. Valores próximos de -1 ou de +1, tornam melhor o ajuste dos dados observados, e quanto mais próximo de 0, pior o ajuste (Von Sperling, 2018). Além disso, as variáveis pH, temperatura, CT e DBO, apresentaram apenas um coeficiente de correlação superior a 0,5. Visto que CT é o único parâmetro biológico incluído no estudo e DBO é uma das variáveis mais utilizadas para a indicação de qualidade da água (Rocha; Pereira, 2016), esses foram mantidos, sendo excluídos também pH e temperatura. Observou-se ainda que as variáveis DQO, CE, salinidade e SDT apresentaram os maiores coeficientes de correlação com o maior número de variáveis. Sendo assim, a AF foi realizada com 10 dos 14 parâmetros inicialmente colocados em análise.

Com o teste de esfericidade de Bartlett (p -valor $< 0,05$) foi possível verificar a existência de correlação entre as variáveis e o KMO obteve um valor aceitável de 0,613, demonstrando a adequação da amostra para a aplicação da análise fatorial. Os resultados da AF utilizando o método de Análise dos Componentes Principais revelou duas componentes rotacionadas fatoriais (CF), sendo que a variância acumulada foi de 86,6% (Tabela 4).

A primeira componente fatorial (CF1) apresentou uma contribuição para explicação da variância total do conjunto amostral de aproximadamente 56,5%. As variáveis mais expressivas desse fator foram CE e SDT, ambas com autovalor de 0,997, seguida de salinidade com autovalor de 0,996, DBO com 0,994, DQO com

autovalor de 0,981 e o último foi o parâmetro ST, com autovalor de 0,929 (Tabela 4). É válido ressaltar que, foram exatamente esses parâmetros que se mostraram significantes na análise espacial discutida anteriormente. Sendo assim, é possível concluir que os mesmos são de grande importância na caracterização da qualidade da água do ribeirão Espírito Santo.

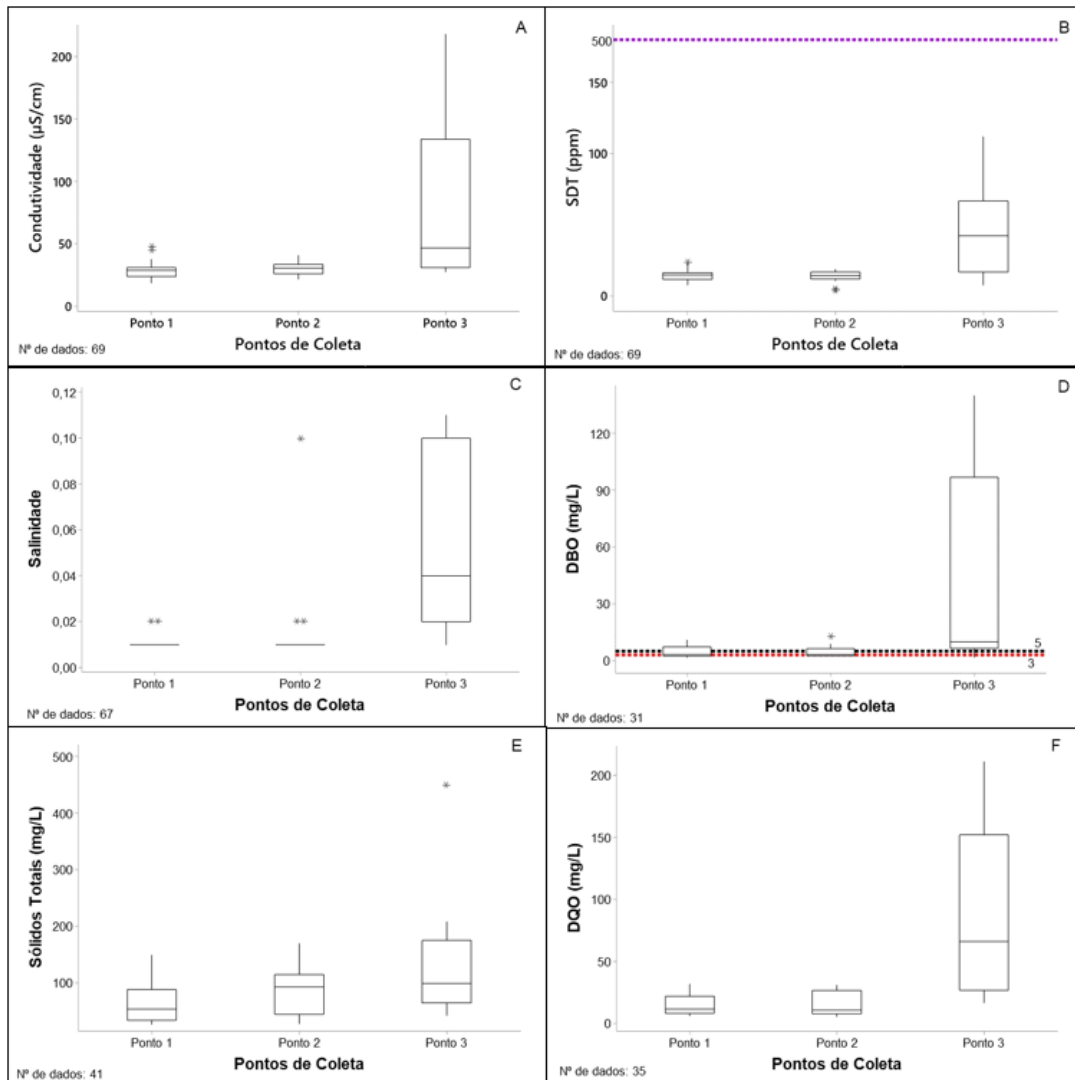
As variáveis CE, salinidade e SDT indicam a presença de sólidos dissolvidos na água, sendo que, a última variável citada representa ainda uma parcela dos ST. Os ST apresentam relação com condutividade elétrica, que por sua vez representa a capacidade da água de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, com isso está associada à concentração de SDT e à salinidade (Florencio; Bastos; Aisse, 2006).

As demais variáveis da CF1, DBO e DQO, como já dito, revelam a presença de matéria orgânica na água, possivelmente decorrente dos despejos domésticos e industriais que ocorrem no ribeirão ES. Portanto, tais variáveis são indicativas de poluição por lançamento de efluentes. Esse indicativo de poluição se torna ainda mais evidente se forem observados estudos como o Silva *et al.* (2017), Silva *et al.* (2018) e Santos *et al.* (2020) que afirmam que há lançamentos de efluentes ao longo do ribeirão Espírito Santo.

As variáveis citadas que constituíram o primeiro fator estão todas interligadas e indicam a poluição do ribeirão Espírito Santo por matéria orgânica e sólidos dissolvidos. Tais correlações encontradas por esse fator ocorrem devido à presença de partículas ionizadas, e também foram registradas por Sampaio *et al.* (2007), no estudo de diferentes águas residuárias.

A segunda componente fatorial (CF2) explicou 30,1% da variância total das variáveis originais, tendo como variáveis mais expressivas a cor aparente com autovalor de -0,935, seguida da turbidez com -0,878, nitrogênio total com autovalor de -0,855 e por fim CT com -0,575. A partir da observação da Tabela 3, nota-se que o nitrogênio total se correlacionou com CT e cor aparente, podendo os mesmos serem advindos da mesma fonte de poluição. Ademais, a cor aparente apresenta-se altamente correlacionada com a turbidez, já que no valor da cor aparente está incluída uma parcela devido a turbidez da água (Santos *et al.*, 2018).

Figura 4 - Variação espacial das variáveis: a) Condutividade elétrica; b) Sólidos Dissolvidos Totais (SDT); c) Salinidade; d) DBO (demanda bioquímica de oxigênio); e) Sólidos Totais e f) DQO (demanda química de oxigênio)



Limites estabelecidos pela DN COPAM Nº 01/2008: Linha vermelha indica Classe 1, linha preta indica Classe 2 e linha roxa indica as duas classes. Fonte: autoria própria.

Todos os parâmetros indicados neste fator como mais expressivos, apresentam em comum fontes de poluição de origem antrópica (Von Sperling, 2018). O uso e ocupação do solo estão entre as principais fontes geradoras de cargas difusas que estão associadas à ação antrópica (Souza, 2012). Atividades agrícolas e pecuárias, relacionadas a elevadas precipitações, tendem a aumentar o processo de erosão do solo e a quantidade de poluentes transportados através dos escoamentos superficiais (Huang; Xia, 2001). Tal fato foi observado no estudo feito por Haddad (2007), o qual

concluiu que houve uma relação entre o uso do solo para atividades agropecuárias com a elevação da turbidez e de CT, sendo esse aumento intensificado em períodos de chuvas, gerando assim uma piora na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, no estado de Minas Gerais.

Os parâmetros CT e cor aparente obtiveram elevada correlação com a sazonalidade, como pôde ser observado na Figura 3. Portanto, podem estar sendo influenciados pelo carreamento de sólidos no período chuvoso, caracterizando-se como uma poluição difusa. Essa mesma correlação, incluindo

ainda a turbidez, também foi observada por Silva *et al.* (2018) em seu trabalho de monitoramento dos trechos susceptíveis à degradação da qualidade da água, tendo como objeto de estudo o próprio ribeirão Espírito Santo.

O carreamento de sólidos é ainda intensificado com a ausência de cobertura vegetal na superfície do curso d'água, causando assoreamento devido aos processos erosivos ocorridos previamente, e consequentemente degradando a qualidade das águas (Santos *et al.*, 2018). Portanto, tal fato pode também estar associado com a presença de turbidez e nitrogênio nesta componente, já que parte das

áreas circundantes do ribeirão Espírito Santo se apresentam sem cobertura vegetal. Com matas ciliares escassas, o solo fica exposto, ocasionando a erosão do mesmo, e assim diminuindo o poder de absorção de água pelo solo (EMBRAPA, 2020). Com isso, a água passa a escoar superficialmente, aumentando a probabilidade de carreamento de sólidos até o corpo receptor, tornando a água mais turva e trazendo para o curso d'água compostos nitrogenados que estavam presentes no solo que foi erodido, sendo essa também uma fonte difusa de poluição.

Tabela 3 - Matriz de correlação das variáveis de qualidade da água do ribeirão Espírito Santo

Variável	pH	SDT	Salin.	Turb.	Cor Ap.	CE	Temp	DQO	CT	OD	FT	DBO	ST	NT
pH	1,00													
SDT	0,13	1,00												
Salin.	0,12	0,72	1,00											
Turb.	-	0,55	0,19	1,00										
Cor Ap.	-	0,20	0,13	0,35	1,00									
CE	0,09	0,96	0,69	0,21	0,16	1,00								
Temp.	-	0,13	0,03	0,19	0,23	0,69	1,00							
DQO	-	0,08	0,51	0,58	0,31	0,30	0,55	1,00						
CT	-	0,00	0,23	0,20	0,04	0,44	0,32	0,48	1,00					
OD	-	0,20	0,18	-0,07	0,01	0,43	0,21	-0,31	0,03	1,00				
FT	-	0,39	0,19	0,13	0,16	0,16	0,21	0,15	0,17	0,13	1,00			
DBO	-	0,40	0,23	0,49	-0,05	0,08	0,27	0,21	0,63	0,07	0,05	1,00		
ST	-	0,19	0,53	0,47	0,44	0,30	0,56	0,08	0,62	0,24	0,06	0,49	1,00	
NT	-	0,21	0,04	0,17	0,37	0,53	0,02	0,29	0,39	0,51	0,07	0,26	0,08	1,00

pH: potencial hidrogeniônico; SDT: sólidos dissolvidos totais; Salin.: salinidade; Turb.: turbidez; Cor Ap.: cor aparente; CE: condutividade elétrica; Temp.: temperatura; DQO: demanda química de oxigênio; CT: coliformes termotolerantes; OD: oxigênio dissolvido; FT: fósforo total; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; ST: sólidos totais; NT: nitrogênio total. Fonte: autoria própria.

Tabela 4 - Cargas fatoriais da matriz transformada pelo método de rotação Varimax

Parâmetros	Componente Fatorial (CF)		
	CP1	CP2	CF comum
SDT	0,997	-0,026	0,995
Salinidade	0,996	-0,040	0,994
Turbidez	0,053	-0,878	0,773
Cor Aparente	0,155	-0,935	0,899
CE	0,997	-0,057	0,998
DQO	0,981	-0,112	0,975
Coliformes Termotolerantes	0,075	-0,575	0,336
DBO	0,994	-0,012	0,988
Nitrogênio Total	-0,043	-0,855	0,733
Sólidos Totais	0,829	-0,527	0,965
Autovalor	5,653	3,004	8,657
% Variância explicada	0,565	0,301	0,866
% Variância acumulada	0,565	0,866	0,866

SDT: Sólidos dissolvidos totais; CE: condutividade elétrica; DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; CP: componente fatorial; CF: componente fatorial. Fonte: autoria própria.

Sendo assim, no caso do ribeirão Espírito Santo verifica-se uma influência da sazonalidade na contaminação do corpo receptor, parte devido à alteração de temperatura a qual afeta o OD, como mencionado anteriormente, e outra devido à influência das chuvas que acabam carregando material de origem fecal, nutrientes e sólidos dissolvidos que causam cor para o corpo receptor.

Em outra vertente, verifica-se que são o uso e ocupação do solo que determinam a outra fonte de poluição, ou seja, nitidamente, o lançamento de efluentes industriais e domésticos advindos do distrito industrial que elevam a carga de sólidos dissolvidos e matéria orgânica. Esses mesmos parâmetros demonstraram grande influência na degradação do corpo receptor, correspondendo a 56% das variações. A outra componente destacou parâmetros importantes como cor aparente e coliformes termotolerantes, que foram previamente atribuídos à variação sazonal sendo carregados para os corpos receptores junto com a chuva. Contudo, a última componente citada também está relacionada com o uso e ocupação do solo, já que as atividades agropecuárias associadas a elevados índices pluviométricos influenciam diretamente a ocorrência significativa de determinados parâmetros na água, como o nitrogênio.

3.4 Diagnóstico Socioeconômico-ambiental

A partir dos resultados apresentados, pode-se ressaltar importantes implicações sociais, econômicas e ambientais. A ocupação desordenada e as atividades realizadas no entorno do ribeirão Espírito Santo, sendo esse um manancial de abastecimento com relevante participação no abastecimento público da cidade, comprometem substancialmente a qualidade da água do mesmo (Costa, 2016), como demonstrado nos resultados apresentados nesse estudo. A poluição causada nesse manancial de abastecimento, pode elevar os custos do tratamento da água, visto que haverá um maior gasto com produtos químicos a fim de tornar a água potável visando o consumo humano. Assim sendo, poderá ocasionar um aumento nas contas de água, uma vez que o tratamento da mesma se torna mais oneroso, implicando econômica e socialmente na vida da população.

O crescimento econômico é, e sempre será, uma prioridade para os poderes públicos, não sendo diferente no Brasil. Contudo, a disponibilidade e qualidade hídrica se configura no principal fator limitante do desenvolvimento socioeconômico, uma vez que a água é um insumo indispensável para realização das principais atividades econômicas do país. Sendo assim, a gestão adequada dos recursos

hídricos é uma prática imprescindível ao alcance do preconizado desenvolvimento sustentável e consequente desenvolvimento socioeconômico (IPEA, 2020). À vista disso, estudos como esse corroboram para a construção de uma visão sistêmica da realidade e na busca por novas alternativas de produção de água e conservação da disponibilidade e qualidade hídrica, que são essenciais para o crescimento e manutenção do distrito industrial da cidade de Juiz de Fora.

Ademais, é válido ressaltar que a aplicação de análises multivariadas indica a análise apenas dos parâmetros significativos para a caracterização do curso d'água. Dessa forma, no presente estudo houve a redução de 14 para 10 parâmetros de qualidade da água ao ser aplicada a análise multivariada nos dados. Em vista disso, para as próximas campanhas de amostragem pode-se poupar recursos financeiros e esforços atrelados a coleta, análises no laboratório e recursos com a priorização dos parâmetros identificados como relevantes na caracterização da qualidade da água do ribeirão Espírito Santo. Dessa forma, além dos resultados encontrados serem mais condizentes com a realidade deste importante curso d'água, induzirão a uma economia, podendo trazer grandes benefícios à comunidade e proporcionando a elaboração de planos de ações para a conservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável.

Os resultados também evidenciam implicações ambientais, como o impacto sob a comunidade aquática do ribeirão devido à poluição tanto por efluentes quanto por sólidos dissolvidos, influenciando na redução de oxigênio e, assim, podendo provocar a morte de espécies aquáticas, diminuição da diversidade e modificar os ciclos de vida dos seres vivos presentes neste meio. O efeito do assoreamento também pode ocorrer devido ao carreamento de sólidos, levando à redução da profundidade do rio, que pode afetar a quantidade de água disponível no mesmo, além da diminuição da transparência devido ao aumento dos sólidos. Outro grande problema é a contaminação por microrganismos termotolerantes, que implicam em uma piora da qualidade da água bruta da ETA e aumentam os riscos de distribuição de uma água inadequada, no caso de falhas durante o tratamento, e também em riscos para a saúde da população que entra em contato com essas águas, como por exemplo, na prática de balneabilidade.

Tendo em vista os aspectos apresentados, faz-se necessário que estudos de monitoramento dos recursos hídricos, como o apresentado no presente trabalho, sejam contínuos. Além disso, é imprescindível que esses estudos busquem gerar resultados que contemplem aspectos ambientais, sociais e econômicos, sendo esses os três pilares para o desenvolvimento sustentável.

4 CONCLUSÃO

Observou-se uma variabilidade sazonal e espacial no ribeirão Espírito Santo. A não conformidade com a legislação dos parâmetros CT e OD foi observada no período chuvoso devido principalmente à poluição difusa decorrentes do uso e ocupação do solo. Outra variável que não esteve dentro dos padrões estabelecidos foi a DBO, em função do lançamento de efluentes.

A análise estatística multivariada evidenciou ser relevante no comportamento dos parâmetros físico-químicos para o corpo d'água, por possibilitar matematicamente a identificação dos parâmetros responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. A partir da análise de componentes principais foi possível determinar dois grupos de componentes: o primeiro identificou as variáveis CE, salinidade, DBO, DQO e ST, como indicadores de poluição por matéria orgânica e sólidos dissolvidos; enquanto o segundo grupo evidenciou os parâmetros cor aparente, turbidez, nitrogênio total e CT como indicadores de poluição difusa pelo carreamento de sólidos.

Assim, verificam-se impactos ambientais, sociais e econômicos nesta bacia hidrográfica que precisa de atenção para melhorar a qualidade da água com foco no tratamento dos efluentes advindos do distrito industrial e implementação de ações que visem conter a poluição difusa, de forma a minimizar o carreamento de sólidos dissolvidos e de material fecal para o corpo receptor.

5 AGRADECIMENTOS

Ao 4º Batalhão de Bombeiros Militar – Juiz de Fora. Ao LAQUA da UFJF. À Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da UFJF. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Ao Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Civil (PEC) da UFJF e à UFJF pela bolsa de mestrado concedida.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9897**: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9897**: preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987b.

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: De Nimer (1977) à zona de convergência do Atlântico Sul. **Geonomos**, v. 6, n. 2, p. 17-22, 1998.

ÁGUAS, T. A.; SILVA, Y. F.; MAIA, N. J. C.; BRAZ, A. M. Análise multivariada para caracterização da qualidade da água próxima a uma pequena central hidroelétrica. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, v. 1, n. 31, p. 66-85, 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. American Public Health Association, Washington, DC: APHA, 2017.

ARRUDA, J. N.; ARAÚJO, E. S.; LEAL, A. P. B.; OLIVEIRA, K. S.; ARAÚJO JÚNIOR, A. J. S.; MOREIRA, F. N. C.; CORRÊA, M. S. Monitoramento da qualidade da água do rio Araguaia em Conceição do Araguaia-PA: caracterização do manancial em termos de qualidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 5, p. 15507-15516, 2023.

BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; RODRIGUES, A. S. L.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. **Revista Biociências**, v. 16, n. 1, p. 57-72, 2010.

BRASIL. Ministério do Interior. **Portaria Minter nº 86, de 4 de junho de 1981**. Enquadra os cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Brasília, DF: Ministério do Interior, 1981.

BRITO, D. C. **Aplicação do sistema de modelagem da qualidade da água QUAL2KW em grandes rios: o caso do alto e médio Araguari – AP**. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2008.

BROVINI, E. M.; RESENDE, N. S.; SILVA, I. R.; PEREIRA, R. O.; GOMES, M. H. R.; CARDOSO, S. J. Avaliação temporal da comunidade fitoplanctônica e características limnológicas do Ribeirão Espírito Santo, em Juiz de Fora – MG. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL, III, 2018, Juiz de Fora. **Anais [...]** Juiz de Fora: UFJF, 2018. n.p.

BROVINI, E. M.; MOREIRA, G. S. V. S.; RESENDE, N. S.; CARDOSO, S. J.; PEREIRA, R. O.; GOMES, M. H. R. Avaliação temporal da quantidade e da quantidade físico-química e biológica das águas do ribeirão Espírito Santo. **Principia – Caminhos da Iniciação Científica**, v. 19, n. 2, 2019.

CARVALHO, K. Q.; LIMA, S. B.; PASSIG, F. H.; GUSMÃO, L. K.; SOUZA, D. C.; KREUTZ, C.; BELINI, A. D.; ARANTES, E. J. Influence of urban area on the water quality of the Campo River basin, Paraná State, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, suppl. 2, p. 96-106, 2015.

CESAMA. COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL. **Mananciais**: Ribeirão Espírito Santo. Juiz de Fora, MG. Juiz de Fora (MG): CESAMA/PMJF. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/mananciais/ribeirao-do-espirito-santo-2>>. Acesso em: 22 fev. 2024.

CINTRA, L. S.; OLIVEIRA, C. R.; COSTA, D. A.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. Monitoramento de parâmetros de qualidade da água do Rio Paraíba do Sul em Campos dos Goytacazes – RJ. **Holos**, v. 5, e9564, 2020.

COHN, P. D.; COX, M.; BERGER, P. S. Health and Aesthetic Aspects of Water Quality. In: LETTERMAN, R. D. (org.). **Water Quality and Treatment**. 5. ed. Denver: McGRAW-HILL, INC, 1999, Cap. 2, p. 2.1-2.86.

COSTA, H. F. **Monitoramento da qualidade da água e do uso e cobertura da terra na bacia de contribuição da represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG) no período de 2005 a 2015**. 2016. 72 f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

CENTRO DE PESQUISAS SOCIAIS UFJF. **Anuário estatístico de Juiz de Fora 2009**. Juiz de Fora (MG): CPS/UFJF, 2009. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/cidade/anuario_2009/index.html>. Acesso em: 17 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agência de Informações EMBRAPA**. Disponível em: <<https://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=243&func=unid>>. Acesso em: 9 ago. 2020.

FERNANDES, P. A. A.; MOTA, V. R.; VARGAS, V. R.; MENDES, A. A.; PEREIRA, R. O.; GOMES, M. H. R. Monitoramento da qualidade da água do ribeirão das Rosas em Juiz de Fora – MG. **Principia – Caminhos da Iniciação Científica**, v. 20, n. 1, 2020.

FIGUEIREDO, R. R.; AZEVEDO, A. A.; OLIVEIRA, P. M. Análise da correlação entre a escala visual-análoga e o Tinnitus Handicap Inventory na avaliação de pacientes com zumbido. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, v. 75, n. 1, p. 76-79, 2009.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Projeto PROSAB. 427 p. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FREITAS, A. R. Degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio das Antas, Sudeste do Paraná: análise quantitativa e qualitativa mediante a utilização da metodologia do IDA. **Revista GEOgrafias**, v. 16, n. 1, 2020.

HADDAD, E. A. **Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais**. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

HAIR, J. F. J.; BLAC, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEJA, M. BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal Evolution of groundwater composition in na aluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v. 34, n. 3, p. 807-816, 2000.

HUANG, G. H.; XIA, J. Barriers to sustainable water-quality management. **Journal of Environmental Management**, v. 61, n. 1, p. 1-23, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/pesquisa/23/25207?tipo=ranking&ano=2010&indicador=25191>>. Acesso em: 10 fev. 2020a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Taxa de crescimento da população 2018-2019**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2018-2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-detalhe-de-midia.html?view=mediaibge&catid=2103&id=3100>>. Acesso em: 10 fev. 2020b.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos**: Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Brasília, DF: INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 17 mar. 2020.
INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Fórum IPEA de mudanças climáticas**: Seminário aborda relação da água com

o desenvolvimento econômico. Brasília, DF: IPEA, 1 e 2 set. 2010. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/mudancaclimatica/index.php?option=com_content&view=article&id=4&catid=4&Itemid=5>. Acesso em: 29 abr. 2020.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583-621, 1952.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

LIBOS, N. M. C.; PINHEIRO, A.; GIRARDI, R. Análise Espacial de Dados de Monitoramentos de Qualidade de Água em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 02, p. 672-687, 2023.

LIMA, W. R.; OLIVEIRA, K. S.; TAVARES, J. L. Avaliação do índice de estado trófico de corpos hídricos na bacia hidrográfica do rio Apodi – Mossoró/RN, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 45, n. 3, p. 49-67, 2023.

LOUZADA, V. M.; SANTOS, J. M. B.; PEREIRA, R. O.; PEREIRA, L. O. Diagnóstico do potencial poluidor das indústrias instaladas na cidade de Juiz de Fora. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XII, 2014, Fortaleza. **Anais [...]** Natal: ABES, 2014. n.p.

MAIA, K. P.; SILVA, G. A.; LIBÂNIO, M. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 1013-1025, 2019.

MENDES, L. S.; FERREIRA, I. M. Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba – MG. **HYGEIA – Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 10, n. 19, p. 97-105, 2014.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa COPAM nº 016, de 24 de setembro de 1996**. Dispõe sobre o enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraibuna. Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 02/10/1996. Minas Gerais, MG. 1996.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais, MG. 2008.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8, de 21 de novembro de 2022**. 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.. Minas Gerais, MG, 2022.

OLIVEIRA T. A.; TAVARES, C. M. G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C. C. M. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de Fora – MG no período de 1910-2018: Investigação a partir da técnica do box plot. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 457-478, 2020.

OLIVEIRA, V. C.; SILVA, L. F.; REZENDE, B. N.; SANTOS, I. C. L.; MALTEZ, M. A. P. F.; OLIVEIRA, C. E. A. Uso de estatística multivariada para avaliação de parâmetros de qualidade da água na Bacia do Rio Paracatu. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 2, p. 71-85, 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (BRASIL). **Glossário de termos do objetivo de desenvolvimento sustentável 6: assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos**. Brasília, DF: 2018. Disponível em: <<https://www.institutobrasilrural.org.br/download/20200425201514.pdf>>. Acesso em: 9 fev. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (BRASIL).

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Água Potável e Saneamento. Brasília, DF: 2024.

Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>>.

Acesso em: 22 fev. 2024.

OKUMURA, A. T. R.; SILVA, A. G.; SILVA, N. R. S.; LOPES, E. R. N.; BIFANO, R. B. A.; QUILENATO, R. V. Determinação da qualidade da água de um rio tropical sob a perspectiva do uso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1835-1850, 2020.

PINTO, V. G.; LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; MACHADO, P. J. O. Diagnóstico físico-ambiental como subsídio a identificação de áreas vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 4, p. 632-646, 2014.

PINTO, V. G. **Modelagem ecohidrológica e caracterização biótica e abiótica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo**. 2015. 321 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.

QUEIROZ NETO, J. C.; ALBUQUERQUE, C. C.; BATISTA, I. H. Qualidade da água e definição de parâmetros preponderantes para monitoramento no Rio Puraquequara, Manaus, Amazonas, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 41, e66628, p. 316-336, 2023.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 176-187, 2016.

RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; PAIVA, A. L. R.; MOTTERAN, F.; OLIVEIRA, L. M. M.; SILVA FILHO, J. A.; PESSOA, J. O. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 6, p. 3013-3031, 2022.

RODRIGUES, L. C.; NEVES, S. M. A. S.; SCHAFFRATH, V. R.; KREITLOW, J. P. Indicadores de sustentabilidade ambiental sistematizados pelo modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) na Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu, PR. **RA'EGA**, v. 50, p. 62-83, 2021.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; ALMEIDA, K. C. B. Uso de métodos estatísticos robustos na análise ambiental. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, spe, p. 87-94, 2014.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO, M. G.; FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Irriga**, v. 12, n. 4, p. 569-574, 2007.

SANTOS, E. S. **Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água em região de pororoca na foz do rio Araguari – AP**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Fundação Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2012.

SANTOS, J. M. B.; SILVA, I. R.; MOREIRA, G. S. V. S.; TOLEDO, Q. L. L.; BENEDITO, Y. V. M.; VASCONCELO, D.; SOARES, J. H. P.; GOMES, M. H. R.; PEREIRA, R. O. Diagnóstico do potencial poluidor das indústrias instaladas na cidade de Juiz de Fora – Distrito Industrial. **Principia: Caminhos da Iniciação Científica**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2018.

SANTOS, J. M. B.; SILVA, I. R.; PEREIRA, R. O.; GOMES, M. H. R. Análise da variação temporal de cor, turbidez e sólidos no Ribeirão Espírito Santo e avaliação crítica de equações de correlação entre sólidos e turbidez. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL REDE DE SANEAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA, III, 2017, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: RESAG, 2017. n.p.

SANTOS, J. M. B.; SILVA, I. R.; GOMES, M. H. R.; PEREIRA, R. O. VARIAÇÃO DO IQA E ICE NO RIBEIRÃO ESPIRITO SANTO-MG. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 460, 2020.

SILVA, A. C. R.; CELINO, J. J.; ALVA, J. C. R. Sazonalidade na Qualidade Físico-Química e

Microbiológica das Águas de Fontes Naturais de Salvador, Bahia. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 3, p. 576-587, 2016.

SILVA, I. R.; ALVES, A. G. M.; RIBEIRO, C. B. M.; PEREIRA, R. O.; GOMES, M. H. R. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade das águas da bacia do Ribeirão Espírito Santo, Juiz de Fora – MG. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL, III, 2018, Juiz de Fora. **Anais [...]** Juiz de Fora: UFJF, 2018. n.p.

SILVA, I. R.; BROVINI, E. M.; PEREIRA, R. O.; GOMES, M. H. R. Monitoramento de trechos susceptíveis à degradação da qualidade da água no ribeirão espírito santo - Juiz de Fora, ao longo de quatro anos. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL REDE DE SANEAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA, III, 2017, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: RESAG, 2017. n.p.

SILVA, P. R.; MINOTI, R. T. Alterações no uso e ocupação do solo e os impactos nas vazões de bacias hidrográficas agrícolas afluentes ao reservatório do Descoberto (DF/GO). **Geociências**, v. 42, n. 1, p. 13-30, 2023.

SOUSA, D. G.; MARQUES, D. S.; SANTOS, V. S.; SOUSA, A. C.; FIGUEIREDO, G. A. Aplicação de técnicas de análise exploratória no monitoramento da qualidade da água do rio Cuiá, João Pessoa-PB. **Ambiência**, v. 15, n. 1, p. 131-145, 2019.

SOUZA, M. M. **Carga de poluição difusa em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos**. 2012. 181 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

THOMAZ, D.; CENTENO, L. N.; CECCONELLO, S. T. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água do Rio Comandaí, através do Índice de Qualidade da água. **Revista Thema**, v. 22, n. 1, p. 79-103, 2023.

TRINDADE, A. L. C. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco**. 2013. 165 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

VIANA, C. M.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; GUTERRES, D. S.; VIEIRA, B. M. Avaliação da qualidade da água através da análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e do índice de violação: estudo de caso do rio Arroio Grande e da Praia do Pontal – RS. **Revista Ambientale**, v. 15, n. 1, p. 30-39, 2023.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Vol. 1). 4. ed. 472 p. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guidelines for Hydrological Data Rescue, 1146, 39**. 2014. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/guidelines_hydrological_dr/wmo_1146_en.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2020.