



DIEGO VIPA AMÂNCIO

**QUANTIDADE E QUALIDADE DE ÁGUA EM NASCENTES E
CURSOS D'ÁGUA NO MUNICÍPIO DE JACUTINGA, MG**

**LAVRAS – MG
2022**

DIEGO VIPA AMÂNCIO

**QUANTIDADE E QUALIDADE DE ÁGUA EM NASCENTES E CURSOS D'ÁGUA
NO MUNICÍPIO DE JACUTINGA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, área de concentração em Hidrologia, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Gilberto Coelho
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Amâncio, Diego Vipa.

Quantidade e qualidade de água em nascentes e cursos d'água
no município de Jacutinga, MG. / Diego Vipa Amâncio. - 2022.
93 p. : il.

Orientador(a): Gilberto Coelho.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. Qualidade de água. 2. Modelos estatísticos. 3. Poluições
difusas e pontuais. I. Coelho, Gilberto. II. Título.

DIEGO VIPA AMÂNCIO

**QUANTIDADE E QUALIDADE DE ÁGUA EM NASCENTES E CURSOS D'ÁGUA
NO MUNICÍPIO DE JACUTINGA, MG**

**WATER QUANTITY AND QUALITY IN SPRINGS AND WATER COURSES IN
THE MUNICIPALITY OF JACUTINGA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, área de concentração em Hidrologia, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 04 de maio de 2021.

Dra. Livia Alves Alvarenga

UFLA/MG

Dr. Mateus Pimentel de Matos

UFLA/MG

Dra. Camila Silva Franco

UFLA/MG

Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques UNINCOR – TRÊS CORAÇÕES/MG

Prof. Dr Gilberto Coelho
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

Aos meus pais, meus verdadeiros heróis e exemplos de vida.

*Agradeço de coração todo o ensinamento, educação
e perseverança nos objetivos que a vida me proporciona.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Vicente de Paulo Amâncio (Vipa) e Marlene Verônica, pelo amor, confiança, incentivos prestados para a realização desse trabalho.

Às minhas irmãs Heloísa e Maria Mara, pelo amor, apoio sincero, incentivo.

Aos meus sobrinhos Rafaela, César e Gabriel pelo amor, compreensão e apoio constante.

À minha madrinha Marta, pelo apoio, amor e por estar sempre do meu lado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em “Recursos Hídricos”, pela oportunidade da realização do doutorado.

À ARPA – Agência Regional de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Grande, pelo fornecimento dos recursos disponibilizados.

Ao professor Gilberto Coelho, orientador e amigo, agradeço de coração pela oportunidade e confiança para seguirmos trabalhando juntos.

Ao Renato Antônio (Renatão), braço direito no trabalho de campo, pela paciência, amizade construída e pela compreensão.

Aos colegas de Pós-Graduação, pelos trabalhos prestados durante o monitoramento e também nos serviços de laboratório.

Pela fé e coragem nos desafios da vida e também pela capacidade de acreditar em meu esforço durante o período de Pós-Graduação, e também para os desafios que estão por vir.

Muito obrigado!

RESUMO

Os usos múltiplos dos recursos hídricos de fontes hidrominerais, em especial sua qualidade de água, foram os principais objetivos propostos no trabalho realizado. As atividades antrópicas provocam alterações no solo e acabam interferindo na qualidade das águas. A UPGRH GD6 – Afluentes dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), em especial o Rio Mogi, foram os locais do presente estudo. Foram escolhidos seis pontos amostrais, sendo quatro nascentes e dois cursos d'água. Partindo do pressuposto, objetivou-se no trabalho: i) Caracterização e qualidade de água junto ao Teste de Scott & Knott; ii) Produção de água e caracterização dos elementos traços associados ao Teste de Scott & Knott e; iii) Análise dos componentes principais para as variáveis de qualidade de água. O monitoramento foi realizado no período de junho de 2017 a novembro de 2018, totalizando treze amostragens. Foi utilizado um pluviômetro de báscula para monitoramento dos índices pluviométricos da região durante o período em estudo. Para as análises de qualidade de água foram utilizadas amostras simples, através dos procedimentos de coleta e preservação das amostras, segundo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Feita as coletas, as análises foram realizadas no laboratório de Hidrologia do departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras. As respectivas análises foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (TURB), Temperatura (T), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}), Sólidos Totais (ST), Coliformes Termotolerantes (CT). Já os Metais pesados foram o Alumínio (Al), Bromo (Br), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Prata (Ag) e Zinco (Zn). Comparou-se os resultados para as variáveis de qualidade de água junto a DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2. A análise dos componentes principais foi realizada mediante os resultados encontrados das análises em laboratório. Empregou-se a linguagem estatística R para o trabalho dos valores encontrados. De posse dos resultados, dentro das variáveis de qualidade de água analisadas, somente as variáveis de DBO, pH, e S.T existiu um padrão de comportamento entre as nascentes estudadas. Já o C1 e C2, somente a variável OD apresentou valores distintos. Os valores finais do IQA no N2 e N4 apresentaram melhores resultados, sendo classificado como Bom. Para os cursos d'água os valores finais foram médios. As nascentes mostraram bons Rendimentos Específicos durante o monitoramento, situação em que os solos dos respectivos pontos apresentaram boa recarga. Já o C1 mostrou baixa recarga em relação ao C2. Com base nos resultados observou-se valores acima do permitido do Cobre, Ferro, Manganês e Zinco, dentro de todo monitoramento. Em relação à ACP, observou-se que dentro dos grupos formados, as variáveis de qualidade de água que mais afetaram os pontos de monitoramento foram o NO_3^- e PO_4^{3-} , Zn e Ni, associados às atividades agrícolas, o Fe e Mn em função da mineralogia local e DBO, OD e CT, oriundos de cargas orgânicas provenientes de efluentes domésticos não tratados, atividades agropecuárias e pecuária intensiva. Com base nos resultados, concluiu-se que os principais fatores impactantes dentro do monitoramento podem estar associados às atividades agropecuárias nas áreas de monitoramento.

Palavras-chave: Qualidade de água. Modelos estatísticos. Poluições difusas e pontuais.

ABSTRACT

The multiple uses of water resources from hydromineral sources, especially their water quality, were the main objectives proposed in this work. Human activities cause changes in the soil and end up interfering with the water quality. The UPGRH GD6 – Affluents of the Mogi-Guaçu and Pardo Rivers of the Minas Gerais Water Management Institute (IGAM), in particular the Mogi River, site of this study. Six sampling points were chosen, four springs and two watercourses. Based on the assumption, the aim of this work was: i) Characterization and water quality using the Scott & Knott Test; ii) Water production and characterization of trace elements associated with the Scott & Knott Test; iii) Principal component analysis for the water quality variables. The monitoring period was from June 2017 to November 2018, resulting in thirteen samplings. We used a tipping bucket rain gauge to monitor the rainfall in the region during the period of the study. For the analysis of water quality, we used simple samples, using the procedures for collection and preservation of samples, according to the National Guide for Collection and Preservation of Samples. After the samplings, we conducted the analysis in the Hydrology laboratory of the Water Resources Department at the Federal University of Lavras. The respective analysis were: Biochemical Oxygen Demand (DBO), Dissolved Oxygen (OD), Potential of Hydrogen (pH), Turbidity (TURB), Temperature (T), Nitrate (NO_3^-), Phosphate (PO_4^{3-}), Total Solids (ST), Thermotolerant Coliforms (CT). The heavy metals were Aluminium (Al), Bromine (Br), Copper (Cu), Chromium (Cr), Iron (Fe), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Silver (Ag) and Zinc (Zn). We compared the results for the water quality variables with DN COPAM CERH 01/08 – Class 2. The principal components analysis was carried out based on the results found in the laboratory analysis. We used the statistical language R to work on the values found. Based on the results, within the analysed water quality variables, only the DBO, pH and ST variables had a behavioural pattern among the studied springs, whereas in C1 and C2, only the variable OD presented distinct values. The final values of the IQA in N2 and N4 presented better results, classified as Good. For the watercourses, the final values were Average. The springs showed good Specific Yields during monitoring, a situation in which the soils of the respective points presented good recharge. Nevertheless, C1 showed a low recharge compared to C2. Based on the results, we observed values greater than allowed for Copper, Iron, Manganese and Zinc in all monitoring. Regarding the ACP, we observed that within the formed groups, the water quality variables that most affected the monitoring points were NO_3^- and PO_4^{3-} , Zn and Ni, associated with agricultural activities, Fe and Mn resulting from local mineralogy and DBO, OD and CT, originating from organic loads from untreated domestic effluents, agricultural activities and intensive livestock farming. Based on the results, we concluded that the main impacting factors within the monitoring might be associated with agricultural activities in the monitoring areas.

Keywords: Water quality. Statistical models. Non-point and point source pollution.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Localização geográfica de Jacutinga – MG e os respectivos pontos de monitoramento..... 39
- Figura 2 - Modelo Digital de Elevação da cidade de Jacutinga – MG..... 41
- Figura 3 - IQA das nascentes e lâmina precipitada durante o monitoramento..... 48
- Figura 4 - IQA dos cursos d'água e lâmina precipitada durante o monitoramento..... 50

ARTIGO 2

- Figura 1 - Pontos de monitoramento na cidade de Jacutinga – MG..... 57
- Figura 2 - Uso e ocupação do solo na região de estudo. 60
- Figura 3 - Classes de solo da região de Jacutinga/MG..... 61
- Figura 4 - Variação temporal das vazões das nascentes juntamente dos totais precipitados. 63
- Figura 5 - Variação temporal das vazões dos cursos d'água juntamente dos totais precipitados..... 64
- Figura 6 - Variação temporal do rendimento específico das nascentes monitoradas..... 65
- Figura 7 - Variação temporal do rendimento específico dos cursos d'água monitorados..... 65

ARTIGO 3

- Figura 1 - Localização geográfica e os respectivos pontos na cidade em estudo..... 76
- Figura 2 - Classes de solo da região em estudo..... 80
- Figura 3 - Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N1..... 83
- Figura 4 - Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N2..... 84
- Figura 5 - Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N3..... 85
- Figura 6 - Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N4..... 86
- Figura 7 - Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o C1..... 87
- Figura 8 - Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o C2..... 88

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 -	Peso das variáveis para o cálculo do IQA.	29
Tabela 2 -	Nível de qualidade da água.	29

ARTIGO 1

Tabela 1 -	Uso e ocupação do solo da área de estudo.	40
Tabela 2 -	Altitudes dos pontos de pontos monitorados.....	41
Tabela 3 -	Variáveis que compõe o IQA e seus respectivos métodos de análise.....	42
Tabela 4 -	Peso das variáveis para o cálculo do IQA.	43
Tabela 5 -	Nível de qualidade da água.	43
Tabela 6 -	Valores médios das variáveis aferidas de qualidade de água nas nascentes monitorados.....	44
Tabela 7 -	Valores médios das variáveis aferidas de qualidade de água nos cursos d'água monitorados.....	47

ARTIGO 2

Tabela 1 -	Pontos de amostragens e suas respectivas coordenadas.....	58
Tabela 2 -	Área de drenagem dos pontos de monitoramento.	59
Tabela 3 -	Altitudes máxima, mínima e média das áreas de drenagem.	59
Tabela 4 -	Declividade máxima, mínima e média das áreas de drenagem.....	59
Tabela 5 -	Valores médios das variáveis aferidas de metais pesados nas nascentes monitoradas.....	68
Tabela 6 -	Valores médios das variáveis aferidas de metais pesados nos cursos d'água monitorados.....	68

ARTIGO 3

Tabela 1 -	Descrição e localização geográfica dos pontos de monitoramento.....	77
Tabela 2 -	Área de drenagem dos pontos de monitoramento.	78
Tabela 3 -	Altitudes dos pontos de pontos monitorados.....	78
Tabela 4 -	Declividade máxima, mínima e média das áreas de drenagem.....	78
Tabela 5 -	Uso e ocupação do solo da área de estudo.	79
Tabela 6 -	Variáveis de qualidade de água analisadas no monitoramento.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag	Prata
Al ³⁺	Alumínio
ARPA	Agência Regional de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Grande
BHRG	Bacia Hidrográfica Rio Grande
Br	Bromo
C1	Curso d'água 1
C2	Curso d'água 2
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CT	Coliformes Termotolerantes
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Fe	Ferro
GD6	Mogi-Guaçu – Pardo
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H	Altitude
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de Qualidade de Água
mg.h ⁻¹	Miligrama por hora
mg.L ⁻¹	Miligrama por Litro
Mn	Manganês
N1	Nascente 1
N2	Nascente 2
N3	Nascente 3
N4	Nascente 4
Ni	Níquel
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
NMP	Número mais Provável
NO ₃ ⁻	Nitrato

NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
O ₂	Oxigênio
PCA	Análise dos componentes Principais
PC1	Componente Principal 1
PC2	Componentes Principal 2
pH	Potencial Hidrogeniônico
PO ₄ ³⁻	Fosfato Total
qi	Qualidade do Parâmetro i
ST	Sólidos Totais
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UPGRH	Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos
wi	Peso Atribuído
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
Zn	Zinco
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	16
1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Ciclo hidrológico	18
2.2	Nascente	19
2.3	Regiões hidrominerais	19
2.4	Origem da poluição	21
2.5	Qualidade de água	22
2.5.1	Nitrato	23
2.5.2	Potencial hidrogeniônico	23
2.5.3	Temperatura da água	24
2.5.4	Fosfato total	24
2.5.5	Coliformes termotolerantes	24
2.5.6	Cloretos	25
2.5.7	Demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido	25
2.5.8	Sólidos totais e turbidez	26
2.5.9	Metais pesados	27
2.6	Cálculo do índice de qualidade da água	27
2.7	Teste de Scott & Knott	29
2.8	Análise dos componentes principais	30
	REFERÊNCIAS	31
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*	36
	ARTIGO 1 QUALIDADE DA ÁGUA EM REGIÕES DE ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS – MG	37
1	INTRODUÇÃO	38
2	MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1	Caracterização da região de estudo	39
2.2	Uso e ocupação do solo	40
2.3	Geomorfologia da área de estudo	41
2.4	Determinação de precipitação e índice de qualidade de água	42
2.5	Teste de comparação de médias de Scott Knott	44
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.1	Teste de comparação de médias das variáveis de qualidade de água	44

3.2	Índice de qualidade de água.....	47
4	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS.....	52
	ARTIGO 2 ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS DOS ELEMENTOS TRAÇO EM REGIÕES DE ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS – MG.....	55
1	INTRODUÇÃO.....	56
2	MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1	Localização geográfica na região em estudo	57
2.2	Pontos de monitoramento na área amostrada.....	58
2.3	Área de drenagem e relevo.....	58
2.4	Uso e ocupação da terra	60
2.5	Classes de solo da região.....	60
2.6	Monitoramento das águas superficiais.....	61
2.7	Teste de Scott & Knott	62
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
3.1	Vazões e precipitação.....	63
3.2	Rendimento específico	64
3.3	Análise de estatística dos metais pesados encontradas nas nascentes.....	66
3.4	Análise de variância dos metais pesados encontrados nos cursos d'água	68
4	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS.....	70
	ARTIGO 3 UTILIZAÇÃO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM REGIÕES DE ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS – MG.....	74
1	INTRODUÇÃO.....	75
2	MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1	Área da região de estudo	76
2.2	Pontos de monitoramento na área amostrada.....	77
2.3	Área de drenagem e relevo.....	77
2.4	Uso e ocupação do solo	79
2.5	Classe dos solos da região em estudo.....	79
2.6	Monitoramento das nascentes e cursos d'água	80
2.7	Análise dos componentes principais.....	81

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
3.1	PCA para as variáveis de qualidade de água nas nascentes	82
3.2	PCA para as variáveis de qualidade de água nos cursos d'água	86
4	CONCLUSÕES	88
	REFERÊNCIAS	90

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos atualmente têm valores inestimáveis, sendo de extrema importância para as atividades humanas no dia a dia. O Brasil detém aproximadamente 12% de água doce distribuídos de forma desigual. A água é o principal componente do ciclo hidrológico e de vital importância no equilíbrio dos ecossistemas. Sua importância na sociedade gira em torno da irrigação, produção de energia, atividades industriais e abastecimento público.

O estado de Minas Gerais é detentor das famosas estâncias hidrominerais com propriedades medicinais e terapêuticas. O uso das águas para fins turísticos mostra que a qualidade das águas, em geral, tem um valor econômico grande.

O processo de estudos nas nascentes de água é extremamente importante, visto que a demanda por uma boa qualidade de água atualmente é essencial. A literatura mostra que a preservação das nascentes é fator essencial, pois, a partir delas, surgem os córregos, riachos até chegar ao surgimento dos rios.

Um fator importante e que vem sendo debatido é a ausência de matas ciliares, o uso incongruente do solo acaba afetando os cursos d'água, resultando em diminuição de sua vazão média e muitas vezes deteriorando sua qualidade.

A preservação da qualidade e, conseqüentemente, da quantidade da água, depende do manejo da bacia hidrográfica, ou seja, das condições naturais e antrópicas. As atividades antrópicas na bacia hidrográfica acabam alterando diferentes fatores como o clima, solo, cobertura vegetal, dentre outros.

Outro fator importante nos mananciais são as poluições difusas e pontuais nas proximidades dos nossos mananciais, como despejo incorreto de águas residuárias. Os altos teores de fósforo e nitrogênio podem afetar de diversas formas, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido, ocorrendo a redução da fotossíntese de plantas aquáticas e suprimindo a quantidade de peixes, afetando seu uso como recreação, doméstico e industrial.

Visto isso, por meio de mecanismos e lei, a manutenção da qualidade da água é de acordo com o enquadramento de água por meio de classes, visando seu enquadramento e para qual finalidade, como abastecimento público, irrigação e produção de energia. A Lei das Águas 9433/97 tem como objetivo promover de forma racional a disponibilidade de água para as atuais e futuras gerações (BRASIL, 1997).

Partindo do pressuposto, objetivou-se neste trabalho, realizar o monitoramento de quatro nascentes e dois cursos d'água localizados na zona rural da cidade de Jacutinga, localizada no sul de Minas Gerais, avaliando a produção de água, caracterização junto à DN

COPAM 01/08 – Classe 2, Índice de Qualidade de Água, Elementos Traços e a Análise multivariada dos Componentes Principais (PCA) nos pontos de monitoramento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico nada mais é que a dinâmica da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. Collischonn e Tucci (2014) citam que o ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, alimentada pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. O componente principal de entrada do ciclo hidrológico em regiões tropicais e subtropicais é em forma de chuva (MELLO, 2003; SILVA 2009), sendo este, o ponto de entrada de água nas bacias hidrográficas.

Toda forma de precipitação que cai sobre a superfície é fonte pioneira de água potável. São formas de ajuste e reposição de água e são elas que a sociedade utiliza nos múltiplos usos, como abastecimento público, irrigação e produção de energia. À medida que as águas caem, grande parte é interceptada pela vegetação e a outra parte é infiltrada no solo.

Wang *et al.* (2015) citam que o processo de infiltração é um fenômeno físico que consiste na entrada de água no solo pela superfície, sendo influenciada diretamente nas condições atuais do solo, como umidade e topografia do terreno.

O escoamento base é a principal fonte de água para os mananciais de superfície nos períodos de estiagem. Por outro lado, o escoamento superficial ocorre durante e imediatamente após a chuva, principalmente as de alta intensidade, pois promovem a elevação do volume de água dos mananciais (OLIVEIRA, 2019).

Dentre os usos do solo, aquele que pode provocar a impermeabilização expressiva da superfície do solo, tendo, portanto, grande influência no escoamento superficial direto são os processos de urbanização (TUCCI, 2009).

Segundo Mello e Silva (2013), bacias hidrográficas (BH) são áreas espacialmente delimitadas pelos divisores de água, constituídas por uma rede de drenagem interligada, cujo escoamento converte para uma seção comum. Por se tratar de porções da superfície da Terra onde é possível monitorar o balanço hídrico em um intervalo de tempo, e considerando as características físicas, econômicas, políticas e ambientais próprias, as bacias hidrográficas tornaram-se unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos.

Em Minas Gerais, por exemplo, estruturaram-se as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs) a partir de bacias que pertencem ao estado. A partir dessas unidades é possível estabelecer uma rede de monitoramento considerando as especificidades

regionais. Um dos fatores monitorados de grande importância para a bacia é de qualidade de água.

2.2 Nascente

As surgências ou nascentes, minas, fio d'água, olho d'água, como são conhecidas, são caracterizadas por locais onde as águas emergem na superfície do solo de forma natural, mesmo em locais intermitentes. Pinto (2012) cita que nascente ou olho d'água é o local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea.

Leal *et al.* (2016) citam que as nascentes são consideradas afloramento do lençol freático que dão origem aos escoamentos de água. As nascentes para ser consideradas ideais, devem fornecer água em quantidade e qualidade excelentes de maneira contínua e farta, com boa distribuição no tempo e onde a variação da vazão tenha um mínimo adequado ao longo do ano. Por outro lado, Oliveira (2011) cita que para uma nascente ser ideal ela tem que fornecer água de boa qualidade, abundante e contínua, localizada próxima do local de uso e de cota topográfica elevada, possibilitando sua distribuição por gravidade, sem gasto de energia.

O conhecimento do comportamento da qualidade da água em bacias hidrográficas do meio rural é essencial para seu planejamento de uso e manejo, como também para o controle dos impactos ambientais negativos (WICKHAM *et al.*, 2011), permitindo satisfazer os múltiplos usuários dos recursos hídricos, em especial aqueles de maior demanda com relação à qualidade (VON SPERLING, 2014; AGRIZZI, 2018).

Dessa forma, a utilização de águas de nascentes para consumo humano nessas áreas deve ser feita de maneira criteriosa, a fim de diminuir os riscos à saúde dos consumidores (CAVALCANTE, 2014).

2.3 Regiões hidrominerais

O Art. 1º do Código de Águas Minerais afirma que as águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que tenham composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa. Essa ação medicamentosa é definida nos Capítulos VII e VIII do Código.

Do ponto de vista ambiental, deve-se citar uma das principais leis que regem o uso da água, Lei 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que adota um enfoque bem distinto do que consta no

Código de Águas Minerais, de 1945. A Lei 9.433/1997 baseia-se nos seguintes propósitos que são: 1) a água é um bem de domínio público; 2) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; 3) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas e; 4) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, dentre outros princípios. Essa lei também assegura à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, sem dissociação dos aspectos de qualidade e quantidade, promovendo a articulação do planejamento de recursos hídricos com os setores de usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional. Ela promove ainda, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos e a cobrança pelo uso de água, inclusive a extraída de aquíferos subterrâneos para o consumo final, para o uso como insumo de processo produtivo e para outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água.

No dia 17 de março de 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou no Diário Oficial a Resolução 357 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

A Deliberação Normativa - COPAM (Conselho Nacional de Política Ambiental), publicou no dia 13 de maio de 2008 a resolução número 1 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

O ministro de estado e saúde, nos usos das suas atribuições, publicou no Diário da União no dia 28 de setembro de 2017, a Portaria de Consolidação número 5, que dispõe das normas sobre as ações e os serviços de saúde.

Vianna e Penna-Firme (2019) citam que as estâncias hidrominerais vão além dessa definição legal, pois são cidades que têm características climáticas bem determinadas, dotadas de fontes naturais de águas minerais, vapor ou lama, equipadas com instalações hoteleiras e outros elementos estruturais turísticos, além de serem utilizadas como espaço para tratamento terapêutico ou atividades físicas. Essas cidades podem ser analisadas a partir do processo histórico de sua estruturação turística, ligada ao seu potencial de cura pela natureza, em particular, pelas águas minerais.

Esse processo proporciona às águas minerais características químicas, físicas, físico-químicas e biológicas distintas das águas comuns, suscitando uma ação terapêutica. Vaitsman e Vaitsman (2005) citam que é um processo de transferência de espécies químicas inorgânicas

constituintes das rochas minerais, diferente das moléculas de água (H₂O), para as águas infiltradas, que adquirem, também, radioatividade natural.

2.4 Origem da poluição

As características da água, segundo Von Sperling (2014) é resultante dos fenômenos naturais e antrópicos, ou seja, são atividades naturais e de atuação do homem em função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Suas principais atividades se dão em torno da inter-relação do seu uso com sua qualidade sendo extremamente direta, ou seja, dos usos mais exigentes e de melhor qualidade para o abastecimento público e dos menos exigente como diluição de despejos.

As matas ciliares exercem funções hidrológicas e ecológicas de proteção aos solos e aos recursos hídricos por meio de: manutenção da qualidade da água; regularização dos cursos d'água; conservação na biodiversidade (RODRIGUES 2004); alternativas econômicas de exploração sustentável da biota; educação ambiental; pesquisa científica; paisagem de beleza cênica; turismo, e até a contribuição para a redução do efeito estufa, através da captura do carbono atmosférico (BRAGA, 2005).

A proteção dessas áreas foi reafirmada na Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) e 12.651 (BRASIL 2012). A primeira instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos que se fundamenta no fato de que a água, embora reconhecida como um recurso natural renovável, seja também um recurso de domínio público. A referida lei objetiva assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água em padrões adequados aos respectivos usos, além da prevenção e defesa contra eventos decorrentes de seu uso inadequado. O Código Florestal, publicado no dia 25 de maio de 2012, dispõe de normas para proteção da vegetação nativa em áreas preservação permanente, reserva legal, uso restrito e exploração florestal.

O papel da mata ciliar é filtrar, para que o material impactante não deposite sob a água. Mas quando ocorre de as matas ciliares serem totalmente removidas, as bacias hidrográficas perdem sua proteção. Ao longo do rio, a quantidade de sedimentos mostra que atrapalha a navegação e eleva o nível da água, causando assim, enchentes, em locais onde tem urbanização (CASSETI, 1995; PORTO *et al.*, 2001).

Os problemas gerados na bacia vão desde a erosão, transporte, deposição e compactação. Situações mais detalhadas onde constituem de grânulos menores que fica em suspensão na água acabam afetando sua qualidade, aumentando a turbidez e diminuindo a passagem de luz, ocasionando a ausência de fotossíntese no corpo hídrico.

Em bacias hidrográficas, por exemplo, o material erodido pode causar o assoreamento, e este é causado por acúmulo de resíduos, de ações antrópicas, desagregação de solos nas margens, dentre outros.

As atividades antrópicas como os efluentes domésticos lançados sem tratamento, ocasionam um aumento da quantidade de matéria orgânica. No Rio Desquite em Santa Catarina, Berlanda *et al.* (2019) indicam que os passivos ambientais originários de atividades antrópicas contribuem significativamente para as mudanças na qualidade de água, como as áreas de preservação permanente ausentes de cobertura vegetal e também no despejo incorreto de efluentes domésticos e industriais, nos mananciais de monitoramento

A atividades agropecuária é uma das principais atividades exercidas na região sul de Minas Gerais. O uso do solo para as atividades agropecuárias altera significativamente os processos químicos, físicos e biológicos dos mananciais. Pinto *et al.* (2013) citam que os impactos causados pelas atividades agropecuárias na região da Serra da Mantiqueira afetam as variáveis de qualidade de água como os coliformes termotolerantes.

O uso e ocupação do solo têm mudanças que promovem a retirada da vegetação nativa para práticas de agricultura intensiva e acabam alterando a qualidade e quantidade de água disponíveis dos recursos hídricos. Oliveira *et al.* (2017) citam que o estudo da qualidade da água e irrigação é importante, pois o uso de fertilizantes e agrotóxicos alteram de forma gradativa os processos físicos, químicos e biológicos do ambiente.

2.5 Qualidade de água

O termo ‘qualidade de água’ não necessariamente revela o estado puro da água, ele vem de um sentido muito mais amplo como mostra uma simples conceitualização por sua própria fórmula molecular. Von Sperling (2014) cita que o termo ‘qualidade de água’ é resultante dos fenômenos naturais e antrópicos, ou seja, das condições do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

As variáveis físicas, químicas e biológicas de maior avaliação para a qualidade de água são: Fósforo Total, Fosfato Total, Nitrogênio Total, Nitrato, Coliformes Termotolerantes, Turbidez, Temperatura da Água, Cloretos, Potencial Hidrogeniônico, Sólidos Totais, Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Pinto (2012) cita que não somente um monitoramento de qualidade de água pode ter resultados satisfatórios, mas considera também as incertezas nas interpretações dos resultados. É extremamente importante analisar a bacia hidrográfica num todo, não somente o ponto de

monitoramento, observando com nitidez o uso e ocupação do solo, fontes de poluição e também o comportamento hidrológico.

2.5.1 Nitrato

Uma das grandes preocupações atualmente é o aumento gradativo do íon Nitrato em corpos d'água, em especial, longe dos grandes centros urbanos.

O excesso de íon nitrato em água potável é preocupante por causar em recém-nascidos a síndrome do bebê azul; e em adultos, conforme pesquisas, pode ser responsável por causar câncer de estômago e aumentar a probabilidade de câncer de mama em mulheres (BAIRD; CANN, 2011; QUEIROZ *et al.*, 2018).

O desenvolvimento da metemoglobinemia a partir do nitrato nas águas potáveis depende da conversão bacteriana deste para nitrito durante a digestão, o que pode ocorrer na saliva e no trato gastrointestinal (AWWA, 1990; MATO, 1996; FREITAS, 2001).

Segundo o Boletim Embrapa (2002), o nitrato, devido sua grande capacidade de lixiviação, é comumente encontrado em águas subterrâneas. Em áreas de uso intenso de fertilizantes químicos ou dejetos animais a concentração de nitrato é significativa, podendo em alguns casos atingir níveis próximo a 500 mg. L⁻¹ de NO₃⁻. Efluentes industriais não tratados são importantes fontes pontuais de poluição por nitrato.

2.5.2 Potencial hidrogeniônico

O pH ou Potencial Hidrogeniônico é indicado pela acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa. O pH influi diretamente na solubilidade de diversas substâncias, na distribuição das formas livres e ionizadas de diversos compostos químicos, definindo inclusive, o potencial de toxicidade de vários elementos (PERES, 2009).

Von Sperling (2014) cita que os valores de pH estão relacionados a fatores naturais, como dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, e a fatores antropogênicos pelo despejo de esgotos domésticos e industriais, devido a oxidação da matéria orgânica e a lavagem ácida de tanques, respectivamente.

O potencial hidrogeniônico em baixas concentrações indica que os corpos receptores mostram um aumento gradativo da matéria orgânica.

2.5.3 Temperatura da água

A temperatura da água é um fator de extrema importância, pois a mesma varia ao longo do ano (influência da sazonalidade). Outro fator a considerar sobre a temperatura é que seu aumento pode ser relacionado com o aumento de efluentes domésticos e industriais.

Miranda *et al.* (2017) ressaltam que a temperatura controla todos os processos químicos ocorridos nos cursos d'água, interferindo diretamente na capacidade de autodepuração. Cabe destacar, que a temperatura é uma variável fundamental para a manutenção da vida aquática.

Outro detalhe a ser relacionado é a variação da temperatura da água em diversos usos do solo, como áreas florestais, sendo seus valores encontrados mais baixos, pela condição de cobertura das águas superficiais, enfatizando significativamente o papel da mata ciliar.

2.5.4 Fósforo total

Segundo Rosolem *et al.* (2003), o estudo do fósforo em bacias hidrográficas ajuda a estimar os impactos e suas consequências nos ecossistemas aquáticos. É uma variável para estimar e despertar o manejo correto do solo através da aplicação de insumos. O principal efeito da concentração de Fósforo nas águas superficiais é a eutrofização. Altas concentrações do mesmo em águas superficiais ocorrem principalmente pelas poluições pontuais na bacia hidrográfica. Junior *et al.* (2018) citam que a presença de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, causa aumento da produtividade primária, favorecendo assim, o aparecimento de algas e macrófitas aquáticas, denominado eutrofização.

Alfaro *et al.* (2017) citam que fontes de fósforo podem estar associados a defensivos agrícolas, produtos químicos e também a despejos de esgotos domésticos e industriais não tratados.

2.5.5 Coliformes termotolerantes

O grupo Coliformes é um indicador da presença de bactérias que são encontradas no trato digestivo humano e animal, e são eliminadas juntamente com as fezes na grande maioria dos casos. A bactéria *Escherichia coli* pertencente ao grupo dos coliformes termotolerantes é dada como contaminante oriundo de poluição de esgotos domésticos. Marquezi *et al.* (2010) citam em seu trabalho, que as bactérias do grupo coliforme estão presentes no trato intestinal de animais de sangue quente e grande parte delas são eliminados por meio das fezes.

Já Zulpo *et al.* (2006) argumentam que os coliformes totais são encontrados no solo e nos vegetais, possuindo a capacidade de se multiplicarem na água com relativa facilidade.

Já os termotolerantes não se multiplicam facilmente no ambiente externo e ocorrem constantemente na flora intestinal do homem e de animais de sangue quente, sendo capazes de sobreviver de modo semelhante às bactérias patogênicas, atuando, portanto, como potenciais indicadores de contaminação fecal e de patógenos entéricos em água fresca (PORTO, 2011).

Coliformes totais são uma classe de bactérias que possui como principal característica a fermentação de lactose com produção de ácidos, aldeídos e gás a 35 °C entre 24 e 48 horas. Essas bactérias abrangem os seguintes gêneros: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. (BETTEGA, 2006; ALVES *et al.*, 2018). Coliformes termotolerantes são bactérias de um subgrupo de coliformes totais que possuem a capacidade de fermentar lactose a 44 – 45 °C ($\pm 0,2$) em 24 horas. A principal espécie dentro desse grupo é a *Escherichia coli* (*E. Coli*), possuindo origem exclusivamente fecal (SANTOS, 2014; ALVES *et al.*, 2018).

2.5.6 Cloretos

Todas as águas naturais, tanto em maior quanto em menor escala, contêm íons resultantes na dissolução de minerais. Os cloretos são oriundos da dissolução de sais. Segundo Meybeck *et al.* (1992) e Martins *et al.* (2017), suas concentrações em corpos d'água são normalmente menores que 10 mg. L⁻¹, e por muitas vezes, até inferiores a 2 mg. L⁻¹. Sua origem pode ser antrópica, da dissolução de minerais, avanços de marés marinhas e também intrusão de águas salinas.

2.5.7 Demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido

A demanda bioquímica de oxigênio é a quantidade de oxigênio necessário para biodegradar a matéria orgânica. Pinto (2011) cita que a DBO representa a medida de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água, mediante processos biológicos aeróbicos. Branco (2010) cita em seu trabalho, que esse conceito é essencial para a análise da poluição, pois permite avaliar a 'carga poluidora' de águas superficiais.

O processo de oxidação da matéria orgânica pode gerar sérias variações nos níveis de oxigênio dissolvido em corpos d'água, sendo este, o principal causador do consumo do OD, interferindo gradativamente na qualidade da água. Para a estabilização da matéria orgânica são

necessárias bactérias que em condições ausentes de oxigênio utilizam o que tem no meio líquido para sua respiração (CHAPRA, 1997; VON SPERLING, 2014).

O oxigênio dissolvido é de fundamental importância para os organismos que necessitam de oxigênio para sobreviver (aeróbios). A importância dele para a qualidade de água é vista em torno do fator de desenvolvimento de qualquer planejamento na gestão integrada dos recursos hídricos. Seu consumo é dado pela oxidação da matéria orgânica e é o elemento primordial para o metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais. Pinto (2010) cita que, devido à sua notoriedade, ele é amplamente utilizado como principal variável de qualidade da água e serve para determinar o impacto de poluentes sobre corpos hídricos.

Em normativas que caracterizam a qualidade da água, por exemplo, os corpos hídricos precisam de valores acima de 5 mg. L⁻¹ para estar adequado às leis (federais e estaduais, como CONAMA 357/05 e COPAM 01/08 para a classe 2, respectivamente). Já as concentrações de oxigênio dissolvido, abaixo de 5 mg. L⁻¹, mostraram condições próximas à anaerobiose de corpo hídrico, que normalmente pode estar associado ao metabolismo microbiano durante a degradação da matéria orgânica (YSA; JIMOH, 2015; HOSSAIN *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2016).

2.5.8 Sólidos totais e turbidez

Sólidos totais são considerados toda e qualquer substância que permanece como resíduo, após a secagem e evaporação em um determinado período de tempo. Os estudos relacionados às divisões dos sólidos proporcionam um quadro geral da distribuição das partículas em relação aos seus respectivos tamanhos e de onde vieram.

Estevan *et al.* (2019) citam que os sólidos totais são quaisquer substâncias que permaneçam com as características de rigidez, seja por sua forma própria ou pelo equilíbrio do líquido proveniente de sua fusão.

Os sólidos totais agem de maneira indireta sobre as águas superficiais, impedindo a passagem de luz, aumentando a quantidade de matéria orgânica, induz o aquecimento da água e, conseqüentemente, diminui a quantidade de oxigênio dissolvido.

Turbidez é uma variável denominada pela presença de materiais em suspensão fazendo com que ocorra a redução da penetração dos raios solares, diminuindo a fotossíntese e também o oxigênio dissolvido. Amâncio *et al.* (2020) citam que os materiais suspensos encontrados na água aumentam a turbidez, reduzindo a penetração de luz na água, diminuindo a profundidade da zona fotossintética e prejudicando, assim, a cadeia primária e os alimentos para os peixes.

A variável de maior importância na análise de qualidade de água, a turbidez, tem como objetivo auxiliar no processo da tonalidade da água, ou seja, da quantidade de sólidos presentes na água. Almeida *et al.* (2017) citam que a turbidez está relacionada à presença de partículas suspensas na água, sendo que estas alterações súbitas são identificadas em chuvas intensas, que alteram também o pH e a alcalinidade da água, dificultando o tratamento.

2.5.9 Metais pesados

Oliveira e Horn (2006) e Carvalho *et al.* (2017) caracterizam os metais pesados como elementos traços, que são aqueles que, em condições naturais, se apresentam em práticas muito baixas. Já Förstner e Wittmann (1981) mostram a disposição dos metais pesados em bacias hidrográficas pela deposição de material particulado atmosférico, escoamento superficial da água da chuva após lavagem e lixiviação do solo, e lançamento direto de despejos industriais e urbanos nos corpos de água.

O crescimento desenfreado de polos urbanos está alheio às demandas que vão surgindo em função das indústrias instaladas. Estas, por sua vez, desempenham um papel importante na sociedade como geradoras de benefícios, quanto à produção de bens de consumo, impostos e empregos. Um dos grandes causadores do aumento de metais pesados nas águas superficiais são as poluições difusas e pontuais que ocorrem e acaba tornando impactante ao meio ambiente. Ribeiro *et al.* (2012) citam que, contato e acúmulo dos metais pesados nas águas superficiais têm impactos significativos na biota e também na saúde dos seres humanos, sendo estes associados às atividades antrópicas correlacionadas às atividades mineradoras.

No Aquífero Moura – Ficalho em Portugal, Costa *et al.* (2006) trabalharam em um estudo hidrogeoquímico em função dos usos múltiplos, em principal, para abastecimento público e atividades agropecuárias. Os principais elementos traços encontrados em níveis elevados foram o Bromo, Ferro, Estrôncio, Bário, Iodo, Zinco, Escândio, Alumínio, Selênio e Lítio.

2.6 Cálculo do índice de qualidade da água

O crescimento acelerado e a busca por melhores condições de vida mostram que o IQA desenvolvido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, vem sendo utilizado com bastante frequência. Segundo o IGAM (2012), as principais vantagens do índice são a facilidade de comunicação com a sociedade, ressaltando que apresentam diversos valores e suas médias

transformam-se em um único valor, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. No entanto, sua principal desvantagem consiste na falta de monitoramento específico em todo o Brasil, pois em grande parte, a ausência de estações pluviométricas e fluviométricas é realidade. O índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica.

A informação dos valores de concentrações dos poluentes nos corpos d'água tem pouco significado, devido as tecnicidades envolvidas na interpretação dos resultados. Von Sperling (2014) cita que os índices vieram com intuito de facilitar a linguagem, como notas que retratam condições em um determinado momento de 'muito ruim' a 'excelente' que permita interferências sobre alguns aspectos específicos sobre o curso d'água (seu uso). Os índices vieram com intuito de auxiliar na comunicação com a sociedade, com uma linguagem de mais fácil entendimento.

Existem vários índices de qualidade, desenvolvidos por diversas entidades e cada um tem sua característica e finalidade distinta, mas não saindo do foco de auxiliar no entendimento da qualidade da água de determinada localidade. Os próprios, assim que bem empregados, facilitam e são de extrema utilidade nos dias atuais.

As variáveis necessárias do Índice de Qualidade de Água, segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM (2018b), são mostradas na Tabela 1, junto aos respectivos pesos.

O cálculo do Índice de Qualidade de Água é realizado de um produtório de acordo com a Equação 1 descrita a seguir:

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

IQA – Índice de qualidade da água, um número de 0 a 100;

q_i – Qualidade do parâmetro i obtido por meio da curva média específica de qualidade;

w_i – Peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade (entre 0 e 1)

Tabela 1 - Peso das variáveis para o cálculo do IQA.

Variável	Peso - w_i
Oxigênio Dissolvido – OD (% OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	0,15
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg.L ⁻¹)	0,10
Nitratos (mg.L ⁻¹ NO ₃)	0,10
Fosfatos (mg/L PO ₄ ³⁻)	0,10
Variação na Temperatura (° C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos Totais (mg. L ⁻¹)	0,08

Fonte: Adaptado do Instituto Mineiro das Águas, IGAM (2018b).

O Índice de Qualidade de Água pode ser classificado em 5 classes de qualidade conforme valores presentes na Tabela 2.

Tabela 2 - Nível de qualidade da água.

Nível de qualidade	Faixa
Excelente	90 < IQA < 100
Bom	70 < IQA < 90
Médio	50 < IQA < 70
Ruim	25 < IQA < 50
Muito ruim	0 < IQA < 25

Fonte: Instituto Mineiro das Águas, IGAM (2014).

2.7 Teste de Scott & Knott

Dentro dos procedimentos analisados por diversos pesquisadores, tem-se o Teste de Tukey como um dos principais. Só que seu método de análise depende de médias mais comuns e acaba que os resultados encontrados são ineficientes e de difícil interpretação. Scott e Knott (1974) citam que é uma técnica que utiliza do teste de verossimilhança para agrupar n tratamentos em k grupos. Foi projetado para ajudar os pesquisadores em métodos comparativos para encontrar grupos homogêneos distintos.

Com isso, o Teste de Scott & Knott tem como objetivo a utilização de métodos e análise múltipla, sendo estes trabalhados para um agrupamento variado, separando as médias em tratamentos homogêneos, diminuindo a variação dentro e aumentando os grupos. Jelihovschi *et al.* (2014) citam que o Scott & Knott é um algoritmo de agrupamento hierárquico usado como ferramenta de análise exploratória de dados.

2.8 Análise dos componentes principais

Lyra *et al.* (2010) citam que uma das mais importantes ferramentas da análise multivariada é a análise de componentes principais (PCA), inclusive por constituir a base onde se fundamentam a maioria dos outros métodos multivariados de análise de dados. Como uma ferramenta de análise exploratória, o PCA permite revelar a existência ou não de amostras anômalas, de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre amostras.

As principais vantagens que a análise dos componentes principais tem é retirar a multicolinearidade das variáveis, pois permite transformar um conjunto de variáveis originais intercorrelacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (componentes principais). Além disso, reduz muitas variáveis a eixos que representam algumas variáveis, sendo estes eixos perpendiculares (ortogonais) explicando a variação dos dados de forma decrescente e independente (HONGYU, 2015; REGAZZI, 2000).

Dillon & Goldstein (1989) citam que o primeiro fator (CP1) é a combinação de todas as variáveis e explica a maior variância nos dados. Extraindo-se CP1, o segundo fator explica a segunda maior variância, sem estar correlacionada com a primeira. Componentes sucessivos explicam porções progressivamente menores da variância total dos dados.

Quando se fala de um monitoramento ambiental, em especial para a qualidade de água, a quantificação dos dados utilizando métodos estatísticos ganha grande notoriedade no cenário atual. Pelas abordagens multivariadas, a Análise dos Componentes Principais (PCA), tem sido utilizada como apoio e entendimento na gestão de recursos hídricos e extrair informações a partir de uma determinada base de dados.

Os métodos de análise de dados multivariados são amplamente utilizados quando se deseja promover a redução do número de variáveis com o mínimo de perda de informação (ANDRADE *et al.*, 2007a; HELENA *et al.*, 2000; GUEDES, 2012).

REFERÊNCIAS

- AGRIZZI, D. V.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O.; AMARAL, A. A.; FIRMINO, E. F. A.; MENDES, N. G. S. Qualidade da água de nascentes do assentamento paraíso. **Eng Sanit Ambient**, [S.l.], v. 23, n. 3, maio/jun. 2018.
- ALFARO, J. D. B.; CASTRO, G. C.; ARAYA, G. S. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). **Tecnología en Marcha**, [S.l.], v. 1. n. 30-34, p. 15-27, Octubre./Diciembre. 2017.
- ALMEIDA, M. C.; SILVA, M. M.; PAULA, M. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água em relação à Turbidez, Cor, pH da água. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. [S.l.], [S.v.], [S.n.], p. 25- 40, 2017.
- ALVES, S. G. S.; ATAIDE, C. D. G.; SILVA, J. X. Microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal. **Rev. Cient. Sena Aires**, [S.l.], v. 7, n. 1, 12-7, 2018.
- AMANCIO, D. V. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. **Revista Scientia Agraria.SA**, Curitiba, v. 19, n. 1, jan/mar. 2018.
- AMANCIO, D. V.; COELHO, G.; MARQUES, R. F. P. V.; SILVA, R. A. Avaliação da descarga sólida em suspensão nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Mortes. **Revista Sustentare**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 36, jan./jul. 2020.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BERLANDA, A.; BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; SOUZA, N. C. V. L. Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Desquite, Santa Catarina. **Eng Sanit Ambient.**, [S.l.], v. 26, n.1, p. 45-51, jan./fev. 2021.
- BETTEGA J. M. P. R.; MACHADO, M. R.; PRESIBELLA, M.; BANISKI, G.; BARBOSA, C. A. Métodos analíticos no controle microbiológico da água para consumo humano. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 30, n. 5, p. 950- 954, 2006.
- BRAGA, R. A. P. **Avaliação dos instrumentos de Políticas Públicas na Conservação Integrada de Florestas e Águas, com Estudo de Caso na Bacia do Corumbataí – SP** [tese]. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005
- BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2010. 96 p.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 02 fev. 2020.

BOUCHARD, D. C.; WILLIAMS, M. D.; SURAMPALLI, R. Y. Nitrate contamination of ground water sources and potential health effects. **Journal of the American Water Works Association**, [S.l.], v. 84, p. 85-90. 1992.

CARVALHO, M. S.; MOREIRA, R. M.; RIBEIRO, K. D.; ALMEIDA, A. M. Concentração de metais pesados no Rio Doce em Mariana, Minas Gerais. **Acta Brasiliensis**, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 37-41, 2017.

CARVALHO, A. A.; BALDUINO, A. R.; MACIEL, G. F.; PICANÇO, A. P. Avaliação da poluição em rios utilizando índices de qualidade de água: Um estudo de caso no Ribeirão São João em Porto Nacional – TO. São Paulo, UNESP, **Geociências**, [S.l.], v. 35, n. 3, p. 472-484, 2016.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CAVALCANTE, R. B. L. Ocorrência de *Escherichia coli* em fontes de água e pontos de consumo em uma comunidade rural. **Ambiente e Água**, [S.l.], v. 9, n. 3, 2014.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília: CETESB, 2011. 326 p.

CHAPRA, S. C. **Surface Water Quality Modeling**. New York: Mc Graw Hill, 1997.

COLLISCHONN, B.; TUCCI, C. E. M. Relações regionais entre Precipitação e evapotranspiração mensais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 19, n. 3, p. 205-214, jul./set. 2014.

COSTA, A.; FRANCÉS, A.; FERNANDES, J.; LOURENÇO, C.; MIDÕES, C.; OLIVEIRA, E.; RIBEIRO, L. F. T. Estudo Hidrogeoquímico do Sistema Aquífero Moura-Ficalho. In: CONGRESSO NACIONAL DA ÁGUA, 8., [S.l.]. **Anais [...]**, [S.l.], março, 2006. p. 13-17.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis**. New York: John Willey e Sons, 1989. 587 p.

ESTEVAM, M.; SILVA, A. W.; SILVA, F. F. Análise Física da Água de entrada no Sistema Agroindustrial de Curtume em Maringá- Paraná. **Ci. e Nat.**, Santa Maria, v. 41, n. 16, p. 01-09, 2019.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, mai./jun. 2001.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T.W. **Metal pollution in the aquatic environment**. Verlag: Springer, 1981. 486 p.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade de água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v. 16, n. 5, p. 588-563, 2012.

HONGYU, K. **Comparação do GGEbiplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo × ambiente**. 2015. 155 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

HOSSAIN, M. A.; SUJAU I. M.; NASLY, M. A. Water Quality Index: an Indicator of Surface Water Pollution in Eastern part of Peninsular Malaysia. **Research Journal of Recent Sciences**, [S.l.], v. 2, n. 10, p. 10-17, Oct. 2013.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão Das Águas. **Índice de Qualidade de água**. 2012. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 18 jul. 2020.

JELIHOVSCHI, E. G; FARIA, J. C.; ALLAMAN, I. B. ScottKnott: A Package for Performing the Scott-Knott Clustering Algorithm in R. **Tendencias em Matemática Aplicada e Computacional**, [S.l.], v. 15, n. 1, 3-17, 2014.

JUNIOR, C. A. N. R.; COSTA, M. R. A.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnológica Brasiliensia**, [S.l.], v. 30, n. 1, p. 06, 2018.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, jan./feb. 2017.

LYRA, W. S; SILVA, E, C; ARAUJO, M, C,U; FRAGOSO, W, D. **Classificação Periódica: Um exemplo didático para ensinar análise dos componentes principais**. **Quim. Nova**, [S.l.], v. 33, n. 7, p. 1594-1597, 2010.

MARTINS, G. L. A; COSTA, A. S. V.; BARROS, A. R.; RAMALHO, F. M. G. Qualidade da água do rio Setúbal em Jenipapo de Minas – MG após construção de barragem. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 6, nov./dec. 2017.

MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. Avaliação de recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 14., 2005, São Carlos. **Anais [...]** São Carlos, SP, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lei das Águas. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Recursos Hídricos - Conjunto de Normas Legais. Brasília, 2004.

MIRANDA, C.; ROSA, L.; BONITO, J.; VEIGA JÚNIOR, A. N.; OLIVEIRA, F.; BARROS, B. Uso e qualidade da água na microbacia hidrográfica do rio Parafuso (Moju, Pará, Brasil). **Revista Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 1. 38, n. 2, p. 51-62, dez. 2017.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1 ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

OLIVEIRA, A. S. de. **Dinâmica do escoamento em nascentes na região do Alto Rio Grande, MG.** 2011. 130 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

OLIVEIRA, L. F. C. **Chuvas extremas no Brasil: Modelos e aplicações.** Lavras: UFLA, 2019. 388 p.: il.

OLIVEIRA, M. R. de; HORTON, A. H. Comparação da concentração de metais pesados nas águas do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: índice de contaminação. **Revista Geonomos**, [S.l.], v. 20, n. 1, 2006.

PERES, V. N.; COELHO, L. M.; FERREIRA, I. M. Avaliação da Qualidade de Água superficial da microbacia do Córrego Fundo – Catalão (GO). **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 3, n. 2, p. 67-85, 2009.

PINTO, D. B. F. **Aplicação do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação hidrossedimentológica em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira, MG.** 2011. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **CERNE**, Lavras, v. 18, n. 3, 2012.

PINTO, L. C.; MELLO, C. R.; ÁVILA, L. F. Water quality indicators in the Mantiqueira Range Region, Minas Gerais State. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 687-692, out./dez. 2013.

PORTO, R.; ZAHED, F. K.; TUCCI, C.; BIDONE, F. Drenagem urbana. *In*: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2001. p. 243-252. Cap. 6.

PORTO, M. A. L.; OLIVEIRA, A. M.; FAI, A. E. C.; STAMFORD, T. L. M. Coliformes em água de abastecimento de lojas fast-food da Região Metropolitana de Recife (PE, Brasil). **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.l.], v. 16, n. 5, p. 2653-2658, 2011.

QUEIROZ, F. R. M. *et al.* Redução de nitrato em água doce de um poço artesiano da cidade de Natal – RN por um sistema de Micro/Nanoinfiltração. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, [S.l.], v. 14, n. 1, jan./mar. 2018.

REGAZZI, A. J. **Análise multivariada, notas de aula INF 766.** Viçosa: Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, 2000. V. 2.

RESENDE, A. V. **Agricultura e Qualidade de Água: Contaminação da Água por Nitrato.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29 p.

RIBEIRO, E. V. *et al.* Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marais e Pirapora – MG: índice de contaminação. **Revista Geonomos**, [S.l.], v. 20, n. 1, 2012.

RODRIGUES, V. A. Morfometria e mata ciliar da microbacia hidrográfica. *In*: RODRIGUES, V. A.; STARZYNSKI, R. (Orgs.). **Workshop em manejo de bacias hidrográficas**. Botucatu: FEPAF: FCA: DRN, 2004.

ROSOLEM, C. A.; SILVA, R. S.; ESTEVES, J. A. F. Potassium supply to cotton roots as affected by potassium fertilization and liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 635-641, 2003.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, [S.l.], [S.v.], [S.n.], p. 507-512, 1974.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

VAITSMAN, D. S.; VAITSMAN, M. S. **Água Mineral**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005. 219 p.

VIANNA, R.; PENNA-FIRME, R. **Espaço fluído: ecologia política da água mineral no sul de Minas Gerais, Brasil**. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, [S.l.], [S.v.], [S.n.], mar. 2019.

WANG, G.; FANG, Q.; WU, B.; YANG, H.; XU, Z. Relationship between soil erodibility and modeled infiltration rate in different soils. **Journal of Hydrology** [S.l.], v. 528, p. 408-418, 2015.

WICKHAM, J. D.; WADE, T. G.; RIITERS, K. H. An environmental assessment of United States drinking water watersheds. **Landscape Ecology**, [S.l.], v. 26, n. 5, p. 605-616, 2011.

YISA, J.; JIMOH, T. Analytical Studies on Water Quality Index of River Landzu. **American Journal of Applied Sciences**, [S.l.], v. 4, p. 453-458, 2010.

ZULPO, D. L.; PERETTI, J.; ONO, L. M.; GARCIA, J. L. Avaliação microbiológica da água consumida nos bebedouros da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Paraná, Brasil. **C Agrárias** [S.l.], v. 27, n. 1, p. 107-110, 2006.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS*

ARTIGO 1 QUALIDADE DA ÁGUA EM REGIÕES DE ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS – MG

RESUMO

Os recursos hídricos superficiais para os diferentes usos na região sul de Minas Gerais são a principal fonte hídrica para seus diversos usos, como abastecimento público, produção de alimentos, geração de energia e lazer. As regiões de estâncias hidrominerais vêm sofrendo diversos impactos causados pela intensa exploração mineral, e como principal resultado, a perda das suas características essenciais. Partindo deste pressuposto, objetivou-se nesse trabalho avaliar e caracterizar as variáveis que compõem o índice de qualidade da água. Os pontos foram divididos em nascentes (N1, N2, N3 e N4) e cursos d'água (C1 e C2). O período de monitoramento ocorreu do dia 11 de junho de 2017 ao dia 27 de novembro de 2018. As variáveis avaliadas foram: OD, DBO, NO_3^- , PO_4^{3-} , S.T, Turb, pH, T e CT. De posse dos dados, foi realizada uma análise de variância das variáveis que compõe o IQA e calculou-se o IQA. Comparou-se os resultados encontrados com a classificação presente na DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2. Dentro das variáveis de qualidade de água analisadas, não existiu um padrão de comportamento entre as nascentes estudadas, somente para as variáveis DBO, pH e S.T. Para o C1 e C2, somente a variável OD apresentou valores distintos. Os valores finais do IQA no N2 e N4 apresentaram melhores resultados, sendo classificado como Bom. Para os cursos d'água os valores finais foram Médio. Conclui-se que a pecuária, aplicações de defensivos agrícolas e o despejo incorreto de efluentes não tratados podem estar relacionados aos resultados finais encontrados.

Palavras- chave: Atividade antrópica. Sul de Minas Gerais. Indicador de Qualidade.

ABSTRACT

Surface water resources for different uses in the southern region of Minas Gerais is the main water source for its various uses, such as public water supply, food production, electricity generation, and leisure. The regions of hydromineral resorts have been suffering several impacts caused by intense mineral exploration, with the main result being the loss of their essential characteristics. Based on this premise, this work aimed to evaluate and characterize the variables that make up the water quality index. We divided the points into springs (N1, N2, N3 and N4) and watercourses (C1 and C2). The monitoring period ran from June 11, 2017 to November 27, 2018. We evaluated the following variables: OD, DBO, NO_3^- , PO_4^{3-} , S.T, Turb, pH, T and CT. With the data, we performed an analysis of variance of the variables that make up the IQA. The IQA was calculated. We compared the results with the classification present in the DN COPAM CERH 01/08 - Class 2. Within the analysed water quality variables, there was no behavioural pattern among the studied springs, only for the DBO, pH and S.T. For C1 and C2, only the variable OD presented distinct values. The final values of the IQA in N2 and N4 presented better results, classified as Good. For the watercourses, the final values were Average. We concluded that livestock, pesticide applications and incorrect discharge of untreated effluents might be related to the results.

Keywords: Anthropogenic activity. Southern Minas Gerais. Quality Indicator.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país rico em recursos hídricos e graças a estes recursos é possível realizar atividades diárias, como produção de alimentos, geração de energia e abastecimento público. Vialle *et al.* (2011) citam que o uso e a ocupação da terra com o crescimento populacional de forma desordenada, limita os usos múltiplos dos recursos hídricos.

Em regiões de estâncias hidrominerais, a qualidade das águas tem um valor econômico grande, pois este recurso é fomentador de recursos financeiros importantes para os municípios, logo, uma degradação, quer seja de qualidade ou de quantidade, prejudica de forma demasiada os municípios.

As regiões de estâncias hidrominerais vêm sofrendo ultimamente diversos impactos negativos oriundos principalmente da sua exploração desenfreada, fazendo com que a perda da sua qualidade seja uma grande preocupação por parte dos gestores de recursos hídricos. Outro ponto a destacar é o prejuízo com o turismo, com a perda de seus papéis como referência cultural das identidades locais.

No quesito qualidade da água é importante analisar de forma cautelosa todas as suas variáveis, visto que a variação dentro do ciclo hidrológico tende de acontecer. Wickham *et al.* (2011) citam que o conhecimento do comportamento da qualidade das águas em bacias hidrográficas rurais é extremamente importante para seu manejo como também para um controle sobre as atividades antrópicas que são exercidas.

A qualidade de água é resultante das atividades naturais e do homem, visto que os mesmos são impactantes de forma significativa na bacia hidrográfica. Cecconello *et al.* (2018) citam que a qualidade da água está ligada às suas características físicas, químicas e biológicas, e sua condição está interligada para qual fim se destina.

Dentre os indicadores de qualidade, um dos mais utilizados é o Índice de Qualidade de Água. Ele veio com o intuito de trabalhar as variáveis de maior importância, objetivando avaliar e qualificar a água para seus diversos fins. Seu valor é obtido mediante a agregação de variáveis físicas, químicas e biológicas.

Martins *et al.* (2017) citam que as principais atividades econômicas estão entre a cafeicultura, cultivo de cana-de-açúcar, pecuária, silvicultura, indústria têxtil, turismo e exploração de água mineral. Desta forma, objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade da água de nascentes e cursos d'água da zona rural de Jacutinga, comparando os resultados com os valores preconizados na DN COPAM 01/08 para classe 2, e também promover análise de variância das médias por meio do Teste de Scott & Knott.

2 MATERIAL E MÉTODOS

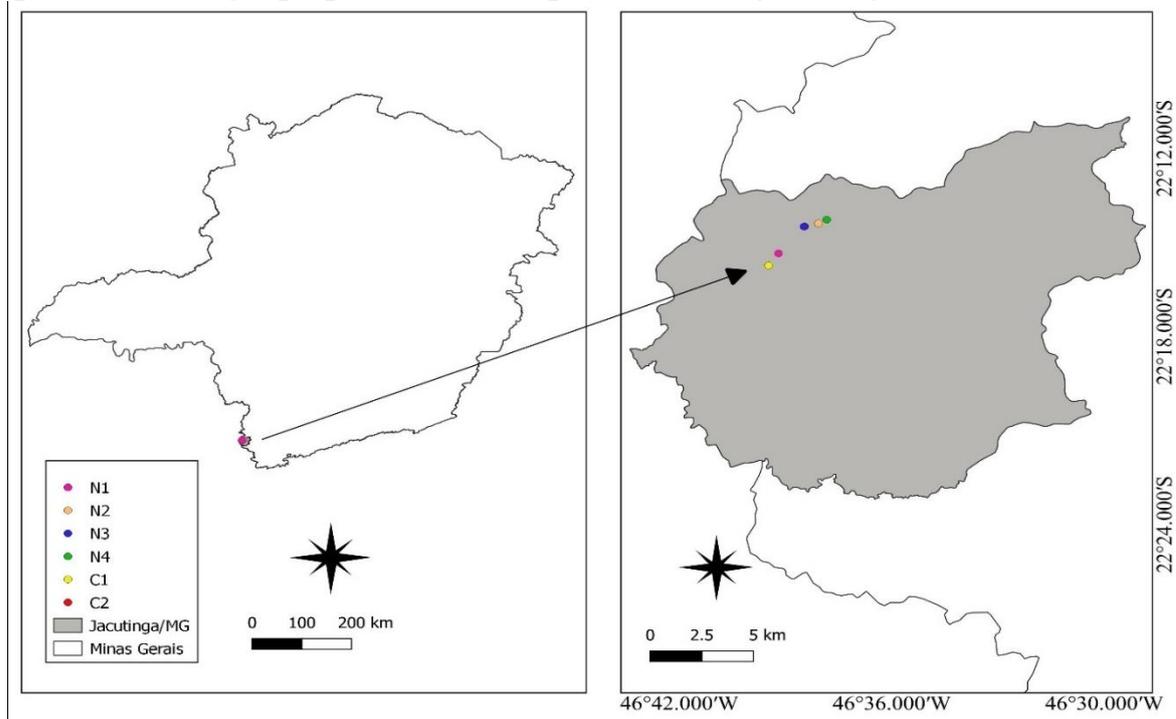
2.1 Caracterização da região de estudo

O município de Jacutinga, está localizado no sul de Minas Gerais e faz divisa com o estado de São Paulo. A área do município de Jacutinga, segundo o IBGE, é de 347,667 km², e sua população no ano de 2010, de acordo com o censo, era de 22.772 habitantes (IBGE, 2019).

A Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – GD6 dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu, sendo a região em estudo está localizada no Rio Mogi Guaçu. A classificação climática de Köppen para o município é Cwa, com inverno seco e verão quente, variando com a temperatura mais alta acima de 22 °C para o mês mais quente e para o mês mais frio, inferior a 16 °C (MARTINS *et al.*, 2018).

Na Figura 1 estão especializados os pontos de monitoramento da qualidade de água, dentre estes pontos, 4 foram nascentes (N1, N2, N3 e N4) e 2 cursos d'água (C1 e C2).

Figura 1 - Localização geográfica de Jacutinga – MG e os respectivos pontos de monitoramento.



Fonte: Do autor (2021).

Todos os pontos de monitoramento estão localizados na bacia do Rio Mogi. A nascente N1, localizada na sub-bacia localizada no Rio Mogi. Tem uma área de drenagem de

aproximadamente 3,61 ha. A N2 tem uma área de drenagem de 3,37 ha. A N3 tem área de drenagem é de 45,42 ha. A N4 tem área de drenagem de aproximadamente 4,65 ha.

O C1 possui uma área de drenagem de aproximadamente 58,43 ha e o C2 tem área de drenagem de 623,65 ha. A Figura 2 mostra as seis sub-bacias selecionadas para o estudo. O período de monitoramento se deu no período de 11/06/2017 a 27/11/2018.

2.2 Uso e ocupação do solo

Na Tabela 1, está representada a distribuição de uso e ocupação do solo dos pontos de monitoramento. Os principais usos e ocupação do solo são: cafeicultura, silvicultura, floresta, área antrópica não agrícola, espelhos d'água pastagem e mata nativa, visto que a criação de bovinos e cafeicultura tem maior predominância no entorno das bacias.

Tabela 1 -Uso e ocupação do solo da área de estudo.

Ponto	Área (há)							Total
	Área antrópica não agrícola	Cafeicultura	Culturas anuais	Espelho D'água	Floresta	Pastagem	Silvicultura	
N1	0,00	0,15	0,00	0,00	0,01	3,44	0,00	3,61
N2	0,00	2,90	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	3,37
N3	0,00	8,73	0,00	0,00	13,06	23,63	0,00	45,42
N4	0,00	3,85	0,00	0,00	0,3	0,5	0,00	4,65
C1	0,68	19,50	0,00	0,18	1,30	34,73	2,05	58,43
C2	3,84	92,94	32,10	2,73	156,72	251,66	83,65	623,65

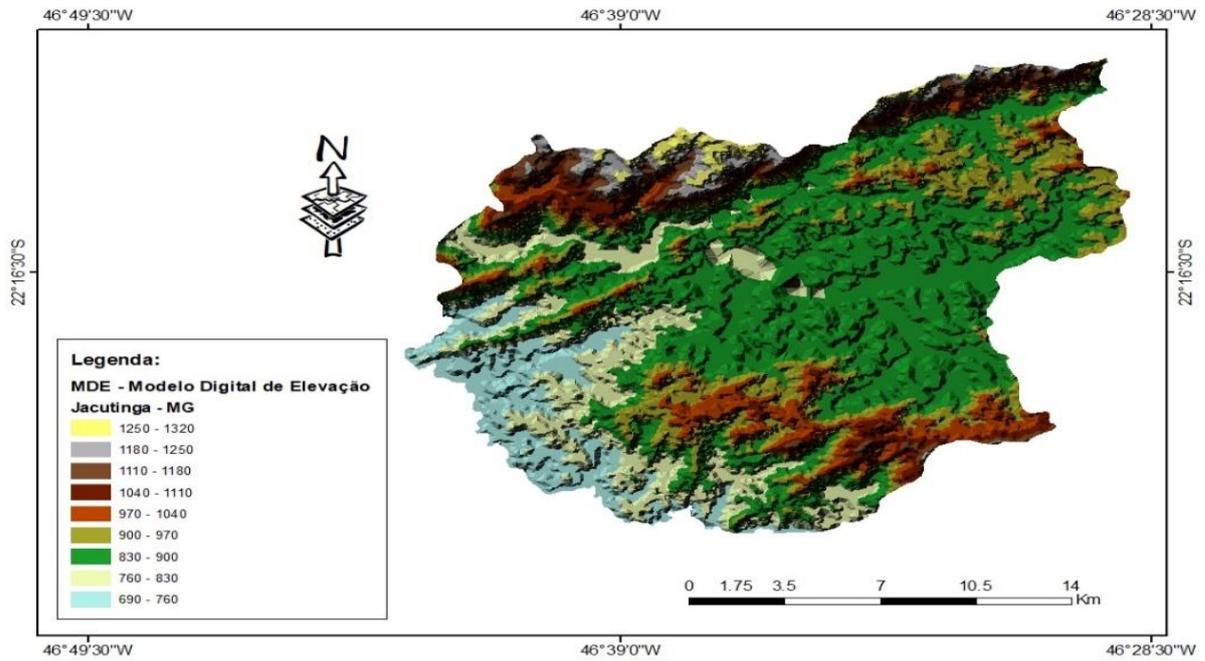
Fonte: Do autor (2021).

De acordo com a Tabela 1, a N1 tem quase toda sua área ocupada por pastagens (95,43%), e está inserida na área do córrego C1. Já N2 tem como suas principais atividades a cafeicultura e florestas (85,99% e 14,01%, respectivamente). N3 é ocupada por pastagem (52,03%), florestas (28,76%) e cafeicultura (19,21%) e está inserida no córrego C2. A N4 tem como predominância cafeicultura (82,79%), pastagens (10,75%) e florestas (6,46%). O córrego C1 tem como usos do solo cafeicultura e pastagens (33,37% e 59,43%, respectivamente). Já o córrego C2 tem predominância de pastagens (40,35%), florestas (25,13%), cafeicultura (14,90%) e silvicultura (13,41%).

2.3 Geomorfologia da área de estudo

O relevo das áreas de estudo foi obtido por meio de um Modelo Digital de Elevação Alos – Palsar, com resolução espacial de 12,5 m. A partir do MDE foram obtidas as altitudes como mostra a Figura 2, junto dos valores de médias, máximas e mínimas da região em estudo, como mostra a tabela 2 a seguir.

Figura 2 – Modelo Digital de Elevação da cidade de Jacutinga – MG.



Fonte: Do autor (2021).

Tabela 2 - Altitudes dos pontos de pontos monitorados.

Descrição	Altitude (m)		
	Máxima	Mínima	Média
N1	1062	940	1001
N2	1218	1151	1184
N3	1277	999	1139
N4	1276	1158	1225
C1	1117	819	968
C2	1341	988	1207

Fonte: Do autor (2021).

2.4 Determinação de precipitação e índice de qualidade de água

Dentro da área de estudo foi instalado um pluviômetro automático do tipo balança, modelo *Data Logging Rain Gauge RG3 – M*, marca *Onset HOBO Data Loggers*.

No tocante às coletas, estas foram armazenadas em frascos próprios, sendo que para as amostras para realização da análise de Coliformes Termotolerantes os frascos eram coletores universais esterilizados.

Durante a etapa de monitoramento, a medição da temperatura foi realizada *in situ* em todos os pontos de monitoramento, utilizou-se para essa finalidade um termômetro digital LCD, cujo a faixa de medição varia de -50 °C a 300 °C.

O Oxigênio Dissolvido foi fixado em campo, pois a distância percorrida durante a campanha de monitoramento é longa, e para a preservação da amostra a fixação do oxigênio é essencial. Foram utilizados os reagentes Iodeto de Azida e Sulfato Manganoso de acordo com Standart of Methods (APHA, 2012).

Feita as coletas, foram determinadas as seguintes variáveis para o cálculo do IQA: Coliformes Termotolerantes, Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrato (NO_3^-), Fosfato Total (PO_4^{3-}), Turbidez e Resíduos Totais (Sólidos Totais). As análises foram realizadas no Laboratório de Hidrologia do Departamento de Recursos Hídricos e no Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Lavras (UFLA), utilizou-se o Laboratório de Análise de Qualidade de Água, seguindo as normas regulamentadas de acordo com (APHA, 2012). Na Tabela 3, mostra-se as variáveis que compõe o Índice de Qualidade de água e seus métodos de análise em laboratório.

Tabela 3 - Variáveis que compõe o IQA e seus respectivos métodos de análise.

Parâmetro (s)	Variável	Método
Biológico	Coliformes Termotolerantes	Método dos tubos múltiplos
	Oxigênio Dissolvido	Método de Winkler
Químicos	pH	Potenciometria
	DBO	Método de Winkler
	Nitrato	Adaptação do método de redução pelo cádmio
	Fosfato	Adaptação do método do aminoácido
	Cloretos	Método de Mohr
Físicos	Turbidez	Método nefelométrico
	Resíduos Totais	Método gravimétrico
	Variação de Temperatura	Termômetro digital

Fonte: Do autor (2021).

As variáveis necessárias do Índice de Qualidade de Água, segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM (2018b), são mostradas na Tabela 4, junto aos respectivos pesos.

Tabela 4 - Peso das variáveis para o cálculo do IQA.

Variável	Peso - w_i
Oxigênio Dissolvido – OD (% OD)	0,17
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	0,15
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg.L ⁻¹)	0,10
Nitratos (mg.L ⁻¹ NO ₃)	0,10
Fosfatos (mg/L PO ₄ ³⁻)	0,10
Variação na Temperatura (° C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos Totais (mg. L ⁻¹)	0,08

Fonte: Instituto Mineiro das Águas, IGAM (2018b) adaptado.

O cálculo do Índice de Qualidade de Água é realizado de um produtório de acordo com a Equação 2 descrita a seguir:

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i} \quad (2)$$

Em que:

IQA – Índice de qualidade da água, um número de 0 a 100;

q_i – Qualidade do parâmetro i obtido por meio da curva média específica de qualidade;

w_i – Peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade (entre 0 e 1) –

Tabela 3.

O IQA pode ser classificado em 5 classes de qualidade conforme valores presentes na Tabela 5.

Tabela 5 - Nível de qualidade da água.

Nível de qualidade	Faixa
Excelente	90 < IQA < 100
Bom	70 < IQA < 90
Médio	50 < IQA < 70
Ruim	25 < IQA < 50
Muito ruim	0 < IQA < 25

Fonte: Instituto Mineiro das Águas, IGAM (2014).

2.5 Teste de comparação de médias de Scott Knott

O método de Scott & Knott aborda comparações múltiplas, realizando a comparação de médias por meio de grupos formados, sendo estes de forma homogênea, minimizando a soma dos quadrados dentro dos grupos e maximizando entre eles. Consiste em testar o quão significativo é a divisão de k tratamentos em dois grupos que maximizem a soma de quadrados entre eles utilizando a razão de verossimilhança (RAMALHO *et al.*, 2000; PINHEIRO, 2017).

Os dados obtidos mediante as análises de laboratório foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott & Knott (SCOTT; KNOTT, 1974), em nível de significância de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teste de comparação de médias das variáveis de qualidade de água

Nas Tabelas 6 e 7 a seguir são apresentados os resultados encontrados nos testes de comparação das variáveis de qualidade da água que compõem o Índice de Qualidade de Água, tanto para as nascentes quanto para os cursos d'água monitorados.

Tabela 6 - Valores médios das variáveis aferidas de qualidade de água nas nascentes monitorados.

Variável	Nascentes			
	N1	N2	N3	N4
C.T (NMP/100 mL)	16,1545b	2469,418a	4,0583b	3223,91a
DBO (mg. L⁻¹)	0,9858a	1,1845a	1,1409a	1,0826a
PO₄³⁻ (mg. L⁻¹)	0,0713a	0,0167b	0,0394b	0,1018a
pH	7,2315a	7,2892a	6,9585a	7,44a
O.D (mg. L⁻¹)	6,7562b	6,76b	5,9485b	7,3092a
S.T (mg. L⁻¹)	0,0252a	0,0547a	0,0291a	0,0834a
T. (°C)	19,0385b	19,2077b	21,6538a	20,8138a
Turb. (UNT)	0,6413b	4,0717b	1,1765b	8,661a
NO₃⁻ (mg. L⁻¹)	0,0423b	0,1196b	0,2916a	0,1667a

Nota: C.T (Coliformes Termotolerantes); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); PO₄³⁻ (Fosfato Total); pH (Potencial Hidrogeniônico); O.D (Oxigênio Dissolvido); S.T (Sólidos Totais); Turb (Turbidez) NO₃⁻ (Nitrato).

Fonte: Do autor (2021).

De acordo com o que foi observado na Tabela 6, verifica-se que as médias das concentrações de Coliformes Termotolerantes dentro do período monitorado foram superiores ao permitido pela DN COPAM CERH 01/08 (Classe 2), em algumas campanhas (valor de 1000 NMP/100 mL). Pelos resultados estatísticos encontrados, o N2 e N4 mostraram divergentes das

demais nascentes, situações associadas às atividades antrópicas, que são caracterizadas pela agropecuária intensiva nos pontos de monitoramento.

Considerando a Demanda Bioquímica de Oxigênio, identificou-se que não houve diferença estatística significativa entre os valores encontrados nas diferentes nascentes, e que todas as nascentes apresentaram DBO abaixo do limite da classe 2 de enquadramento, conforme a DN COPAM CERH (01/08) que é de 5 mg. L^{-1} . Desta forma, pode-se afirmar que os diferentes usos existentes nas áreas de recarga das nascentes estudadas não provocaram alterações significativas nos valores de DBO.

Os resultados encontrados de Fosfato total mostraram maiores valores nas nascentes N1 e N4, sendo o primeiro associado à presença do gado e o segundo às residências nas proximidades dos pontos de monitoramento. Na nascente com pastagem, somente a característica fosfato total se encontrou fora dos padrões da DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2 que é de $0,1 \text{ mg. L}^{-1}$. Donadio *et al.* (2005) citam que no trabalho realizado na bacia hidrográfica do Córrego Rico, os valores acima do permitido da variável fosfato pode ser explicado pela presença do elemento químico em fezes e/ou rompimento de depósitos naturais consequentes da erosão de rochas que contenham fosfatos, agravados pela ausência da vegetação nessa nascente.

Von Sperling (2014) aponta que o oxigênio dissolvido é uma das variáveis de maior importância para os organismos aeróbios, além de ser a principal variável que caracteriza o efeito das poluições das águas por despejos orgânicos e, durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio em seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Os resultados estatísticos mostraram que a nascente N4 apresentou os maiores valores de oxigênio dissolvido e que as nascentes N1, N2 e N3 não diferiram estatisticamente, embora N3 tenha apresentado o menor valor de OD e uma maior quantidade de matéria orgânica, sendo estes resultados associados a presença de matéria orgânica nas proximidades dos pontos amostrados.

A temperatura da água dentro do monitoramento variou de 15 a $28,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura é uma variável fundamental na qualidade das águas, pois o lançamento de um determinado efluente no corpo hídrico pode causar aumentos nas taxas das reações físicas, químicas e biológicas, causando mau cheiro e baixa quantidade de oxigênio dissolvido.

A variável Turbidez se mostrou dentro dos valores máximos permitidos por lei (DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2). Avaliando a média de variância dos resultados, os N1, N2 e N3 encontraram valores inferiores ao N4, sendo associados à ausência de fossas sépticas a montante do ponto amostral.

Já para a variável Nitrato, as nascentes N1 e N2 não se diferiram estatisticamente, entretanto, apresentaram valores de Nitrato menores que N3 e N4, sendo associados a presença de efluentes não tratados e a utilização de defensivos agrícolas nitrogenados. Pinto (2012), em trabalho com avaliação da qualidade de água das nascentes no sul de Minas Gerais, mais especificamente em Inconfidentes, cita que em uma das nascentes monitoradas nas proximidades de residências, se deve à ausência de fossas sépticas a montante dos pontos de monitoramento.

Na Tabela 7 são mostrados os resultados de análise de variância para as médias das variáveis que compõe o índice de qualidade de água nos cursos d'água monitorados.

Nos cursos d'água amostrados, os valores de Coliformes Termotolerantes ficaram todos acima do permitido, sendo a DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2, situação associada, principalmente, pela ausência de mata ciliar e atividades agrícolas a montante nos pontos de monitoramento. Amancio *et al.* (2017) mostram no trabalho realizado em duas sub-bacias hidrográficas na UPGRH GD1 e GD2 que os mesmos foram associados às atividades agropecuárias no entorno dos pontos de monitoramento.

Na variável Fosfato nos dois cursos d'água monitorados foram encontradas duas campanhas acima do permitido, ambas nos períodos chuvosos, fator associado aos registros de chuva em dias anteriores e à agropecuária intensiva. A presença do fosfato em águas superficiais pode estar relacionada a baixa concentração de partículas em suspensão, responsáveis por adsorver o fosfato (KOMATSU *et al.*, 2006).

O oxigênio dissolvido foi determinado *in loco*. De acordo com a DN COPAM 01/08 (Classe 2), o valor máximo permitido para Classe 2 é acima de 5 mg. L⁻¹, sendo que todas as campanhas ficaram dentro dos parâmetros permitidos. Porém, pela análise de variância determinada pelas médias comparativas, o C1 apresentou valores acima em relação ao C2, corroborando com maiores concentrações de DBO, fator associado à presença de matéria orgânica, principalmente das atividades agrícolas e à ausência de mata ciliar a montante do ponto de monitoramento.

Os Sólidos Totais e a Turbidez dentro dos dois cursos d'água mostraram-se abaixo do permitido junto à DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2 que é de 500 mg. L⁻¹ e 100 UNT, respectivamente. A presença de sólidos pode estar associada à presença de efluentes não tratados e processos erosivos (MATOS, 2012).

A temperatura nos cursos d'água variou de 14,9 a 24,1 °C. A água apresenta uma excepcional habilidade de armazenar calor, isso faz com que um rio, depois de aquecido, volte

muito lentamente a sua temperatura natural. A poluição térmica de várias fontes, também pode apresentar efeito cumulativo (BRANCO, 1981; PERCEBON, 2005).

O NO_3^- nos dois pontos de monitoramento foi abaixo do permitido em todas as campanhas, segundo a DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2 que é de 10 mg. L^{-1} . Pinto *et al.*, (2013) monitoraram duas sub-bacias na Serra da Mantiqueira e observaram valores baixos de Nitrato e Fosfato monitorando áreas com presenças de pastagem e mata atlântica, indicaram a falta de uso de defensivos agrícolas como explicação.

Tabela 7 - Valores médios das variáveis aferidas de qualidade de água nos cursos d'água monitorados.

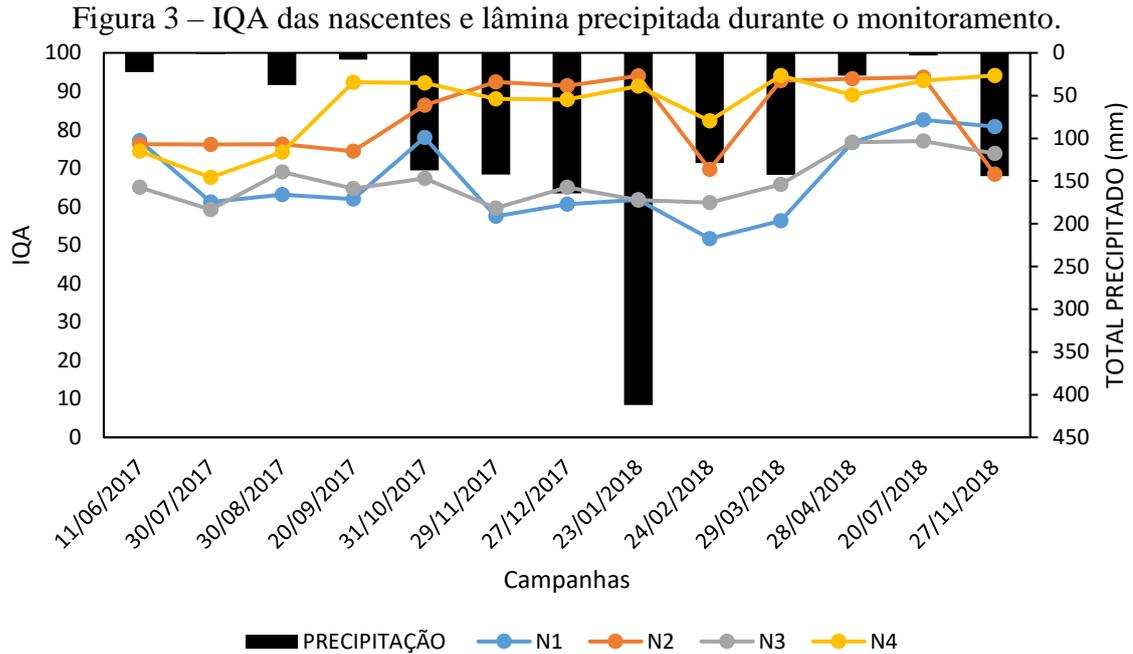
Variável	Cursos D'água	
	C1	C2
C.T (NMP/100 mL)	15307,6923a	14461,5385a
DBO (mg. L⁻¹)	1,0182a	1,1578a
PO₄³⁻ (mg. L⁻¹)	0,0666a	0,0599a
pH	7,4269a	7,2023a
O.D (mg. L⁻¹)	7,4862a	6,5369b
S.T (mg. L⁻¹)	0,062a	0,043a
T. (°C)	19,5692a	19,2538a
Turb. (UNT)	2,7923a	3,1797a
NO₃⁻ (mg. L⁻¹)	0,4401a	0,2855a

Nota: C.T (Coliformes Termotolerantes); DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); PO₄³⁻ (Fosfato Total; pH (Potencial Hidrogeniônico); O.D (Oxigênio Dissolvido); S.T (Sólidos Totais); Turb (Turbidez) NO₃⁻ (Nitrato).

Fonte: Do autor (2021)

3.2 Índice de qualidade de água

Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os valores encontrados dos indicadores de qualidade de água e a lâmina precipitada durante o monitoramento.



Analisando a Figura 3 e considerando o N1, verifica-se que no período de estiagem, foram registrados valores com o IQA final variando entre Médio e Bom, sendo os mesmos associados ao baixo índice pluviométrico registrado no período amostrado. Valores de Coliformes Termotolerantes e Fosfato em algumas campanhas foram limitantes, sendo os mesmos não afetados nos resultados finais do índice de qualidade de água. Já no período chuvoso, os valores variaram entre Ruim, Médio e Bom. A variável em maior destaque no ponto amostral N1 foram os Coliformes Termotolerantes, em destaque principal a 9ª campanha (24/02/2018), sendo o registrado o maior valor na nascente monitorada, devido aos altos registros pluviométricos em dias anteriores a coleta. Pinto *et al.* (2013) mencionam no estudo nas nascentes do Rio Grande, na Serra da Mantiqueira, as atividades de pastagem contribuíram para o aumento das variáveis de nitrato, coliformes termotolerantes e temperatura. Índices pluviométricos registrados em dias anteriores e a proximidade do gado no entorno do ponto amostral foram cruciais para os resultados encontrados. Sua média final encontrada foi de 66,88 apresentando um IQA final como Médio.

Já o N2, durante o período de seca, apresentou valores satisfatórios, variando de um IQA Médio, Bom e Excelente. O valor de 68,47, registrado na última campanha foi o pior registrado no ponto amostral em questão, sendo este associado às altas precipitações registradas em dias anteriores ao período de coleta. Durante todo o monitoramento, as variáveis de maior peso dentro do IQA não apareceram acima do permitido, situação correlacionada aos resultados finais encontrados. Galatto *et al.* (2011) citam que as nascentes no município de Criciúma e

tiveram resultados satisfatórios nas nascentes, alegando principalmente que a metodologia adotada não classifica as águas como potáveis, mas fornece a informação que após um tratamento convencional a água serve para abastecimento público.

No N3, no período de estiagem e chuvoso registrou-se valores finais com IQA Médio e Bom, não ocorrendo influência da sazonalidade no ponto amostrado. Stoddart *et al.* (1998) relatou no seu experimento realizado no estado Kentucky, que em áreas rurais, a presença de dejetos animais aumenta significativamente os coliformes fecais em comparação com áreas sem dejetos. O menor valor registrado do IQA foi na terceira campanha, onde os Coliformes Termotolerantes tiveram um dos maiores registros dentro do monitoramento, sendo importante para o resultado final. Fato este associado a presença de fezes de animais próximas do ponto amostrado. Barros *et al.* (2011) referem sobre o monitoramento de nascentes na sub-bacia do Córrego André, no Mato Grosso, que o aumento dos coliformes nos pontos relatados deve-se à contribuição de fezes de animais bovinos. No maior valor registrado foi na décima primeira campanha com o IQA Médio (valor de 77,05).

Lee *et al.* (2009) e Agrizzi (2018) apontam que o impacto das florestas na redução de coliformes e também da DBO é maior quando esta não se encontra fragmentada, fato semelhante ao N4. Mesmo com o fato de o N4 ter residências nas proximidades do ponto de monitoramento, este fator não acarretou em altos valores de fosfato, nitrato e coliformes termotolerantes. Fato contrário a Pinto (2009) que cita em seu trabalho, que um dos pontos de monitoramento próximo a residências foi o de maior preocupação, pois nos resultados das análises laboratoriais houve muita presença do nitrato. Provavelmente, a explicação se deve à ausência das fossas sépticas nas residências à montante dessa nascente.

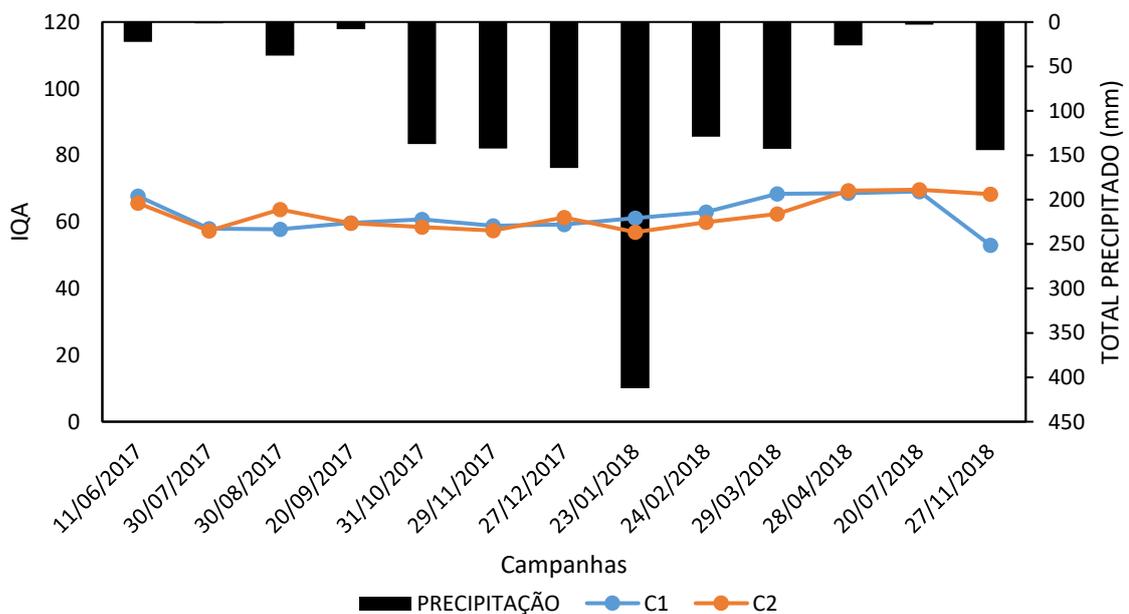
Dentro do monitoramento realizado pelas quatro nascentes os resultados finais variaram entre Médio e Bom, sendo que as atividades antrópicas afetaram de forma significativa os resultados, como aplicação de defensivos agrícolas, criação de animais e proximidades de residências junto aos pontos de monitoramento. Fia *et al.* (2015) citam durante o monitoramento realizado no Ribeirão Vermelho, na cidade de Lavras, que as principais atividades antrópicas que mais contribuíram para os resultados encontrados foram a presença de matéria orgânica e a presença de nutrientes, associadas ao lançamento de efluentes não tratados e também à pecuária nas proximidades dos pontos de monitoramento.

No C1, por exemplo, como mostra a Figura 4, os resultados do IQA final dentro do monitoramento foram classificados como Médio, sendo que não foi observado interferência de sazonalidade, sendo classificado como Médio. O baixo valor encontrado do IQA foi na última campanha, com valor de 53,00 (Médio), sendo associado a alta lâmina precipitada nos dias

anteriores à amostragem, carreando grandes quantidades de material orgânico. Magalhães Jr. *et al.* (2008) citam no trabalho realizado na Bacia do Ribeirão, na cidade de Carrancas, que os resultados encontrados afetaram a degradação da qualidade da água, principalmente pelo lançamento indevido de efluentes não tratados de área urbana e também pela influência de atividade de pecuária na região, resultando, principalmente, no comprometimento para fins de recreação e lazer. Os altos valores encontrados de Coliformes Termotolerantes em todo o monitoramento refletiram nos resultados encontrados. Durante o período chuvoso os resultados finais encontrados podem ser associados às altas lâminas precipitadas, vindo a montante do ponto amostrado carreando grandes quantidades de material orgânico, corroborando para os resultados finais encontrados.

No C2 os valores finais encontrados do Índice de Qualidade de Água foram classificados na faixa de Médio. Nos períodos secos tiveram os melhores valores devido à baixa lâmina precipitada. Nos períodos de chuva, os resultados foram contrários, mostrando que a lâmina precipitada afetou de forma significativa os resultados encontrados, sendo carreadas grandes quantidades de material orgânico. Outro detalhe que afetou os resultados encontrados foram a presença de bovinos no entorno do ponto de monitoramento. Alves (2012) cita no seu trabalho, que estas áreas sofrem influência de efluentes urbanos e da presença de gado, sendo estes fatores considerados como fontes difusas de lançamento de esgoto não tratado, gerando contaminação por matéria orgânica fecal.

Figura 4 – IQA dos cursos d'água e lâmina precipitada durante o monitoramento.



Fonte: Do autor (2021).

4 CONCLUSÕES

- i. Análise de variância permitiu identificar que não existiu um padrão de comportamento entre as nascentes estudadas, e que houve diferenças entre as nascentes somente para as variáveis DBO, pH e S.T. Já analisando os cursos de água somente OD apresentou valores distintos quando se comparou C1 e C2.
- ii. Com relação ao IQA é possível concluir que as nascentes N2 e N4 apresentaram os melhores valores em 11 campanhas, sendo que o mesmo foi classificado como bom. As nascentes N1 e N2 apresentaram comportamento semelhante, porém, com IQA inferior 70 em 9 de 13 campanhas de monitoramento.
- iii. Com relação aos cursos de água, os comportamentos do IQA foram semelhantes, considerando os 2 cursos de água monitorados e em todas as campanhas o IQA foi inferior a 70.
- iv. O regime de chuvas no município de Jacutinga não afetou de forma clara o comportamento do IQA em campanhas de monitoramento isoladas, porém, pode ter algum efeito em uma análise sazonal.

REFERÊNCIAS

- AGRIZZI, D. V.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O.; AMARAL, A. A.; FIRMINO, E. F. A.; MENDES, N. G. S. Qualidade da água de nascentes do assentamento paraíso. **Eng Sanit Ambient.**, [S.l.], v. 23 n. 3, maio/jun. 2018.
- ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazônia**, [S.l.], v. 42, p. 115-124, 2012.
- AMANCIO, D. V. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 1, jan./mar. 2018.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 135-142, 2005.
- ANDRIETTI, G; FREIRE, R; AMARAL, A, G; ALMEIDA, F, T; BONGIOVANI, M, C; SHNEIDER, R, M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 11 n. 1, jan./mar. 2016.
- APPHA. American Public Health Association. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2012.
- BARROS, R. V.G.; SOUZA, C. A. Qualidade do recurso hídrico do Córrego André, Mirassol D'Oeste, MT. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** [S.l.], n. 24, jun. 2011.
- BRANCO, S. M. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 1-36.
- BRASIL. Ministério Da Saúde. **Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017**. Dispõe sobre normas e os procedimentos sobre ações e os serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde, 28 de setembro de 2017. p. 926.
- CBH GRANDE. **Comitê da bacia hidrográfica do rio Grande**. Bacia. [2019]. Disponível em: <http://cbhgrande.org.br/bacia>. Acesso em: 27 maio 2020.
- CECCONELLO, S. T.; CENTENO, L. N.; GUEDES, H. A., S. Índice de qualidade de água modificado pela análise multivariada: estudo de caso do Arroio Pelotas, RS, Brasil. **Eng Sanit Ambient**, [S.l.], v. 23, n. 5, p. 973-978, set./out. 2018.
- COPAM. 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 de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2008. p. 8.
- DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, 2005.

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G, S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 46, n. 2, p. 277-286, abr./jun. 2015.

FIA, R.; TADEU, H. C.; MENEZES, J. P. C.; FIA, F. R. L.; OLIVEIRA, L. F. C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **RBRH**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 267- 275, jan./mar. 2015.

GALATTO, S. L.; ALEXANDRE, N. Z.; PEREIRA, J. L.; PATRÍCIO, T. B.; VASSILIOU, M.; FERNANDES, A. N.; FRASSETTO, J.; VALVASSORI, M. L. Diagnóstico ambiental de nascentes no município de Criciúma, Santa Catarina. **Revista de Ciências Ambientais**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 39-56, 2011.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013**: resumo executivo. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2014.

_____. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portal dos Comitês. **GD6 – CBH dos rios Mogi Guaçu e Pardo**. 2017. Disponível em: <http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg/gd6-cbh-dos-rios-mogi-guacu-e-pardo>. Acesso em: 02 abr. 2021.

_____. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Portal Infohidro. Informações sobre recursos hídricos. **Índice de qualidade das águas - IQA**. 2018b. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/319-indice-de-qualidade-das-aguas-iqa>. Acesso em: 06 abr. 2021.

KOMATSU, E.; FUKUSHIMA, T.; SHIRASHI, H. Modeling of P-dynamics and algal in a stratified Reservoir – mechanis of P-cycle in water and interaction between overlying water and sediment. *Ecological Modelling*, [S.l.], v. 197, n. 3-4, p. 331-349, 2006.

LEE, S.-W.; HWANG, S.-J.; LEE, S.-B.; HWANG, H.-S.; SUNG, H.-C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Landscape and Urban Planning**, [S.l.], v. 92, n. 2, p. 80-89, 2009.

LOPES, F. B. *et al.* Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

MAGALHÃES JR., A. P.; DE AZEVEDO LOPES, F. W.; PEREIRA, J. A. A. P. Avaliação da qualidade das águas e condições de balneabilidade na bacia do ribeirão de Carrancas- MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 13, p. 111-120, 2008.

MARTINS, F. B. *et al.* Classificação climática de köppen e de thornthwaite para minas gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 1, 2018.

MARTINS, L. de F. *et al.* Composição da macrofauna do solo sob diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, eucalipto e mata nativa) em Jacutinga (MG). **Revista Agrogeoambiental**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 11-22, 2017.

MATOS, A. T. de. **Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório.** Viçosa: UFV, 2012.

PERCEBON, C. M.; BITTENCOURT, A. V. L.; FILHO, E. F. R. Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC. **Boletim Paranaense de Geociências**, UFPR, n. 56, p. 7-19, 2005.

PINTO, D. F. B.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; COELHO, G. Qualidade da água do ribeirão Lavrinha na região do Alto Rio Grande – MG Brasil. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1145-1152, jul./ago. 2009.

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 495-505, jul/set. 2012.

PINTO, L. C.; MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; ÁVILA, L.F. Water quality index in two land use situations in the Mantiqueira Range. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 338 - 342, jul./ago. 2013.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas.** Lavras: UFLA, 2000. p. 87-134.

SÁNCHEZ, E. *et al.* Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. **Ecological Indicators**, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 315-328, 2007.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

VIALLE, C. *et al.* Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. **Water Research**, [S.l.], v. 45, n. 12, p. 3765-3775, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

STODDART, C. S.; COYNE, M. S.; GROVE, J. M. Fecal bacteria survival and infiltration through a shallow agricultural soil: Timing and tillage effects. **J Environmental Quality**, [S.l.], v. 27, p. 1516-1523, 1998.

WICKHAM, J. D.; WADE, T. G.; RIITERS, K. H. An environmental assessment of United States drinking water watersheds. **Landscape Ecology**, [S.l.], v. 26, n. 5, p. 605-616, 2011.

WU, J.; LONG, S. C.; das D.; DORNER, S. M. Are microbial indicators and pathogens correlated? A statistical analysis of 40 years of research. **Journal of Water and Health**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 265-278. 2011.

ARTIGO 2 ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS DOS ELEMENTOS TRAÇO EM REGIÕES DE ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS – MG

RESUMO

A qualidade de água é resultante de fenômenos naturais e antrópicos em função do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica. Para uma boa gestão dos recursos hídricos é imprescindível compreender um pouco da complexa interrelação entre o uso e ocupação da terra e seus efeitos sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Em regiões de estâncias hidrominerais este conhecimento assume maior importância, pois, estas regiões dependem sobremaneira da qualidade de seus recursos hídricos para manutenção de sua prosperidade. Objetivou-se neste trabalho avaliar a produção de água, caracterizar e avaliar o comportamento dos metais pesados nos pontos de monitoramento na UPGRH – GD6 (Rio Mogi – Guaçu). O período de monitoramento ocorreu de 11 junho de 2017 a 27 de novembro de 2018, totalizando 13 coletas. Foram selecionados 6 pontos, sendo quatro nascentes (N1, N2, N3 e N4) e dois cursos d'água (C1 e C2). As análises laboratoriais foram realizadas no Departamento de Recursos Hídricos, no Laboratório de Hidrologia, na UFLA – MG. As concentrações das variáveis analisadas em laboratório foram comparadas pelas médias aferidas junto ao Teste de Scott & Knott a 5% de significância. As nascentes mostraram bons Rendimentos Específicos durante o monitoramento, situação que os solos apresentaram boa recarga. Já o C1 mostrou baixa recarga em relação ao C2. Com base nos resultados observou-se valores acima do permitido do Cobre, Ferro, Manganês e Zinco. Dentro de todo o monitoramento, houve diferenças significativas e acima do permitido, associados a mineralogia local, pecuária, e uso de pesticidas.

Palavras- chave: Metal pesado. Produção de água. Atividades naturais e antrópicas.

ABSTRACT

Water quality is the result of natural and man-made phenomena, which in turn is a function of land use and occupation in the hydrographic basin. For a good management of water resources it is essential to understand a little of the complex interrelationship between the use and occupation of soil and its effects on the quality of surface and underground water resources, in regions of hydro-mineral estates this knowledge assumes greater importance, as these regions depend heavily on the quality of their water resources to maintain their prosperity. The objective of this work was to evaluate the production of water together with the specific yield, to characterize and evaluate the behavior of heavy metals at the monitoring points at UPGRH - GD6 (Rio Mogi - Guaçu). The monitoring period took place from June 11, 2017 to November 27, 2018, totaling 13 collections. Six points were selected, four springs (N1, N2, N3 and N4) and two watercourses (C1 and C2). Laboratory analyzes were performed at the Water Resources Department, especially at the Hydrology Laboratory, at UFLA - MG. The springs showed good Specific Yields during the monitoring, a situation that the soils of the respective points presented good recharge. C1, on the other hand, showed low recharge in relation to C2. Based on the results, values above copper, iron, manganese and zinc were observed. Within all monitoring, there were significant and above-permitted differences, associated with local mineralogy, livestock, and pesticide use.

Keywords: heavy metal, water production, natural and anthropogenic activities.

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial a vida, porém, o processo de uso e ocupação do solo é marcado pela exploração dos recursos naturais, alterado, principalmente, pela cobertura do solo visando o desenvolvimento urbano e também as atividades agropecuárias. As mudanças na cobertura do solo, como a retirada de vegetação nativa na substituição para atividades agropecuárias alteram significativamente a paisagem, qualidade e quantidade de água.

Oliveira *et al.* (2020) abordam que as explorações desordenadas em áreas de recarga alteram a quantidade e qualidade de água. Em consequência, a água potável de fácil acesso será um dos principais problemas pela população mundial nas próximas décadas.

A qualidade e a quantidade da água de uma nascente podem ser alteradas por diversos fatores, destacando-se o clima, o relevo, as classes de solos, a cobertura vegetal e o uso do solo (KEESE; SCANLON; REEDY, 2005; MENEZES *et al.*, 2009), além da profundidade do solo (ARNOLD *et al.*, 2000; MENEZES *et al.*, 2009).

A qualidade das águas em regiões hidrominerais tem um grande valor econômico, pois suas propriedades atraem de forma significativa o turismo para a região. O que afeta gradativamente as nascentes e cursos d'água são as poluições de origem orgânica e inorgânica, decorrentes de atividades, industriais e domésticas. Simedo *et al.* (2018) citam que o uso do solo reflete na qualidade das águas, sendo que para uma melhor gestão é imprescindível práticas agrícolas que auxiliam e contribuem no controle da poluição das águas e também elaborar uma política pública para a conservação dos recursos naturais.

No sul de Minas Gerais, as zonas rurais se utilizam de águas provenientes de nascentes e nenhum controle de qualidade é realizado. Lavado *et al.* (2020), citam que as atividades antrópicas, em especial as industriais e agrícolas geram diversos impactos nas águas superficiais e subterrâneas, e acabam gerando problemas na qualidade das águas para abastecimento.

Os metais pesados presentes nas águas superficiais são denominados como elementos traços ou metais traços. Mortatti *et al.* (2010) citam que os metais pesados estão presentes nas mais diversas formas, seja pela atmosfera, água, solos, sedimentos e organismos vivos, como os principais poluentes oriundos de atividades antrópicas.

Elementos traços são contaminantes ambientais estáveis e persistentes, uma vez que não podem ser degradados e, a depender das características físicas e químicas do ambiente aquático, reagem, se dispersam ou são mobilizados e depositados nos sedimentos, constituindo um perigo potencial pelas características de biodisponibilidade que podem adquirir.

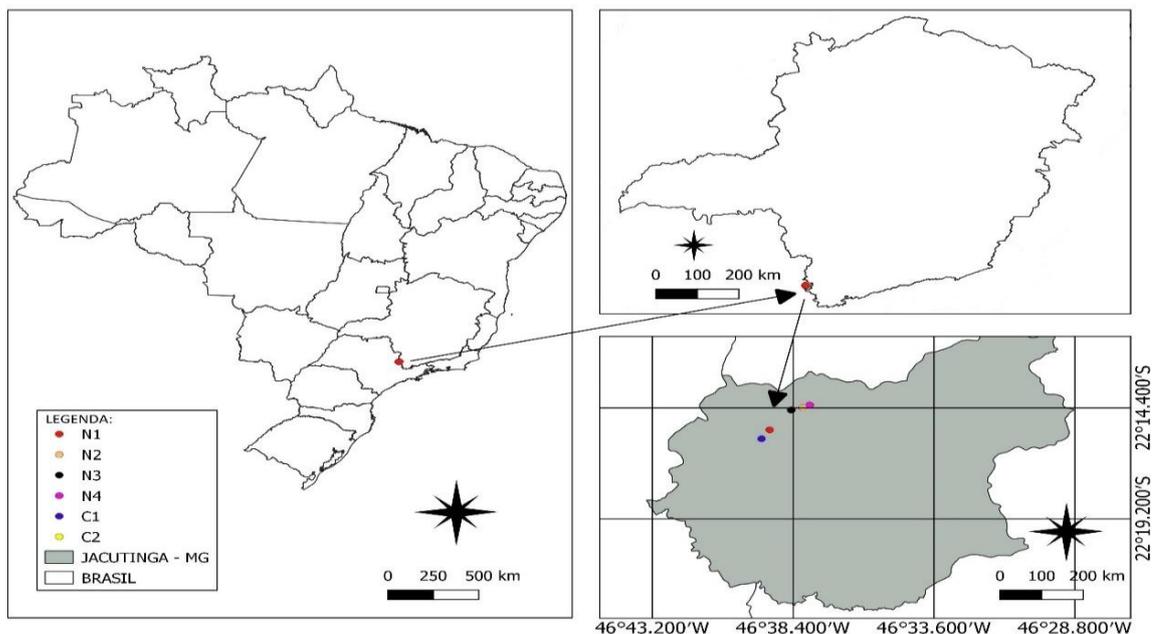
Neste contexto, objetivou-se neste trabalho caracterizar os valores encontrados dos metais pesados junto à DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2 e também a análise de variância das médias por meio do Teste de Scott & Knott.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização geográfica na região em estudo

O município onde foi feito o estudo denomina-se Jacutinga, localizado numa região de estância hidromineral no sul de Minas Gerais e faz divisa com o estado de São Paulo. A Figura 1, mostra a localização geográfica junto aos respectivos pontos de monitoramento em estudo.

Figura 1 – Localização dos pontos de monitoramento na região em estudo na cidade de Jacutinga – MG.



Fonte: Do autor (2021).

As principais atividades dentro da cidade de Jacutinga são a indústria têxtil (Tricot), cafeicultura, pecuária, exploração de água mineral, turismo e também silvicultura. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2019), a cidade tem uma área de aproximadamente 347,667 km² com uma população de 22.772 de 2010, de acordo com o censo, era de 22.772 habitantes (IBGE, 2019). Martins *et al.* (2017) citam que as principais atividades econômicas estão entre a cafeicultura, cultivo de cana-de-açúcar, pecuária, silvicultura, indústria têxtil, turismo e exploração de água mineral.

A cidade de Jacutinga está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – GD6 dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu, sendo a região em estudo está localizada no Rio Mogi Guaçu. Sua classificação climática, segundo Köppen para o município é Cwa, com inverno seco e verão quente, variando com a temperatura mais alta acima de 22°C para o mês mais quente e para o mês mais frio, inferior a 16 °C (MARTINS *et al.*, 2018).

2.2 Pontos de monitoramento na área amostrada

Na Tabela 1 são apresentados os seis pontos amostrais, com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e altitude. Foram selecionados 6 pontos amostrais, sendo 4 nascentes (N1, N2, N3 e N4) e 2 cursos d'água (C1 e C2). O período de monitoramento ocorreu entre os dias 11/06/2017 a 27/11/2018. Para escolha dos pontos amostrais foram observadas as características de uso e ocupação do solo, critérios hidráulicos e logísticos.

Tabela 1 - Pontos de amostragens e suas respectivas coordenadas.

Descrição	Nascente	Coordenadas		Altitude (m)
	E Curso D'água	(Latitude e Longitude)		
N1	Nascente	22°16'24,5"S	46°37'36,65"O	938
N2	Nascente	22°14'22,00"S	46°38'4,00" O	1151
N3	Nascente	22°14'28,72"S	46°38,28,58"O	999
N4	Nascente	22°14'49,61"S	46°42'8,63" O	1201
C1	Curso d'água	22°15'43,77"S	46°39'28,53"O	819
C2	Curso d'água	22°14'29,20"S	46°38'27,81"O	988

Fonte: Do autor (2021).

2.3 Área de drenagem e relevo

As áreas de drenagem dos respectivos pontos de monitoramento foram obtidas por meio de coordenadas geográficas, sendo estas, obtidas, por meio de um GPS Portátil Adventure Garmin Map 64. Na Tabela 2, são apresentadas a área de drenagem e o perímetro de cada ponto de monitoramento.

Tabela 2 - Área de drenagem dos pontos de monitoramento.

Localização	Descrição	Perímetro (km)	Área de Drenagem (ha)
Rio Mogi-Guaçu (GD6)	N1	0,86	3,61
	N2	0,69	3,37
	N3	2,70	45,42
	N4	1,12	8,66
	C1	3,55	58,43
	C2	10,72	623,65

Fonte: Do autor (2021).

O relevo da região foi obtido por meio de um modelo digital de elevação (MDE Alos – Palsar) com resolução espacial de 12,5 m. Pelo Modelo Digital de Elevação foram o gerados as altitudes máximas, médias e mínimas das áreas de drenagem de cada ponto de monitoramento, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Altitudes máxima, mínima e média das áreas de drenagem.

Descrição	Altitude (m)		
	Máxima	Mínima	Média
N1	1062	940	1001
N2	1218	1151	1184
N3	1277	999	1139
N4	1276	1158	1225
C1	1117	819	968
C2	1341	988	1207

Fonte: Do autor (2021).

A declividade da área de estudo variou do maior valor de 72,35% tendo uma declividade média variando entre 25 a 37%. As declividades máxima, mínima e média das respectivas áreas de drenagem de estudo podem ser visualizadas na Tabela 4.

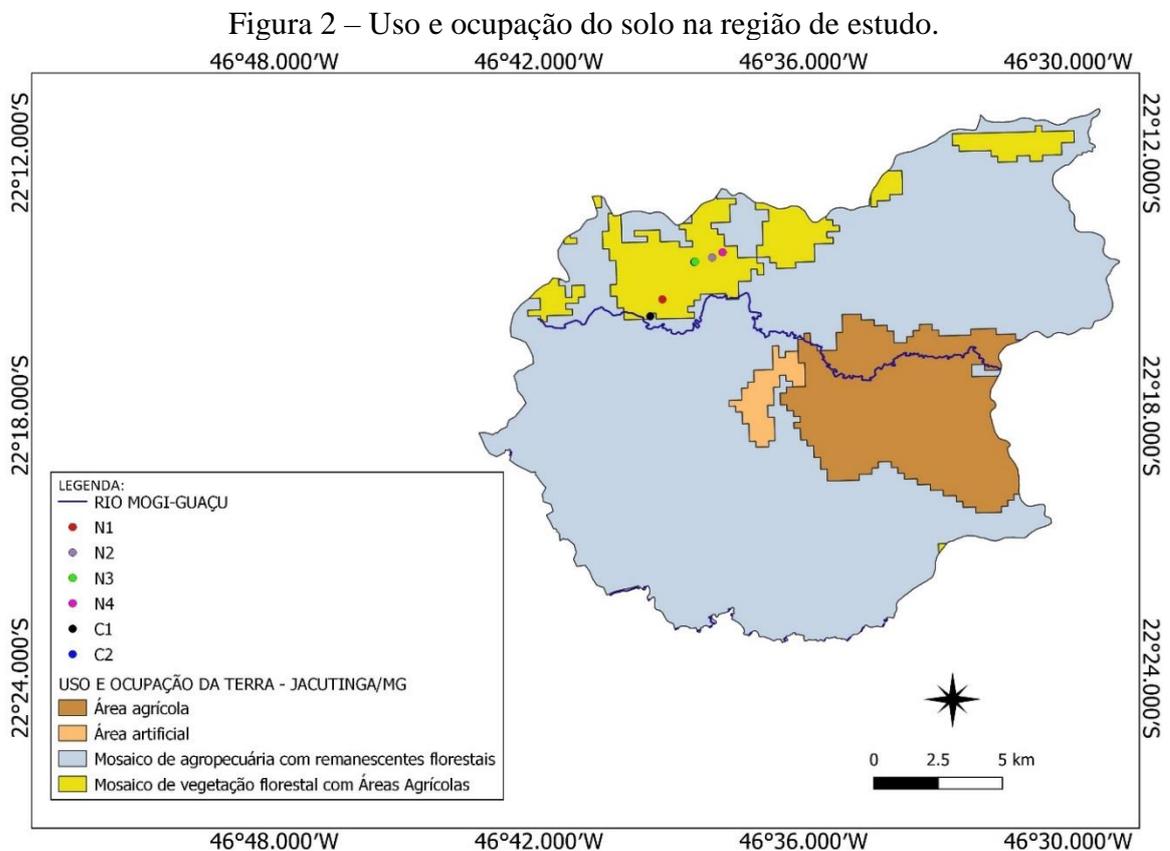
Tabela 4 - Declividade máxima, mínima e média das áreas de drenagem.

Descrição	Declividade (%)		
	Máxima	Mínima	Média
N1	63,7	7,07	36,86
N2	44,29	9,06	29,68
N3	64,12	1,48	30,11
N4	59,08	3,16	31,35
C1	72,35	0,00	31,85
C2	0,00	78,92	25,10

Fonte: Do autor (2021).

2.4 Uso e ocupação da terra

A base de dados do uso e a ocupação da terra da região em estudo, conforme mostra a Figura 2, contém diversas informações e são organizadas e desenvolvidas pelas equipes técnicas do IGAM, Feam, IEF e SEMAD e disponibilizada na Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IDE – Sisema (2012). Foram definidas 5 classes que são: Área agrícola, área artificial, mosaico de agropecuária com remanescentes florestais, mosaico de vegetação florestal com áreas agrícolas, e silvicultura.

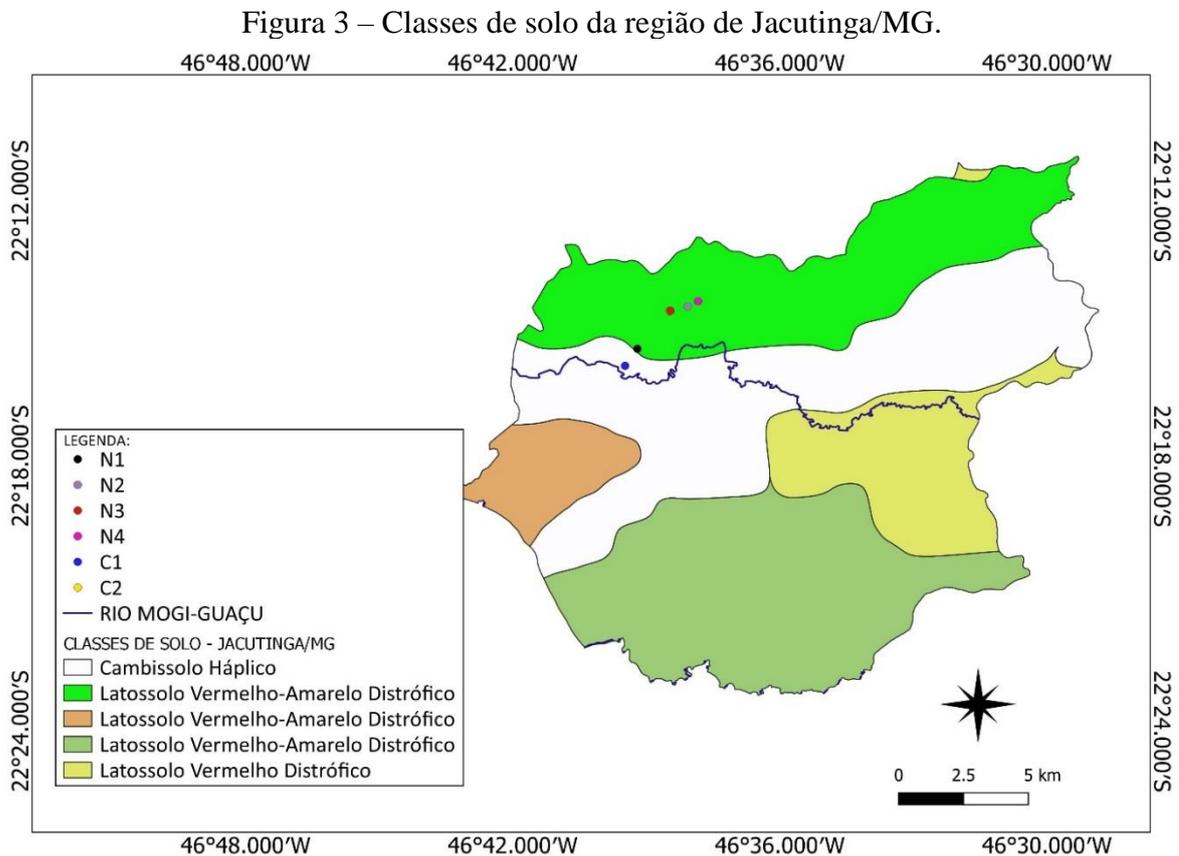


Fonte: Adaptado IDE Sisema (2012).

2.5 Classes de solo da região

De acordo com a Figura 3, no município de Jacutinga verificou-se a ocorrência das seguintes classes de solo: Cambissolo Háplico (CXbd1), Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico (LVAd1, LVAd25 e LVAd26) e o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd2). (UFV – CETEC – UFLA – FEAM, 2010).

Nos seis pontos de monitoramento em estudo, as classes de solo em predominância foram: Cambissolo Háplico (CXbd1) no N1 e C1; e Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico (LVAd1) no N2, N3, N4 e C2.



2.6 Monitoramento das águas superficiais

O período do monitoramento das vazões realizadas em campo ocorreu do dia 11/06/2017 ao dia 27/11/2018. Os monitoramentos de vazão foram realizados por meio de medidores Parshall e um vertedor trapezoidal nos pontos de nascentes. Já para a medição do escoamento nos cursos d'água utilizou-se um molinete fluviométrico, sendo o mesmo constituído de uma hélice que é calibrada para converter a rotação em velocidade linear. O posicionamento do molinete no curso d'água deve ser no sentido contrário ao da corrente, utilizando sempre um pequeno intervalo de tempo para seu funcionamento em cada ponto no perfil transversal.

O rendimento específico mostra a disponibilidade de cada área em produzir água. Para uma melhor compreensão dos dados, foi feito o cálculo do Rendimento Específico, como mostra na Equação 1 a seguir:

$$Re = \frac{Q}{Ad} \quad (1)$$

Em que:

Re é o Rendimento Específico ($L \cdot s^{-1} \cdot km^2$);

Q é a Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Ad é a Área de Drenagem (km^2).

A coleta das amostras nos pontos de monitoramento foi realizada conforme o Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas, sendo disponibilizado pela CETESB (2011).

Para a avaliação dos metais pesados nos pontos amostrados, foram coletadas amostras simples em todos os pontos de monitoramento. Os metais pesados analisados foram: Alumínio, Bromo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel, Prata e Zinco. Foi utilizado o aparelho fotômetro multiparâmetro HI 83209 da Hanna Equipamentos. Para a realização das análises, cada variável tem sua metodologia para a utilização do aparelho. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Hidrologia do Departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras (UFLA/MG).

2.7 Teste de Scott & Knott

De acordo com Pinheiro (2017), o método de Scott & Knott aborda comparações múltiplas, realizando a comparação de médias por meio de grupos formados, sendo estes de forma homogênea, minimizando a soma dos quadrados dentro dos grupos e maximizando entre eles. Nas concentrações das variáveis de qualidade de água encontradas no laboratório foram feitos ajustes das médias de covariância e aplicou-se o Teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade, para a comparação das médias encontradas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

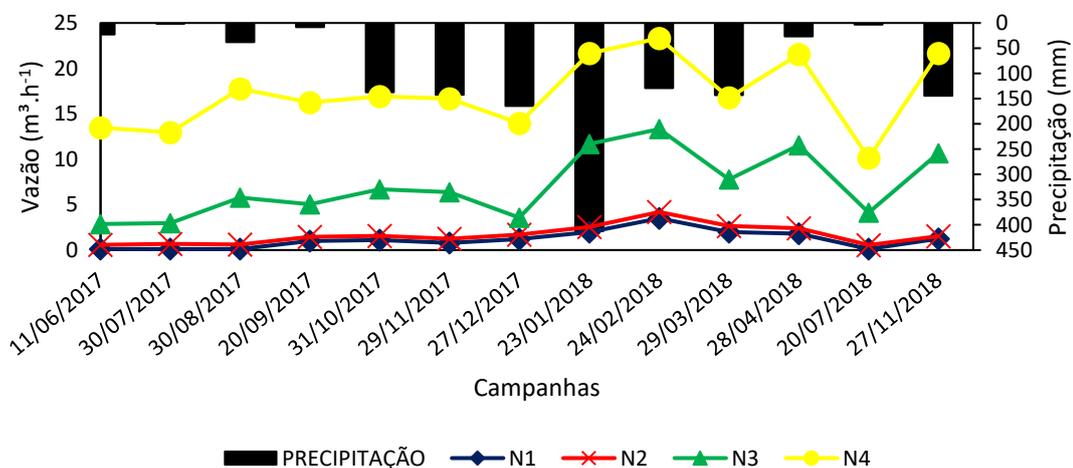
3.1 Vazões e precipitação

A Figura 4 apresenta os valores precipitação mensal e as vazões medidas nas nascentes monitoradas. Considerando o período de junho de 2017 até novembro de 2018, a lâmina precipitada totalizou 1715,8 mm, sendo nítido uma concentração das chuvas no período de outubro de 2017 a março de 2018. Janeiro de 2018 foi o mês que apresentou maior total precipitado (412,3 mm) e julho de 2017 o que apresentou menor total precipitado (1,5 mm).

Considerando o comportamento das vazões, observa-se que as Nascentes N1 e N2 apresentam ao longo de todo período de monitoramento os menores valores de vazão e se mantiveram ao longo de todo período abaixo de $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, comportamento atribuído à menor área de drenagem das mesmas. Entretanto, estas nascentes também apresentaram a mesma dinâmica hidrológica, ou seja, as vazões em ambas as nascentes variam de forma similar ao longo do período de monitoramento. No tocante à influência da precipitação no aumento de vazão destas, duas nascentes que apesar das chuvas ocorridas em outubro e novembro de 2017, as vazões do N1 apresentaram um aumento a partir de dezembro de 2017 e continuou aumentado até fevereiro de 2018 ($1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) quando apresentaram os maiores valores de vazão.

As nascentes N3 e N4 apresentaram comportamento da vazão bastante similar ao longo do período monitorado, porém, os valores apresentados por N4 foram superiores aos de N3 em todas as campanhas de monitoramento, situação que indica uma capacidade de recarga superior em N4, pois, sua área de drenagem é menor que a de N3.

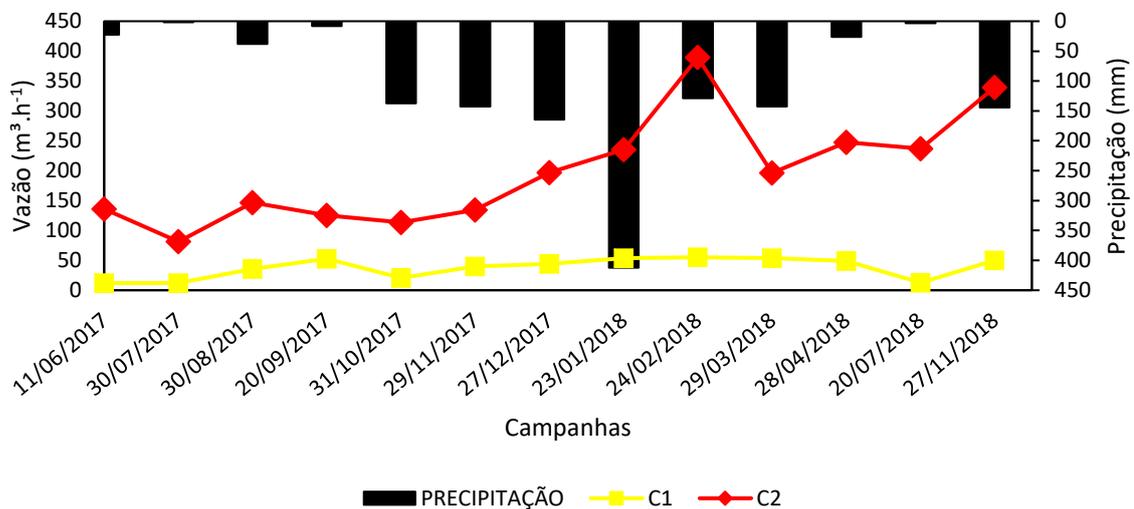
Figura 4 – Variação temporal das vazões das nascentes juntamente dos totais precipitados.



Fonte: Do autor (2021).

A Figura 5 apresenta os valores de vazão medidos nos 2 cursos d'água e a lâmina precipitada ao longo do período de monitoramento. No C2, contrário ao C1, mostrou oscilações, sendo mais sensível ao regime pluvial que C1, em função da sua maior área de drenagem. Na oitava para nona campanha teve seu maior valor encontrado (412,3 mm e 129 mm, respectivamente), sendo este, associado às altas precipitações no entorno da bacia. Regiões com altos índices pluviométricos apresenta o início de chuvas mais cedo, em decorrência das frentes frias. O mês de janeiro coincide com a época mais chuvosa durante o ano no estado de Minas Gerais. Resultados encontrados no mês de janeiro de 2018, por exemplo, tiveram os maiores registros de lâmina precipitada dentro do monitoramento, com valor de 412,3 mm.

Figura 5 – Variação temporal das vazões dos cursos d'água juntamente dos totais precipitados.

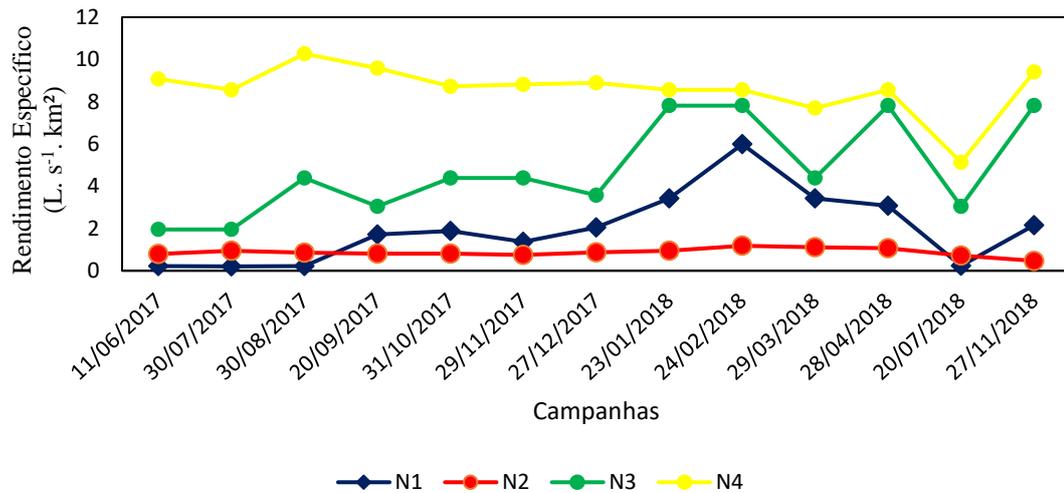


Fonte: Do autor (2021).

3.2 Rendimento específico

Os valores de rendimento específicos encontrados nas nascentes são mostrados na Figura 6. É possível observar que uma maior capacidade de produzir água nas nascentes monitoradas foram o N1, N3 e N4 e uma menor capacidade no N2.

Figura 6 – Variação temporal do rendimento específico das nascentes monitoradas.



Fonte: Do autor (2021).

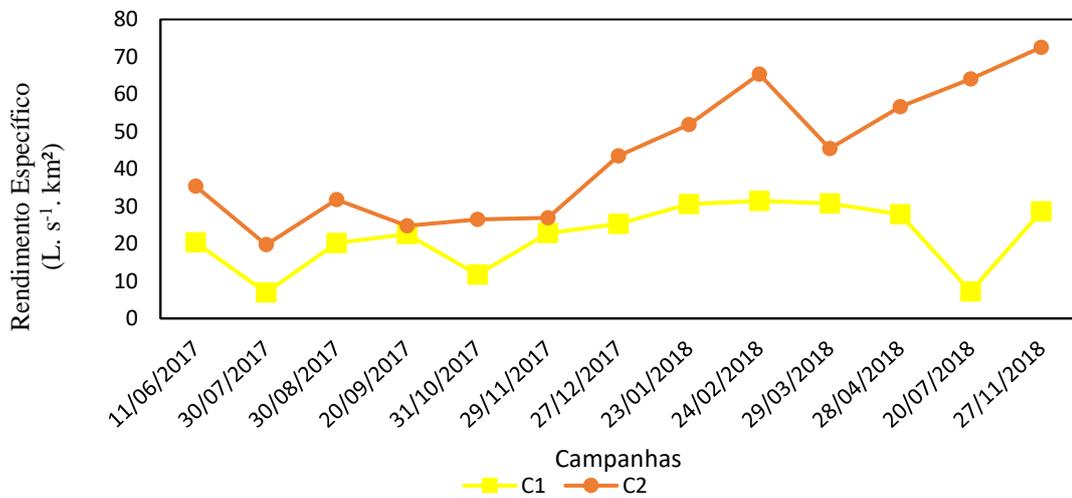
O maior rendimento específico das nascentes foi o N3 e N4 em todo o monitoramento. Os comportamentos das duas nascentes foram bem similares ao longo do monitoramento, visto que os valores de N4 foram superiores ao de N3, situação associada a uma capacidade de recarga superior no N4 em relação ao N3, por sua área de drenagem ser menor que o N3.

Já o menor valor médio de rendimento específico foi observado no N2, com valor de $1,99 \text{ L. s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Baggio *et al.* (2013) inferem que a produção de águas nas nascentes pode ser afetada pelo uso da terra na área de drenagem.

Nos pontos N1 e N2, apesar de possuírem área de drenagem semelhantes foram observadas diferenças na produção de água, que podem ser explicadas por situações associadas às características físico-hídricas do solo e ao uso e ocupação. Pinto *et al.* (2004) salientam que, tanto a quantidade quanto a qualidade da água podem sofrer alterações ocasionadas por fatores como declividade, tipo de solo e uso da terra.

Na Figura 7 mostra-se a variação temporal do rendimento específico nos cursos d'água monitorados.

Figura 7 – Variação temporal do rendimento específico dos cursos d'água monitorados.



Fonte: Do autor (2021).

É possível observar uma maior capacidade de produção de água no C2 em todas as campanhas de monitoramento em relação ao C1, situação que aponta uma maior capacidade de regularização de vazão. Entre os fatores que mais contribuem para este comportamento são o tipo do solo, a qual apresenta pequena profundidade e baixa capacidade de armazenamento e tendência a impermeabilização superficial e alta suscetibilidade à erosão hídrica (ALMEIDA; RESENDE, 1985; CURI *et al.*, 1994; SANTOS *et al.*, 1998; SILVA *et al.*, 2009).

3.3 Análise de estatística dos metais pesados encontradas nas nascentes

Na Tabela 5, estão apresentados os valores de elementos traço na comparação de médias aferidas pelo Teste de Scott & Knott a 5% de significância. A caracterização das variáveis analisadas junto à DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2 foram: Alumínio, Bromo, Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel, Prata e Zinco.

O metal pesado Alumínio apresentou valores acima do permitido nas quatro nascentes no período de chuvas. A presença deste íon no meio ambiente, em baixos teores, não é danosa à saúde, mas caso seja em grandes quantidades pode causar várias doenças no ser humano, como o Alzheimer (PERL, 1988; FREITAS *et al.*, 2001).

O Cu apresentou valores bem acima do permitido sendo da DN COPAM CERH 01/08 (valor máximo permitido 0,01 mg. L⁻¹) em todos os pontos de monitoramento. Santos (2014) cita que no município de Feira de Santana, na Bahia, apresentou altas concentrações devido as

práticas agrícolas serem significantes para as altas concentrações no ponto amostrado. Belluta *et al.* (2014) observaram que a ocupação da faixa ripária por pastagens e cana-de-açúcar torna a contaminação da água dos rios por defensivos agrícolas que promovem um aumento a concentração de cobre.

O Fe apresentou valores acima do permitido em trezes campanhas amostradas no N2, situação mostrada na análise de variância determinada pelas médias comparativas. Esse comportamento pode ser explicado devido a mineralogia local. Situação semelhante mostrada por Marmontel (2014) no Córrego Pimenta. Em seu trabalho, o autor cita que os valores de Ferro encontrados nos períodos de seca e chuvoso (2,5 e 2,7 mg. L⁻¹, respectivamente), em regiões de pastagem mostraram que a ausência ou somente uma faixa da vegetação ciliar em estado degradado contribui para a elevação dos valores de ferro. Águas com elevadas concentrações de ferro permitem o desenvolvimento de ferro-bactérias, que transmite odores ruins e cores avermelhadas. Situação ocasionada em diversas campanhas nas N1, N3 e N4 mostrados pela análise de variância determinada pelas médias comparativas.

O Manganês registrou valores acima do permitido em quase todas as campanhas de monitoramento das nascentes, situação mostrada pelas médias comparativas. No entorno da cidade de Jacutinga os solos predominantes são o latossolo e neles têm grandes quantidades de Fe e Mn, caso específico em questão dos pontos de monitoramento. Os elementos mais comuns encontrados em águas subterrâneas são ferro e manganês, nas suas formas solúveis e/ou iônicas, devido as características geoquímicas da bacia. Quando em contato com o oxigênio formam precipitados, conferindo cor, odor e sabor característicos às águas (NARCISO *et al.*, 2004; LIBÂNIO, 2005; PARRON *et al.*, 2011).

Pelas médias das concentrações de Níquel, em todos os pontos monitorados mostrou-se acima do permitido de acordo com DN COPAM CERH (01/08) – Classe 2 que é de 0,025 mg. L⁻¹. Lenntech (2005b) cita que o Níquel em altas quantidades em pequenos intervalos de tempo podem ser prejudicial à saúde, causando perda de peso, problemas no fígado e coração, além de irritações na pele.

O metal pesado Zinco mostrou acima do permitido juntamente à DN COPAM 01/08 – Classe 2 (0,18 mg. L⁻¹) nas N2, N3 e N4. Santos (2014) cita que as altas concentrações de Zinco podem ser associadas ao uso de fertilizantes ricos em metais, fator associado aos valores acima do permitido em todas as campanhas do N2, sendo a mesma localizada nas proximidades de uma plantação de café. Santos *et al.* (2013) citam em seu trabalho realizado no Rio Cachoeira na região Sul da Bahia que as correlações entre Cu e Zn em água apontam para fontes semelhantes destes metais que estão muitas vezes associados a pesticidas e dejetos de criações

de animais, situação semelhante ao N2. Na análise de variância determinada pelas médias comparativas, ocorreram situações semelhantes em diversas campanhas na N2, N3 e N4, sendo as mesmas correlacionadas com pesticidas e dejetos de criações de animais. Magalhães (2016) cita que nos produtos que são utilizados nas atividades agropecuárias, como pesticidas, existem grandes quantidades de Cobre, Chumbo, Manganês e Zinco.

Tabela 5 - Valores médios das variáveis aferidas de metais pesados nas nascentes monitoradas.

Variável	Nascentes			
	N1	N2	N3	N4
Ag	0,0001a	0,0042a	0,001a	0,0125a
Al	0,0373a	0,0517a	0,038a	0,0575a
Br	0,1098a	0,1289a	0,1378a	0,0782a
Cr	0,0335a	0,0239a	0,0111b	0,02a
Cu	0,2262a	0,2492a	0,3285a	0,1877a
Fe	0,0473b	1,6092a	0,18b	0,184b
Mn	0,1457a	0,3493a	0,2314a	0,5354a
Ni	0,0089a	0,0175a	0,016a	0,0022a
Zn	0,2162a	0,0654b	0,1731b	0,1523b

Nota: Ag (Prata); Al (Alumínio); Br (Bromo); Cr (Cromo); Cu (Cobre); Fe (Ferro); Mn (Manganês); Ni (Níquel); Zn (Zinco).

Fonte: Do autor (2021).

3.4 Análise de variância dos metais pesados encontrados nos cursos d'água

A Tabela 6 mostra os valores das variáveis junto aos cursos d'água monitorados junto aos valores máximos permitidos segundo a DN COPAM CERH 01/08 – Classe 2.

Tabela 6 - Valores médios das variáveis aferidas de metais pesados nos cursos d'água monitorados.

Variável	Cursos d'água	
	C1	C2
Ag	0,0296a	0,0026a
Al	0,0417a	0,0287a
Br	0,1567a	0,1413a
Cr	0,0695a	0,0236a
Cu	0,2225a	0,1952a
Fe	1,1632a	0,4666b
Mn	0,2741a	0,2195a
Ni	0,0896a	0,0136a
Zn	0,19a	0,13a

Nota: Ag (Prata); Al (Alumínio); Br (Bromo); Cr (Cromo); Cu (Cobre); Fe (Ferro); Mn (Manganês); Ni (Níquel); Zn (Zinco).

Fonte: Do autor (2021).

De acordo com a Tabela 6, os respectivos valores acima do permitido para o C1 foram o Alumínio, Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel e Zinco. O metal pesado Cobre se mostrou acima do permitido em todo o monitoramento, não sendo influenciado pela sazonalidade, sendo o mesmo determinado pela análise de variância. É importante lembrar que as altas dosagens ao ser humano podem ocasionar vômitos. Este metal se introduz no organismo humano através da dieta alimentar, estando presente em alimentos sólidos e em bebidas. Palácio *et al.* (2016), realizou um estudo no Rio Marreco, na cidade de Toledo Paraná, que apresentou altas concentrações de Cu. Estas concentrações elevadas são influenciadas por atividades antrópicas e tornam o ambiente aquático menos favorável, sendo associados como as poluições difusas como despejo de efluentes não tratados, defensivos agrícolas e criação de gado nas proximidades dos pontos de coleta. A presença de fazendas criadoras de gado, efluentes domésticos das moradias e comunidades e atividades de agricultura, podem ter contribuído para contaminação da água. Estes fatores são apontados em diversos estudos onde a água de rios foi encontrada contaminada, por serem fontes antropogênicas de liberação de metais (IKEM *et al.*, 2003; DEMIRAK *et al.*, 2006; KPEE *et al.*, 2009; DSIKOWITZKY *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2014).

Já os metais pesados Ferro e Manganês tiveram valores acima do permitido (0,3 e 0,1 mg. L⁻¹, respectivamente) dentro dos dois cursos d'água monitorados, sendo este comportamento possivelmente se explica pela mineralogia da região. Cursos d'água de Minas Gerais apresenta altos teores de Fe e Mn em função das características geoquímicas da área de drenagem. Outro fator que pode ser considerado uma possibilidade em relação aos altos valores dos metais pesados encontrados, são os carregamentos de partículas do solo para os pontos de monitoramento em decorrência dos altos índices pluviométricos registrados na região.

4 CONCLUSÕES

- i. O rendimento específico nas nascentes mostrou bons Rendimentos Específicos durante o monitoramento, situação que os solos dos respectivos pontos apresentaram boa recarga. Já o C1 mostrou baixa recarga em relação ao C2.
- ii. As nascentes com menor área de drenagem apresentaram menor variabilidade temporal da vazão; comportamento semelhante foi encontrado nas vazões dos córregos.
- iii. A precipitação afeta de forma mais incisiva as vazões das nascentes à medida que estas aumentam sua área de recarga.

- iv. Considerando todos os pontos de monitoramento, houve diferenças significativas apenas nas concentrações de Cobre, Ferro, Manganês e Zinco, sendo estes acima do permitido dentro do monitoramento e associados a mineralogia local, pecuária, e uso de pesticidas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R.; RESENDE, M. Considerações sobre o manejo de solos rasos desenvolvidos de rochas pelíticas no Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, 1985. p. 19-26.
- ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R.; BESKOW, S) Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013.
- BAGGIO, A. J. *et al.* **Recuperação e proteção de nascentes em propriedades rurais de Machadinho, RS**. Brasília: Embrapa, 2013.
- BELLUTA, I.; COELHO, J. C.; SILVA, R. F. B.; CARVALHO, L. R.; SILVA, A. M. M.; VALENTE, J. P. S. Investigação da poluição por metais tóxicos no córrego do Cintra. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 225-244, 2014.
- CBH GRANDE. **Comitê da bacia hidrográfica do rio Grande**. Bacia. [2019]. Disponível em: <http://cbhgrande.org.br/bacia>. Acesso em: 01. jun. 2019.
- CURI, N.; CHAGAS, C. S.; GIAROLA, N. F. B. Distinção de ambientes agrícolas e relações solo-pastagens nos Campos da Mantiqueira (MG). *In*: EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; CURI, N. (Ed.). **Desenvolvimento de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes MG: reunião de trabalho sobre pastagens nativas e desenvolvimento de pastagens para o gado de leite das zonas dos Campos Vertentes**. Lavras: ESAL/EMBRAPA, 1994. p. 21-43.
- DEMIRAK, A.; YILMAZ, F.; TUNA, A. L.; OZDEMIR, N. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. **Chemosphere**, [S.l.], v. 63, p. 1451–1458, 2006.
- DSIKOWITZKY, L.; MENGESHA, M.; DADEBO, E.; CARVALHO, C. E. V.; SINDERN, S. Assessment of heavy metals in water samples and tissues of edible fish species from Awassa and Koka Rift Valley Lakes, Ethiopia. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S.l.], v. 185, p. 3117-3131, 2013.
- FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M; B;; FRANCELINO, M; R;; FERNANDES, M. R. M. Diagnóstico ambiental da faixa ciliar e qualidade de água de duas microbacias utilizadas para abastecimento humano. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 128-138, jan./mar. 2015.
- FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, maio./jun. 2001.

FUNASA. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de controle da qualidade de água para técnicos que trabalham em ETAS**. 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf.

Acesso em: 10 abr. 2021.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, J. R.; LANDAU, E. C. **Índices pluviométricos em Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 88 p.

IKEM, A.; EGIEBOR, N. O.; NYAVOR, K. Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern USA. **Water, Air and Soil Pollution**, [S.l.], v. 149, p. 51–75, 2003.

KPEE, F.; OZIOMA, E.; IHUNWO, L. Seasonal variation of Cd, Ni, Cu and Pb in catfish, sediment and water samples from Ipo Stream in Ikwerre District of Rivers State, Nigeria. **Journal of Applied Sciences & Environmental Management**, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 63-67, 2009.

LAVADO, M. C.; SUN-KOU, M. R.; ARROYO, T. K. C.; MANCILLA, H. D. B. Biosorción de plomo (II) en solución acuosa con biomasa de los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). **Rev. Colomb. Quim.**, [S.l.], v. 49, n. 3, p. 36-46, 2020.

LENNTECH. NI. Propiedades químicas del Níquel- Efectos del Níquel sobre la salud - Efectos ambientales del Níquel, 2005b.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2005. 444 p.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brasil. **Theoretical and Applied Climatology**, [S.l.], v. 101, n. 1-2, p. 121-135, 2010.

MAGALHÃES, G. C.; CRUZ, I. F.; ZEILHOFER, P.; DORES, E. F. G. C. Metais potencialmente tóxicos em rios a montante do Pantanal Norte. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 11, n. 4. oct./dec. 2016.

MARMONTEL, C. V.F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, [S.l.], v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.

MARTINS, F. B. *et al.* Classificação climática de köppen e de thornthwaite para minas gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 1, 2018.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 537-545, 2007.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. 1. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MENEZES, M. D.; JUNIOR, J. J.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Sci. For.**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.

MORTATTI, J.; HISSLER, C.; PROBST, J. L. Distribuição de Metais Pesados nos Sedimentos de Fundo ao Longo da Bacia do Rio Tietê. Geol. **USP, Sér. cient.**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 3-11, jul. 2010.

NARCISO, M. G.; GOMES, L. P. Qualidade da água subterrânea para abastecimento público na Serra das Areias, Aparecida de Goiânia – GO. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v. 21, n. 21, p. 4-18, 2004.

NUÑEZ, M. N. *et al.* Impact of land use and precipitation changes on surface temperature trends in Argentina. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Malden, v. 113, n. D6, p. 1-11, 2008.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Eng Sanit Ambient.**, v. 25, n.1, p. 59-67, jan./fev. 2020.

PALÁCIO, S. M.; ESPINOZA-QUÍÑONES, F. R.; PAULI, A. R.; PIANA, P. A.; QUEIROZ, C. B.; FABRIS, S. C.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T. Assessment of anthropogenic impacts on the water quality of Marreco River, Brazil, based on Principal Component Analysis and Toxicological Assays. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.l.], v. 227, n. 307, 2016.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

PERL, D. P.; GOOD, P. F. Aluminum, environmental and central nervous system disease. **Environmental Technology Letters**, [S.l.], v. 9, p. 901-906, 1988.

PINTO, L. V. A. *et al.* Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia forestalis**, [S.l.], v. 65, p. 197-206, 2004.

SANTANA, N. R. F.; NETO, A. O. A.; SILVA, M. G.; GARCIA, C. A. B. Índice de qualidade de água nas nascentes do Rio Piauitinga-SE por análise multivariada e o uso na irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [S.l.], v. 10, n. 6, p. 999-1010, 2016.

SANTOS, J. S.; SOUZA, F. M.; SANTOS, M. L. P. Distribuição de Zn, Pb, Ni, Cu, Mn e Fe nas frações do sedimento superficial do Rio Cachoeira na região sul da Bahia, Brasil. **Química Nova**, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 230-236, 2013.

SANTOS, L. T. S. O.; JESUS, T. B. Caracterização de metais pesados das águas superficiais da bacia do Rio Subaé (Bahia). **Geochimica Brasiliensis**, [S.l.], v. 28, n. 2, p. 137-148, 2014.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, [S.l.], v. 30, p. 507-512, 1974.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C; FERREIRA, M, M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, [S.l.], n. 33, p. 1811-1820, 2009.

SIMEDO, M. B. L.; MARTINS, A. L. M.; PISSARRA, T. C.T.; LOPES, M. C.; COSTA, R. C. A.; VALLE-JUNIOR, R. F.; CAMPANELLI, L. C.; ROJAS, N. E. T.; FINOTO, E. L. Effect of watershed land use on water quality: a case study in Córrego da Olaria Basin, São Paulo State, Brazil. **Braz. J. Biol.**, [S.l.], v. 78, n. 4, p. 625-635, 2018.

UFV. Universidade Federal de Viçosa. CETEC. Centro Tecnológico. UFLA. Universidade Federal de Lavras. FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49 p. Disponível em: <http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais> Acesso em: 17 abr. 2021.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de Nascentes: Hidrologia e Manejo de Bacias Hidrográficas de Cabeceiras**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

VILANOVA, M. R. N. Tendências hidrológicas anuais e sazonais na Bacia do Rio Paraibuna, Parque Estadual da Serra do Mar (SP). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 301-316, 2014.

ARTIGO 3 UTILIZAÇÃO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO ESTUDO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM REGIÕES DE ESTÂNCIAS HIDROMINERAIS – MG

RESUMO

Na gestão do uso dos recursos hídricos é imprescindível entender um pouco dos impactos causados pelo uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas. Em regiões de estâncias hidrominerais, a qualidade da água é de extrema importância, pois auxilia na economia, lazer, bem-estar e saúde. Alterações em função do uso do solo de forma desordenada pelo homem, alteram de forma significativa os processos físicos, químicos e biológicos do meio ambiente. Essas alterações podem ser observadas dentro de um monitoramento de qualidade de água. Partindo deste pressuposto, objetivou-se nesse trabalho identificar os grupos de poluição presentes nos pontos de monitoramento utilizando a técnica estatística multivariada. O período de monitoramento ocorreu de 11 de junho de 2017 a 27 novembro de 2018, totalizando 13 campanhas de coleta neste período, foram monitoradas quatro nascentes (N1, N2, N3 e N4) e dois cursos d'água (C1 e C2). As variáveis de qualidade de água analisadas foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (TURB), Temperatura (T), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}), Sólidos Totais (ST), Coliformes Termotolerantes (CT), Prata, (Ag), Alumínio (Al), Amônia (Am), Bromo (Br), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). Dentro dos grupos formados, as variáveis de qualidade de água que mais afetaram os pontos de monitoramento foram o NO_3^- , PO_4^{3-} , Zn, Ni, associados às atividades agrícolas, o Fe e Mn em função da mineralogia local e DBO, OD e CT, oriundos de efluentes domésticos não tratados, atividades agropecuárias e pecuária intensiva.

Palavras-chave: Análise dos componentes principais. Nascentes, uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

In the management of the use of water resources, it is essential to understand some of the impacts caused by the use and occupation of land in hydrographic basins. In areas of hydromineral resorts, water quality is extremely important, as it helps in the economy, leisure, well-being and health. Changes due to the disorganized use of land by men significantly transform the physical, chemical and biological processes of the environment. These changes can be observed in a water quality monitoring. Based on this premise, the aim of this work was to identify the pollution groups present at the monitoring points using the multivariate statistical analysis. The monitoring period ran from June 11, 2017 to November 27, 2018, resulting 13 sampling campaigns in this period. We monitored four springs (N1, N2, N3 and N4) and two watercourses (C1 and C2). The water quality variables analysed were: Biochemical Oxygen Demand (DBO), Dissolved Oxygen (OD), Potential of Hydrogen (pH), Turbidity (TURB), Temperature (T), Nitrate (NO_3^-), Phosphate (PO_4^{3-}), Total Solids (ST), Thermotolerant Coliforms (CT), Silver (Ag), Aluminum (Al), Ammonia (Am), Bromine (Br), Copper (Cu), Chromium (Cr), Iron (Fe), Manganese (Mn), Nickel (Ni) and Zinc (Zn). In the formed groups, the water quality variables that most affected the monitoring points were NO_3^- and PO_4^{3-} , Zn, Ni, associated with agricultural activities, Fe and Mn, as a result of local

mineralogy and DBO, OD and CT, from untreated domestic effluents, agricultural activities and intensive livestock farming.

Keywords: Analysis of principal components. Springs. Land use and occupation.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade da água tem ganhado espaço em todos os fóruns de gestão de recursos hídricos nos últimos anos, visto que ações antrópicas provocam alterações impróprias no estado de qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Na cidade de Jacutinga, localizada no sul de Minas Gerais, grande parte da população que reside na zona rural utiliza de águas provenientes de nascentes, sem nenhum controle de qualidade.

Em regiões de estâncias hidrominerais as características das águas têm grande valor econômico, pois atraem de forma significativa o turismo da região, principalmente para o comércio de roupas. Feichas (2019) cita que a vida e o desenvolvimento econômico em regiões hidrominerais coexistem em decorrência da existência da água e a consequente formação das estâncias hidrominerais, exigindo assim, contínuo monitoramento e acompanhamento de sua qualidade.

A preocupação atualmente é com a quantidade de informações relacionadas a qualidade de água e que as vezes possam ter um pouco de conflito entre as variáveis de maior importância. Em função da quantidade de dados, e as vezes insuficientes, ocorre a necessidade em grande escala da otimização de informação através de estudos estatísticos. Hair *et al.* (2005) citam que a estatística permite diminuir informações contidas em um número de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com perda mínima de informação.

Com isso, a modelagem dos componentes principais vem ganhando notoriedade, visto que seu objetivo, antes de tudo, é promover a redução significativa do número de dados com o mínimo de perda de informação. Sandanielo (2008) cita que o principal objetivo da análise dos componentes principais é de explicar a variância e a covariância de um vetor aleatório, composto de p -variáveis por meio de combinações lineares das variáveis originais. Ele também cita que essas combinações lineares são denominadas de componentes principais e não são correlacionadas entre si.

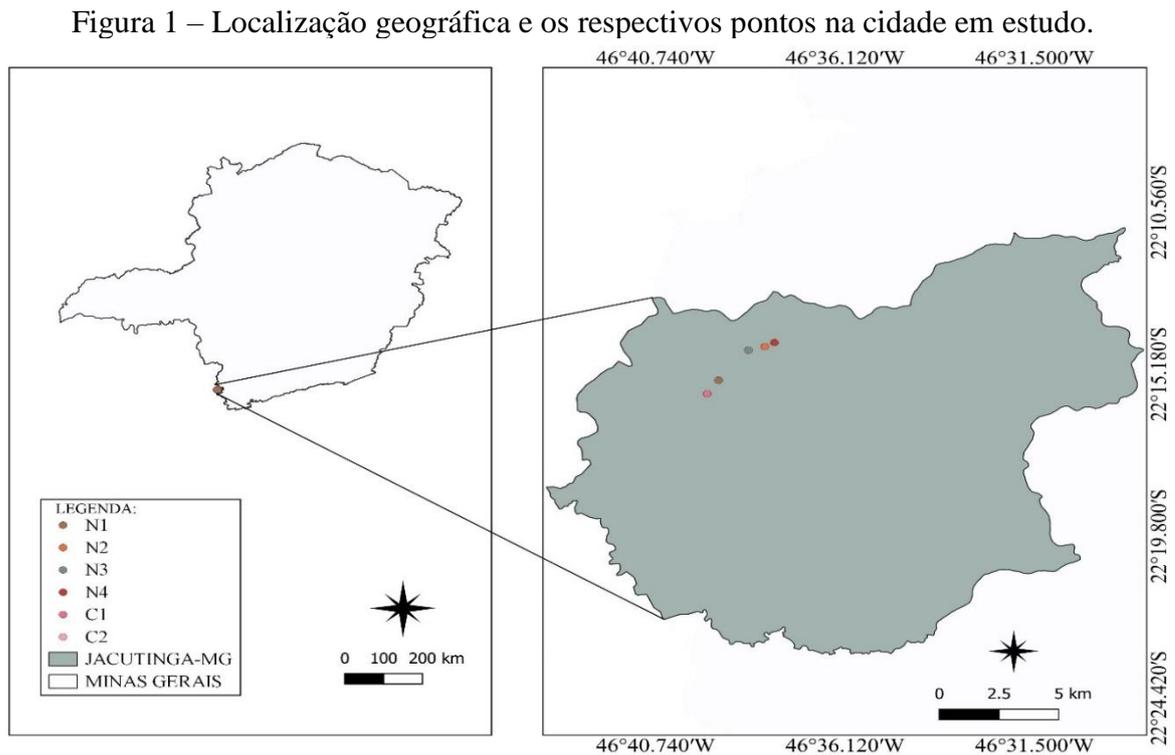
Bernardi *et al.* (2009) conceituam que a análise das componentes principais (PCA) é um método da estatística multivariada que permite interpretar a estrutura de um conjunto de dados multivariados a partir das respectivas matrizes de variâncias-covariâncias ou de correlações

entre as variáveis consideradas. Partindo deste pressuposto, procurou-se promover uma análise dos componentes principais das variáveis de qualidade da água de nascentes e cursos d'água, em seis pontos de monitoramento, na região de estância hidromineral localizada na cidade de Jacutinga, no sul de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área da região de estudo

O município de Jacutinga, onde foi realizado o experimento, está localizado em uma região de estância hidromineral no sul de Minas Gerais e em região limítrofe com o estado de São Paulo. A Figura 1 a seguir mostra a localização geográfica e os respectivos pontos de estudo.



Fonte: Do autor (2021).

A cidade de Jacutinga tem como principais atividades, exploração de água mineral, silvicultura, pecuária e cafeicultura. Segundo o IBGE (2019), a cidade em estudo tem uma população de 22.272 habitantes e uma área de aproximadamente 347,6667 km² de extensão.

A área estudada está inserida na UPGRH GD6 – Rios Mogi Guaçu e Pardo e esta unidade possui uma área de drenagem de 5.964 km², composta por 27 municípios com uma população estimada, de 543.000 habitantes (IBGE, 2010), e grande maioria dos 27 municípios está dentro da área. A bacia do Rio Mogi – Guaçu, onde foi feito o estudo, baseia-se em seis pontos amostrais, sendo quatro nascentes e dois cursos d'água para o monitoramento.

Segundo Koppen, sua classificação climática é Cwa, sendo os meses mais frios (período de estiagem) tendo registro de temperaturas abaixo e 16 °C, tornando-se um inverno seco. Já seus meses mais quentes são registrados temperaturas acima de 22 °C, tornando-se um verão quente.

2.2 Pontos de monitoramento na área amostrada

A Tabela 1 mostra os detalhes, os pontos de monitoramento com as coordenadas geográficas, descrição e também altitude de cada ponto no referido experimento. Os pontos coletados foram feitos com um GPS Portátil Adventure Garmin Map 64. Foram selecionados seis pontos na zona rural de Jacutinga, denominados N1, N2, N3 e N4 (nascentes); C1 e C2 (cursos d'água). O período de monitoramento foi do dia 11 de junho de 2017 a 27 de novembro de 2018, totalizando treze campanhas.

Tabela 1 - Descrição e localização geográfica dos pontos de monitoramento.

Descrição	Nascente	Coordenadas		Altitude (m)
	E Curso D'água	(Latitude e Longitude)		
N1	Nascente	22°16'24.5"S	46°37'36.65"O	938
N2	Nascente	22°14'22,00"S	46°38'4.00" O	1151
N3	Nascente	22°14'28,72"S	46°38,28,58"O	999
N4	Nascente	22°14'49.61"S	46°42'8.63" O	1201
C1	Curso d'água	22°15'43,77"S	46°39'28,53"O	819
C2	Curso d'água	22°14'29,20"S	46°38'27,81"O	988

Fonte: Do autor (2021).

2.3 Área de drenagem e relevo

As coordenadas geográficas dos respectivos pontos de monitoramento foram obtidas por meio de coordenadas, sendo estas, obtidas, por meio de um GPS Portátil Adventure Garmin Map 64. Na Tabela 2, são apresentadas a área de drenagem e o perímetro de cada ponto de monitoramento.

Tabela 2 - Área de drenagem dos pontos de monitoramento.

Localização	Descrição	Área de Drenagem (ha)	Perímetro (km)
Rio Mogi	N1	3,61	0,86
	N2	3,37	0,69
	N3	45,42	2,70
	N4	8,66	1,12
	C1	58,43	3,55
	C2	623,65	10,72

Fonte: Do autor (2021).

A boa variedade de dados altimétricos das áreas mostra a importância na escolha do modelo mais adequado no estudo do projeto. O relevo da região em estudo foi obtido por meio de um Modelo Digital de Elevação Alos – Palsar com resolução espacial de 12,5 m. Suas altitudes máximas e mínimas da cidade em estudo variam de 690 m a 1320 m.

Tabela 3 - Altitudes dos pontos de pontos monitorados.

Descrição	Altitude (m)		
	Máxima	Mínima	Média
N1	1062	940	1001
N2	1218	1151	1184
N3	1277	999	1139
N4	1276	1158	1225
C1	1117	819	968
C2	1341	988	1207

Fonte: Do autor (2021).

Na Tabela 4 podem ser visualizadas as declividades máxima, mínima e média das áreas de drenagem em estudo. O maior valor de declividade foi de 72,35% com média de 25 a 37%.

Tabela 4 - Declividade máxima, mínima e média das áreas de drenagem.

Descrição	Declividade (%)		
	Máxima	Mínima	Média
N1	63,7	7,07	36,86
N2	44,29	9,06	29,68
N3	64,12	1,48	30,11
N4	59,08	3,16	31,35
C1	72,35	0,00	31,85
C2	0,00	78,92	25,10

Fonte: Do autor (2021).

2.4 Uso e ocupação da terra

O uso e ocupação da terra nos pontos de monitoramento na região em estudo é mostrado na Tabela 5. Seus principais usos são: Floresta, cafeicultura, silvicultura, área antrópica não agrícola, mata nativa e espelhos d'água pastagem, sendo que a cafeicultura e a criação de gado têm maior predominância no entorno dos pontos de monitoramento.

De acordo com a Tabela 5, o N1 tem quase toda sua área ocupada por pastagens (95,43%), e está inserido na área do córrego C1. O C1 tem como usos do solo cafeicultura e pastagens (33,37% e 59,43%, respectivamente). As principais atividades no N2 são: cafeicultura (85,99%) e florestas (14,01%). O N3 tem como principais atividades a pastagem (52,03%), florestas (28,76%) e cafeicultura (19,21%) e está inserida no córrego C2. Já o C2 tem como principais atividades no entorno do ponto de monitoramento as pastagens (40,35%), florestas (25,13%), cafeicultura (14,90%) e silvicultura (13,41%). O N4 tem como predominância cafeicultura (82,79%), pastagens (10,75%) e florestas (6,46%).

Tabela 5 - Uso e ocupação do solo da área de estudo.

Ponto	Área (há)							Total
	Área antrópica não agrícola	Cafeicultura	Culturas anuais	Espelho D'água	Floresta	Pastagem	Silvicultura	
N1	0,00	0,15	0,00	0,00	0,01	3,44	0,00	3,61
N2	0,00	2,90	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	3,37
N3	0,00	8,73	0,00	0,00	13,06	23,63	0,00	45,42
N4	0,00	3,85	0,00	0,00	0,3	0,5	0,00	4,65
C1	0,68	19,50	0,00	0,18	1,30	34,73	2,05	58,43
C2	3,84	92,94	32,10	2,73	156,72	251,66	83,65	623,65

Fonte: Do autor (2021).

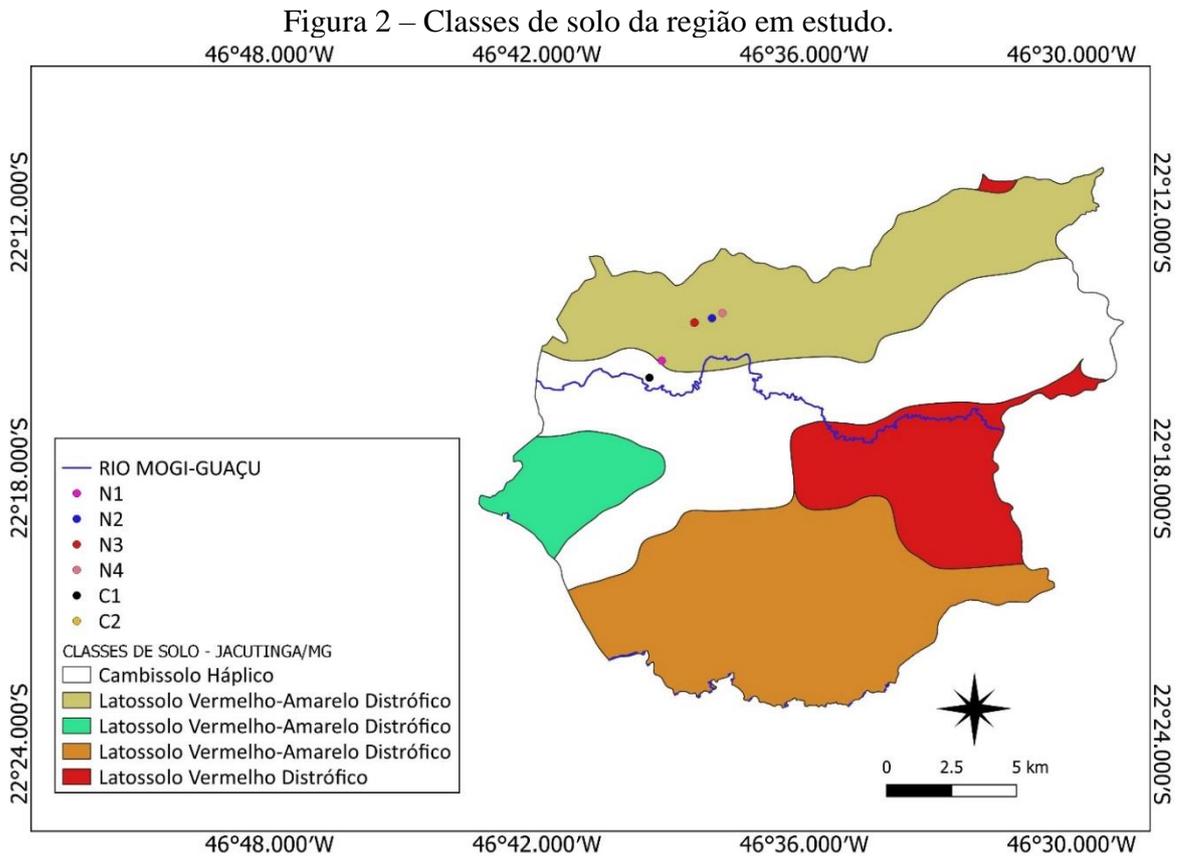
2.5 Classe dos solos da região em estudo

Já as classes de solo da respectiva cidade em estudo, como mostra a Figura 2, foram utilizadas bases de dados disponibilizados pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2010. Dentre as classes de solo da cidade de Jacutinga, foram definidas como:

- i. Cambissolo Háplico (CXbd1);
- ii. Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico (LVAd1, LVAd25 e LVAd26);
- iii. Latossolo Vermelho Distrófico (LVd2).

Para a região em estudo, os seis pontos de monitoramento são localizados nas respectivas classes de solo a seguir:

- i. Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico (LVAd1) – N2, N3, N4 e C2;
- ii. Cambissolo Háptico (CXbd1) – N1 e C1.



2.6 Monitoramento das nascentes e cursos d'água

Para as análises de qualidade de água foram coletadas amostras simples, utilizando os procedimentos de coleta e preservação das amostras descritos nas normas estabelecidas pela CETESB (2011).

O Oxigênio dissolvido foi fixado em campo, pois o trajeto para coletas é longo e com isso, a situação descrita é essencial. Os reagentes utilizados para a fixação do oxigênio dissolvido foi o Iodeto de Azida e o Sulfato Manganoso, de acordo com a APHA (2012).

Após as coletas, foram feitas as análises de qualidade de água no Laboratório de Hidrologia do departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras. As respectivas análises foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido

(OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (TURB), Aferição de Temperatura (T), Nitrato (NO_3^-), Fosfato (PO_4^{3-}), Sólidos Totais (ST), Coliformes Termotolerantes (CT), Prata (Ag), Alumínio (Al), Amônia (Am), Bromo (Br), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Zinco (Zn).

A Tabela 6 mostra as variáveis de qualidade de água junto aos respectivos métodos de análise em laboratório, segundo a metodologia de metodologias adaptadas de *American Public Health Association* (APHA, 1998; APHA, 2012).

Tabela 6 - Variáveis de qualidade de água analisadas no monitoramento.

Variável	Método
Coliformes Termotolerantes (CT)	Método dos Tubos Múltiplos
Oxigênio Dissolvido (OD)	Método de Winkler
Potencial Hidrogeniônico (pH)	Potenciometria
Temperatura (T)	Termômetro Digital
Nitrato (NO_3^-)	Adaptação do método de Redução pelo Cádmio
Fosfato (PO_4^{3-})	Adaptação do Método do Aminoácido
Sólidos Totais (ST)	Método Gravimétrico
Turbidez (TURB)	Método Nefelométrico
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Método de Winkler
Prata (Ag)	Adaptação do Método PAN
Alumínio (Al)	Adaptação do Método Aluminon
Amônia (NH_3)	Adaptação do Método Nessler
Bromo (Br)	Adaptação do Método DPD
Cromo (Cr)	Adaptação do Método Difenilcarbohidrazida
Cobre (Cu)	Adaptação do Método EPA
Ferro (Fe)	Adaptação do Método EPA Fenantrolina 315B
Manganês (Mn)	Adaptação do Método Periodato
Níquel (Ni)	Adaptação do Método Fotométrico
Zinco (Zn)	Adaptação do Método Zincon

Fonte: Do autor (2021).

2.7 Análise dos componentes principais

A identificação dos agentes determinantes das variáveis de qualidade de água encontrados no laboratório fundamentou-se na aplicação do modelo de Estatística Multivariada – Análise dos Componentes Principais (PCA). A Análise dos componentes principais necessita de três etapas: a preparação da matriz de correlação, utilizando a linguagem estatística R; a segunda etapa é a extração dos fatores comuns e a redução das variáveis empregadas na rotação dos eixos relativos aos fatores comuns e; a terceira, na rotação dos eixos relativos aos fatores comuns empregados (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

A análise de agrupamento (AA) foi realizada a partir da linguagem estatística R. Para o processamento de dados foi dividido em padronização, escolha do coeficiente de semelhança e

escolha da estratégia de agrupamento. Para esta análise são utilizadas todas as variáveis medidas, a fim de explorar o maior número de informações obtidas. A escolha do coeficiente de semelhança e a estratégia de agrupamento foram influenciadas por outras pesquisas envolvendo qualidade da água (BERTOSSO *et al.*, 2013; GUEDES *et al.*, 2012; GUEDES *et al.*, 2011; FERNANDES *et al.*, 2010). Após a execução das referidas etapas foi possível a montagem do biplot, onde as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, foram agrupadas entre si.

Esses valores foram dispostos num diagrama de dispersão, onde os eixos são as duas componentes mais importantes, e assim mostrar o relacionamento entre os casos condicionados pelas variáveis medidas (BERNARDI *et al.*, 2001).

Neste trabalho, a análise dos componentes principais foi realizada com as variáveis que de qualidade de água que compõe o Índice de Qualidade de Água, os metais pesados e também a Amônia. Os resultados obtidos foram por meio do software R. Para a aplicação do PCA os dados foram padronizados e escolhidos somente os que tem autovalor maior que 1, fundamentando-se no fato de que a CP deve possuir variância maior que uma simples variável padronizada (KAISER, 1958 *apud* NORUSIS, 1990; HAIR *et al.*, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PCA para as variáveis de qualidade de água nas nascentes

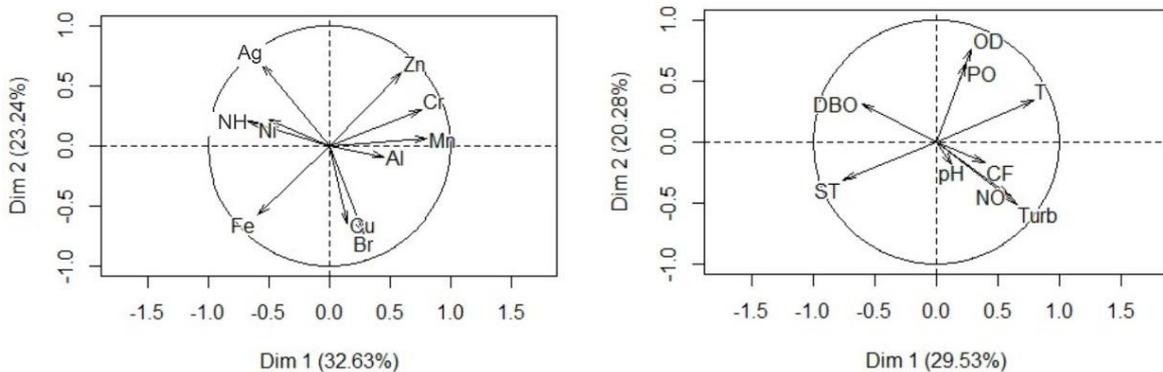
As Figuras 3, 4, 5 e 6, mostram a correlação entre as variáveis de qualidade de água pelo Biplot para as nascentes. Foram consideradas PCA como sigla para Análise de Componentes Principais e PC como Componente Principal.

De acordo com a Figura 3 (1), a primeira e segunda componente totalizam, juntas, 55,87% da variabilidade total dos dados. A primeira PC representa um efeito geral de todas as variáveis, embora com certa predominância dos efeitos da variável Mn (com coeficiente igual a 0,810), seguido por Cr e Am. Já a segunda PC também representa um efeito geral todas as variáveis, exceto Al e Mn, com certa predominância dos efeitos das variáveis Ag, Br, Cu e Zn. Pelo mesmo raciocínio, o Cu e o Br são diretamente proporcionais, em função das suas baixas concentrações encontradas no ponto amostral, contrário às outras variáveis analisadas que foram inversamente proporcionais, sendo estas associadas à decomposição da matéria orgânica e às atividades agropecuárias no entorno do ponto amostral.

Conforme apresentado na Figura 3 (2), a primeira e a segunda componentes principais correspondem, juntas, a 49,81% da variabilidade de todos os dados. Esse percentual de variação acumulada é explicado pelo maior número de correlações bem fracas ou fracas, e de algumas correlações moderadas. A primeira PC representa um efeito geral de todas as variáveis com certa predominância dos efeitos das variáveis T, ST, TURB, DBO e NO_3^- . A segunda PC também representa um efeito geral todas as variáveis, com predominância dos efeitos das variáveis OD, PO_4^{3-} , Turb e NO_3^- .

Dentro da Figura 1 analisada, o efeito geral das variáveis analisadas no N1 mostrou uma associação aos contaminantes encontrados, como OD, PO_4^{3-} , Turb e NO_3^- , DBO, Mn e Am. Pastro (2020) em seu trabalho realizado no Córrego Alegre no Espírito Santo e Freire e Castro (2014) analisaram sub-bacias do Rio Itapemirim, no Espírito Santo, que as principais fontes de poluição na área estudada foram o manejo inadequado, principalmente com atividades agropecuárias, como proximidade de gado nas nascentes. Já Girão (2007) trabalhou com a qualidade de água no Rio Jaibaras empregando a análise dos componentes principais mostraram na segunda componente (CP2), as variáveis mais significativas foram o NH_4^+ e o NO_3^- , relacionados à poluição do corpo d'água pelo lançamento de efluentes domésticos, terras cultivadas e lixiviação de solos, correspondentes aos resíduos de fertilizantes nitrogenados, situação semelhante ao ponto amostrado, pois o mesmo encontra-se próximo à pecuária e também à cafeicultura.

Figura 3 – Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N1.



Nota: 1) Metais pesados; 2) Variáveis do índice de qualidade de água.

Fonte: Do autor (2021).

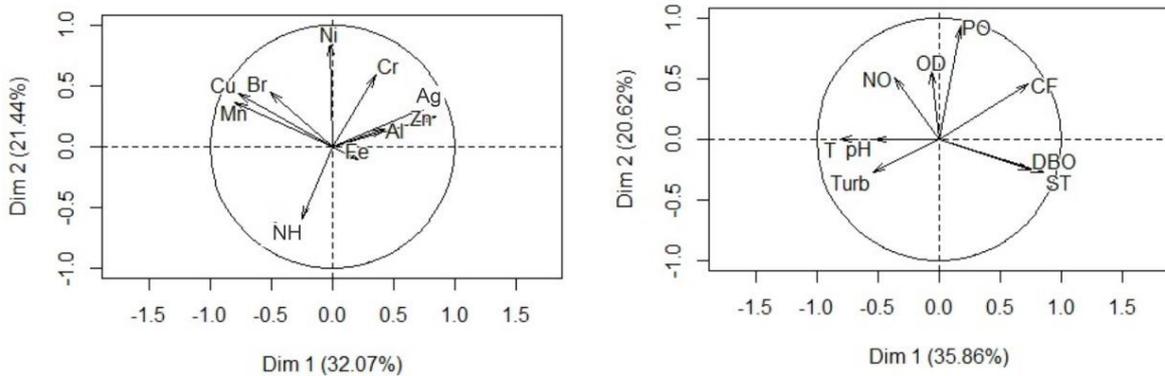
Já a Figura 4 (1), mostra os resultados encontrados da N2 que, juntas, correspondem a 53,51% da variabilidade total dos dados, sendo explicado, principalmente, pelo percentual de variação acumulada em função do maior número de correlações. A primeira PC representa um

efeito geral de todas as variáveis exceto Ni, com certa predominância dos efeitos das variáveis Zn, Mn, Ag e Cu. Já a segunda PC também representa um efeito geral todas as variáveis, com predominância dos efeitos das variáveis Ni, Am e Cr.

A Figura 4 (2) mostra que os valores dos primeiros e segundos componentes correspondem, respectivamente a 35,86% e 20,62 %, totalizando um valor de 56,48%. Na primeira PC representa um efeito geral de todas as variáveis, exceto OD, com certa predominância dos efeitos das variáveis ST, TURB, DBO e CT. A segunda, por exemplo, também representa um efeito geral de todas as variáveis, exceto pH e T, com predominância dos efeitos das variáveis PO_4^{3-} , OD, NO_3^- e CT.

As variáveis analisadas mostram uma correlação das variáveis de PO_4^{3-} , OD, NO_3^- , CT, Zn e Ni. Simeonov *et al.* (2003) mencionam que durante a avaliação da qualidade das águas superficiais no nordeste da Grécia, esta é alterada devido ao escoamento superficial das áreas agrícolas e ao uso de defensivo agrícola nitrogenado, fator associado ao ponto amostrado, devido ao uso de pesticidas, pois é uma nascente que aflora dentro de uma plantação de café.

Figura 4 – Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N2.



Nota: 1) Metais pesados; 2) Variáveis do índice de qualidade de água.
Fonte: Do autor (2021).

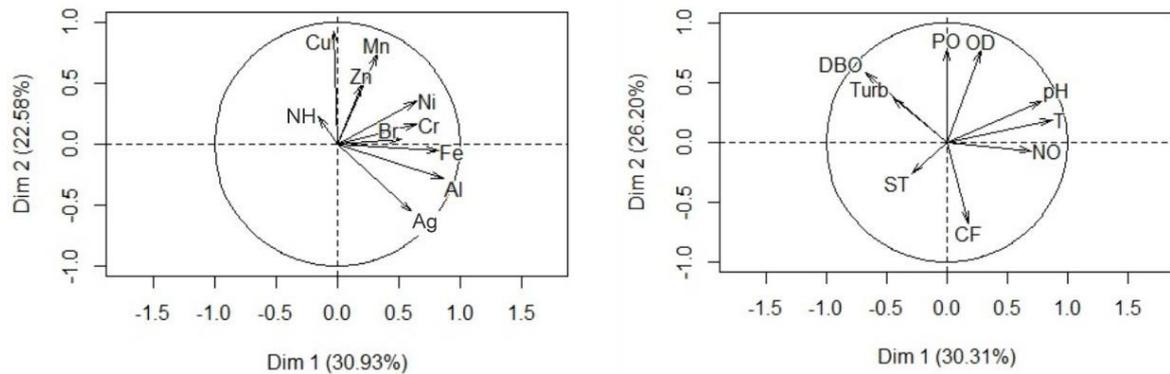
O N3, conforme observado na Figura 5 (1), mostra que a primeira e a segunda componentes principais correspondem, juntas, a 53,51% da variação dos dados. A primeira PC representa um efeito geral de todas as variáveis, exceto Cu, embora com certa predominância dos efeitos das variáveis Al, Fe, Cr, Ni e Ag. Já a segunda PC também representa um efeito geral todas as variáveis, exceto Br e Fe, com predominância do efeito das variáveis Cu, Mn, Ag e Zn. Há situações associadas a poluição de indústrias no entorno do ponto amostrado.

Já na Figura 5 (2) seus valores correspondentes, no total, de 56 a 51% da variabilidade analisada. A primeira PC em relação a segunda, representa um efeito geral de todas as variáveis

com certa predominância dos efeitos das variáveis T, pH, NO_3^- e DBO, contrária aos resultados da segunda, com predominância dos efeitos do PO_4^{3-} , OD, CT e DBO.

Os resultados encontrados pelo PCA mostram que a associação do Fe, Mn, Zn, NO_3^- e DBO e PO_4^{3-} , devido a mineralogia da região, presença de animais e indicativos de efluentes industriais não tratados. Andrade *et al.* (2007) citam que na bacia hidrográfica do Baixo Acaraú, que as correlações dos materiais dissolvidos no ponto amostral são indicativos de processos não naturais como despejo de efluentes oriundos de indústria. Já Agrizzi (2012), cita em seu trabalho realizado nas nascentes no assentamento Paraíso, Espírito Santo, constatou valores significativos de coliformes totais e termotolerantes na nascente em meio à floresta remanescente de Mata Atlântica, associado a presença de animais.

Figura 5 – Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N3.



Nota: 1) Metais pesados; 2) Variáveis do índice de qualidade de água.
Fonte: Do autor (2021).

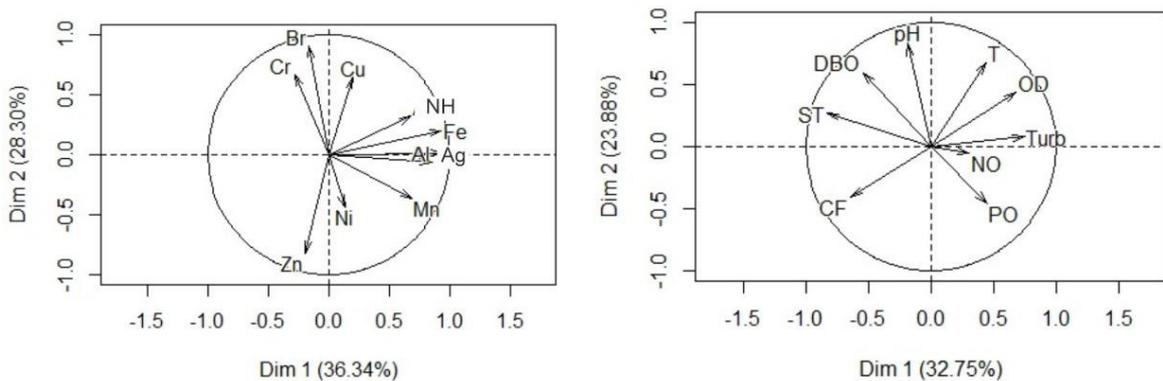
Conforme mostra a Figura 6 (1), os valores encontrados no N4 diferem das nascentes discutidas anteriormente, pois a primeira e a segunda componentes principais correspondem, juntas, a 64,64% da variabilidade total dos dados. A primeira PC representa um efeito com certa predominância dos efeitos das variáveis Ag, Fe, Al, Mn e Am. Na segunda PC representa uma predominância do efeito das variáveis Br, Zn, Cr e Cu e efeito nulo de Ag.

Na Figura 6 (2), a variabilidade total dos dados para as duas componentes principais foi de 56,63%. A primeira PC representa um efeito geral de todas as variáveis com certa predominância dos efeitos das variáveis ST, TURB, OD e CT, a segunda PC também representa um efeito geral todas as variáveis, exceto NO_3^- , com predominância dos efeitos das variáveis pH, T e DBO.

De um modo geral, o Fe e Mn contribuíram para os resultados encontrados, sendo elas associadas a mineralogia local no ponto de monitoramento. De modo geral, os níveis de metais pesados encontrados na água não representam perigo em termos de poluição, pois quando esses elementos são liberados para o ambiente passam a ter influência de diversos processos físicos e químicos, como: pH, potencial de oxirredução, oxigênio dissolvido, quantidade de matéria orgânica dissolvida etc. (DANIELSSON *et al.*, 1999; BARTOLOMEO *et al.*, 2004; SANTANA, 2007).

Já as variáveis de qualidade de água analisadas tiveram certa predominância do PO_3^{4-} , DBO, ST, TURB, T e CT, sendo associadas à carga orgânica oriunda de efluentes domésticos não tratados. Almeida e Schwarzbold (2003) citam que na Bacia do Arroio da Cria, os valores de oxigênio dissolvido em dois pontos amostrais sofreram um pequeno declínio devido a carga orgânica que recebe, fator associado ao ponto amostral analisado.

Figura 6 – Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o N4.



Nota: 1) Metais pesados; 2) Variáveis do índice de qualidade de água.

Fonte: Do autor (2021).

3.2 PCA para as variáveis de qualidade de água nos cursos d'água

Para as variáveis de qualidade de água nos cursos d'água, mostra-se nas Figuras 7 e 8 a correlação pelo Biplot para os cursos d'água, sendo o PC como Componente Principal e o PCA para Análise dos Componentes Principais.

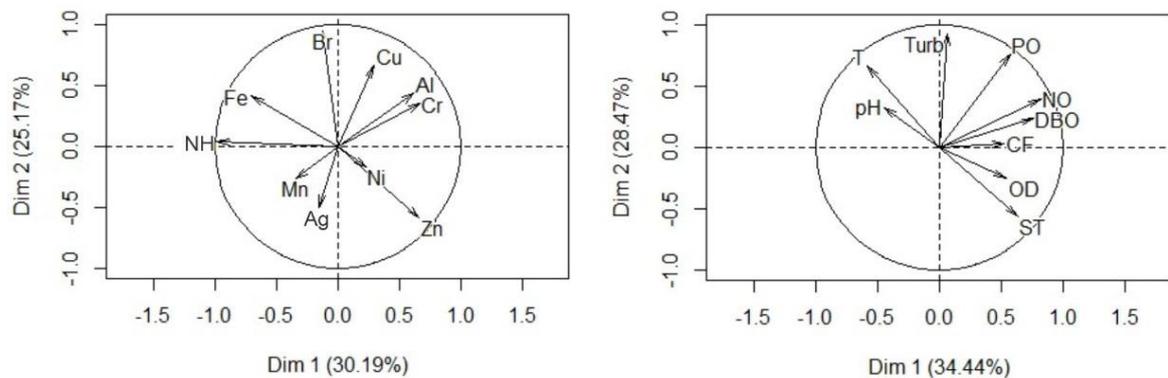
A Figura 7 (1) mostra o Biplot com os resultados encontrados junto aos componentes principais de 1º e 2º ordem para os metais pesados, respectivamente. A primeira componente e segunda componente, correspondem a 30,19% e 25, 17%, respectivamente. A primeira PC representa um efeito com predominância dos efeitos das variáveis Am, Fe, Cr e Zn. A segunda,

PC representa com predominância do efeito das variáveis Br, Cu e Zn, e efeito praticamente nulo de Am.

A Figura 7 (2) mostra a variabilidade total de dados junto aos cursos d'água monitorados utilizando a Análise dos Componentes Principais. A Figura 7 (2) mostra que a primeira e segunda PC'S corresponde aproximadamente 62,91% da variabilidade total de dados. A primeira representa um efeito geral de todas as variáveis, exceto TURB, com certa predominância dos efeitos das variáveis NO_3^- , DBO, ST e T. Já a segunda, também representa um efeito geral todas as variáveis, exceto CT, com predominância dos efeitos das variáveis TURB, PO_4^{3-} , T e ST. Situação associada às atividades antrópicas no entorno do ponto amostral, como a pecuária bovina sem um manejo adequado.

De modo geral, o C1 apresentou correlações entre as variáveis analisadas, como a Am, Fe, Zn, NO_3^- , DBO, ST, PO_4^{3-} e T, sendo estas associadas como a mineralogia local, poluições difusas como presenças de nutrientes e também como componente do escoamento superficial das áreas agrícolas. Andrade *et al.* (2007) citam que as águas superficiais no nordeste brasileiro, aplicando a análise dos componentes principais, mostraram que o efeito oriundo dos fatores determinados (aproximadamente 88,19%) é associado as poluições difusas nos referidos pontos, como presença de nutrientes e também como componente do escoamento superficial das áreas agrícolas, situação ocorrida no referido ponto estudado. Já Ariovaldo (2010) mostra situação semelhante em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, associado principalmente às atividades agrícolas e também de fontes de poluições oriundas de esgoto doméstico, afetando de forma significativa o aumento do Nitrato.

Figura 7 – Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o C1.



Nota: 1) Metais pesados; 2) Variáveis do índice de qualidade de água.

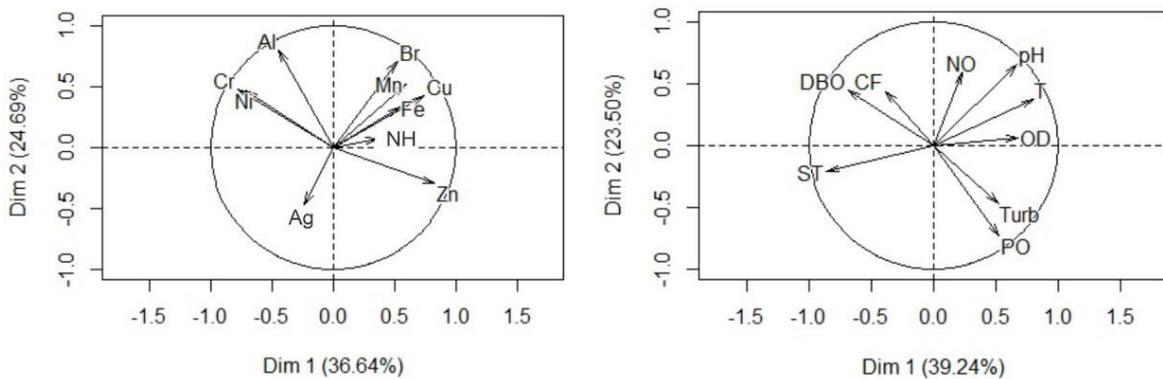
Fonte: Do autor (2021).

A Figura 8 (1), mostra que a primeira componente principal é responsável, individualmente, por 36,64% com predominância dos efeitos das variáveis Zn, Cr, Cu e Ni. Já a segunda componente principal, 24,69% com predominância dos efeitos das variáveis Al, Br e Mn. Moura (2010) cita que no Ribeirão Gama, no Distrito Federal, o aumento da amônia está relacionado com o lançamento de esgoto/lixo doméstico nas proximidades, pela população próxima, que não conta com os serviços de saneamento básico.

Na Figura 8 (2), que corresponde ao C2, tem as duas principais componentes principais com valores de 39,24 e 23,5%, para a primeira e a segunda, respectivamente. A primeira PC representa um efeito geral de todas as variáveis com certa predominância dos efeitos das variáveis ST, T, DBO, OD e pH. Na segunda PC também representa um efeito geral todas as variáveis, exceto OD, com predominância dos efeitos das variáveis PO_4^{3-} , pH, NO_3^- e TURB.

De modo geral, as variáveis que contribuíram para o efeito geral das componentes principais foram o Mn, DBO, OD, T, PO_4^{3-} , pH, NO_3^- e TURB, sendo estas associadas a mineralogia local, uso de pesticidas nitrogenados, carga de nutrientes provenientes de esgoto doméstico não tratados. Guedes et al. (2012) aplicaram a estatística multivariada no estudo da qualidade de Água do Rio Pomba e encontrou resultados significativos na primeira componente de 36,36% da variabilidade dos dados e está associada a variáveis indicativas de cargas de nutrientes provenientes de esgoto doméstico e uso de compostos nitrogenados, semelhante aos resultados encontrados no ponto amostral.

Figura 8 – Biplot baseado nos escores das 1ª e 2ª PCs para as variáveis de qualidade de água para o C2.



Nota: 1) Metais pesados; 2) Variáveis do índice de qualidade de água.

Fonte: Do autor (2021).

4 CONCLUSÕES

Dentro do que foi trabalhado, concluiu-se que:

- i. A Análise dos Componentes Principais promoveu a redução do número de variáveis, promovendo assim, a correlação dos grupos formados, sendo estes associados às atividades afetadas na qualidade da água nos pontos de monitoramento.
- ii. As variáveis de qualidade de água nos pontos de monitoramento foram definidas por grupos de nutrientes (NO_3^- e PO_4^{3-} , Zn, Ni, influenciados diretamente pelas atividades agrícolas, como utilização de defensivos agrícolas), mineralogia local (Fe e Mn), origem orgânica (DBO, OD e CT, oriundos de efluentes domésticos e industriais não tratados e pecuária intensiva).
- iii. Acredita-se que as qualidades da água nos pontos de monitoramento foram afetadas pela cafeicultura, pecuária intensiva, carga orgânica de efluentes domésticos não tratados, cafeicultura, sendo estes, os principais responsáveis pela variação da qualidade das águas nas nascentes e cursos d'água monitorados.

REFERÊNCIAS

- AGRIZZI, D. V. **Índice de qualidade da água de nascentes no Assentamento Paraíso, Alegre, ES**. 2012. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.
- ALMEIDA, M. A. B; SCHWARZBOLD, A. Avaliação Sazonal da Qualidade das Águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com Aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 8, n.1, p. 81–97, jan./mar. 2003.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1791-1797, nov./dez. 2007.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da estatística multivariada. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 683-690, set./dez. 2007.
- APHA. American Public Health Association. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2012.
- APHA American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998.
- ARIOVALDO, A. T. L.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v.14, n.9, p.937–943, 2010
- BARTOLOMEO, A.; POLETTI, L.; SANCHINI, G.; SEBASTIANI, B; MOROZZI, G. 2004. Relationship among parameters of lake polluted sediments evaluated by multivariate statistical analysis. **Chemosphere**, [S.l.], v. 55, p. 1323–1329.
- BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D.; DÓREA, J. G.; LANDIM, P. M. B; GOMES, J. P. O; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; BASTOS, W., R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto Rio Mateira e Afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, [S.l.], v. 23, n. 1, p. 79-90, 2009.
- BERTOSSI, A. P.; MENEZES, J. P.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013.
- BINI, L. M. Análises Multivariadas e Limnologia: Exploração, síntese e inferência de um mundo aquático complexo. *In*: Bicudo, C. E. M.; BICUDO, D.C. **Amostragem em Limnologia**. Rima, São Carlos, 2004. p.73-107.
- DANIELSSON, A.; CATO, I.; CARMAN, R.; RAHM, L. 1999. Spatial clustering of metals in the sediments of the Skagerrak/Kattegat. **Applied Geochemistry**, [S.l.], v. 14, p. 689-706.

FEICHAS, R. V. Efeitos disruptivos sobre os meios de proteção das águas minerais no perímetro das estâncias hidrominerais. **Memória CULT**, Ouro Preto, n. 27, ano IX, dez./2019.

FERNANDES, F. B. P.; ANDRADE, E. M. de; FONTENELE, S. B. de; MEIRELES, A. C. M.; RIBEIRO, J. A. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010.

FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C. Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 19, n.1, p. 41-49, jan./mar. 2014,

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v.16, n. 5, p. 558–563, 2012.

HAIR J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 679 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censos Demográficos, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/?lang=&coduf=31&search=minasgerais>. Acesso em: 03. jun. 2020.

MOURA, L. H. A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A Qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama – Distrito Federal. **Quim. Nova**, [S.l.], v. 33, n. 1, p. 97-103, 2010.

NORUSIS, M. J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago: SPSS Inc, 1990. 520 p.

PASTRO, M. S.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, F. R.; FERRAZ, F. T. Estatística multivariada aplicada à análise de qualidade da água em diferentes ambientes de microbacias hidrográficas. **Nativa, Sinop**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 185-191, mar./abr. 2020.

SANDANIELO, V. L. M. **Emprego de técnicas estatísticas na construção de índices de desenvolvimento sustentável aplicados a assentamentos rurais**. Botucatu. 2008. 159 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2008.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S.R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazônica**. [S.l.], v. 37, n. 1, p. 111-118, 2007.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. Assessment of the surface water quality in northern Greece. **Water Research**, Amsterdam, v. 37, n. 17, p. 119-124, 2003.

SIMÕES, F. S.; YABE, M. J. S.; MOREIRA, A. B.; BISINOTI, M, C. Avaliação do efeito da piscicultura em sistemas aquáticos em Assis e Candido Mota, São Paulo, por indicador de qualidade da água e análise estatística multivariada. **Quim. Nova**, [S.l.], v. 30, n. 8, p. 1835-1841, 2007.

TOLEDO, L. G. de; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, [S.l.], v. 59, p. 181-186, 2002.