

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA NA BACIA DO RIO PERUAÇU, MINAS GERAIS

Quality assessment of surface and groundwater in the Peruaçu River basin

Bárbara Thaíssa da Silva Barros

Geógrafa e Mestra em Geologia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

barbara.barros@ufvjm.edu.br

Hernando Baggio Filho

Doutor em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais, Professor do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

hbaggio@ufvjm.edu.br

Matheus Simões Santos

Mestre em Geologia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Doutorando em Geociências-Geoquímica pela Universidade Federal Fluminense, Brasil

matheus_simoes@id.uff.br

Luiz Eduardo Panisset Travassos

Pesquisador de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Doutor em Carstologia e Doutor Geografia
Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC Minas, Brasil

Frank Alison de Carvalho

Mestre em Saúde, Sociedade e Ambiente e Doutorando em Ciência Florestal
pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

frank.carvalho@ict.ufvjm.edu.br

Recebido: 01/11/2023

Aceito: 05/11/2024

Resumo

Análises sobre a qualidade geoquímica dos recursos hídricos localizados em Unidades de Conservação, ainda é bastante incipiente, ademais, em áreas cársticas. A amostragem geoquímica é uma ferramenta de extrema utilidade para identificar e mensurar os parâmetros físico-químicos e químicos presentes nos corpos hídricos. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo analisar a qualidade da água superficial e subterrânea na bacia hidrográfica do rio Peruaçu, através das análises dos parâmetros físico-químicos, químicos e microbiológicos, comparando os resultados com os valores orientadores das resoluções CONAMA 357/05 e 396/08. Foram realizadas duas amostragens de campo, totalizando 15 estações de amostragem por período climático. Quanto à sazonalidade, no geral, houve diferença em praticamente todos os parâmetros, com exceção da temperatura e pH. Os teores de LAS, NO₂, NO₃, em alguns pontos encontram-se em desconformidade com a legislação, apresentado uma poluição de ordem antropogênica. Os elementos metálicos e semimetálicos Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Pb e Zn, em alguns dos pontos amostrados, também se encontram em desconformidade com a legislação, sendo sua contaminação de ordem natural, relacionados às litologias do Grupo Bambuí. Do ponto de vista microbiológico, a maioria dos pontos deu positivo para *Escherichia Coli*. A poluição de ordem antropogênica e contaminação de ordem natural, foram as identificadas na área de estudo, sendo a influência antrópica bastante expressiva.

Palavras-chave: Parque nacional cavernas do Peruaçu; Água; Geoquímica; Meio ambiente.

Abstract

Geochemical quality assessment of water resources in Conservation Units is still very nascent, even more so in karst areas. Geochemical sampling is extremely useful for identifying and assessing water bodies' physical-chemical and chemical parameters. On this point, the research aimed to analyze the quality of surface and underground water in the Peruaçu river basin through the analysis of physical-chemical, chemical and microbiological parameters, comparing the results with the guiding values by CONAMA resolutions 357/05 and 396/08. Two field samplings were carried out, totalling 15 points per climatic period. Regarding seasonality, there was a general difference in nearly all parameters except T and pH. In some points, the levels of LAS, NO₂, and NO₃ do not comply with legislation, presenting anthropogenic pollution. The metallic and semi-metallic elements Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Pb and Zn, in some of the sampled points, are also in non-compliance with legislation, with their contamination being natural, related to the lithologies of the Bambuí Group. From a microbiological point of view, most points were positive for *Escherichia Coli*. Anthropogenic pollution and natural contamination were identified in the study area, with significant anthropogenic influence.

Keywords: Cavernas do Peruaçu National Park; Water; Geochemistry; Environment.

1. INTRODUÇÃO

A contaminação dos sistemas hídricos tem sido um problema para o ser humano, principalmente devido às alterações na sua qualidade. Isso os tornam inapropriados para o consumo humano e para a dessedentação animal (Braga *et al.*, 2002). Essa qualidade está diretamente ligada às variáveis de ordem natural e/ou antropogênicas, presentes em uma bacia hidrográfica (Baggio *et al.*, 2016; Simões Santos *et al.*, 2018).

A discussão acerca da qualidade ambiental dos recursos hídricos tem se tornado cada vez mais importante ao redor do mundo, especialmente em nações em desenvolvimento. O Brasil, dotado de uma das mais vastas concentrações de recursos hídricos do planeta, não está isento dessa discussão. Entretanto, é evidente o desconhecimento por parte dos órgãos ambientais no país sobre a qualidade e potencialidade dos indicadores geoquímicos (Simões Santos *et al.*, 2018).

Segundo Baggio (2008), a legislação brasileira que dispõe sobre a qualificação dos corpos de água e prescreve diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como, estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes é a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005. Além desta, existe a Legislação Nacional, que dispõe acerca da potabilidade da água, elaborada pelo Ministério da Saúde – Portaria MS N° 2914 de 12 de dezembro de 2011.

As regiões caracterizadas por relevos cársticos demonstram uma notável capacidade de armazenamento e transporte hídrico em condições favoráveis ao consumo humano (Travassos; Varela, 2008). As águas provenientes de aquíferos cársticos,

especialmente os de origem carbonática, representam importantes mananciais de água potável em muitos países. A água subterrânea desempenha um papel significativo nesse contexto, emergindo como a principal fonte de abastecimento de água para as populações em diversas localidades (Milek; Kishi, 2009; Martinez; Gomes Sobrinho, 2018).

Ainda pouco explorado, o estudo sobre a qualidade geoquímica dos recursos hídricos localizados em Unidades de Conservação (UCs), são ainda escassos. Em ambientes cársticos, a amostragem geoquímica tem um papel fundamental para aferição dos parâmetros físico-químicos e químicos, além de ser uma excelente ferramenta para verificar se o sistema cárstico encontra-se ativo. Neste contexto, a pesquisa teve como objetivo analisar a qualidade geoquímica da água superficial e subterrânea da bacia do rio Peruaçu, um importante tributário localizado à margem esquerda do rio São Francisco, no norte do Estado de Minas Gerais.

A escolha da área justifica-se pelo fato de estar inserida no carste do Grupo Bambuí, considerado como um geocossistema extremamente frágil, na Área de Proteção Ambiental Federal Cavernas do Peruaçu, onde também se encontra o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu e o Parque Estadual Veredas do Peruaçu.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Rio Peruaçu encontra-se inserida na bacia hidrográfica do rio São Francisco, no alto/médio curso rio São Francisco. O rio Peruaçu é um importante afluente do São Francisco pela margem esquerda, localizado na porção norte do Estado de Minas Gerais, nos municípios Bonito de Minas, Cônego Marinho, Januária, Itacarambi, São João das Missões e Miravânia, distante cerca de 650 km da capital, Belo Horizonte.

Sua nascente está posicionada entre as seguintes coordenadas geográficas 15°35'46"S e 44°40'17"W, a aproximadamente 799 metros de altitude. O exutório está posicionado entre as coordenadas geográficas 15°92'24"S e 44°62'38"W, em uma cota altimétrica de 444 m, apresentando um desnível médio de 355 metros. A extensão total do rio Peruaçu é de aproximadamente 112,42 km ao longo de uma bacia hidrográfica que drena uma área de 1.148 Km² no sentido NW-SE (Santos, 2020).

A Bacia Hidrográfica do rio Peruaçu está inserida na Área de Proteção Ambiental Federal do Peruaçu, onde se encontra duas outras importantes unidades de conservação: o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu e o Parque Estadual Veredas do Peruaçu como apresentado na (Figura 1).

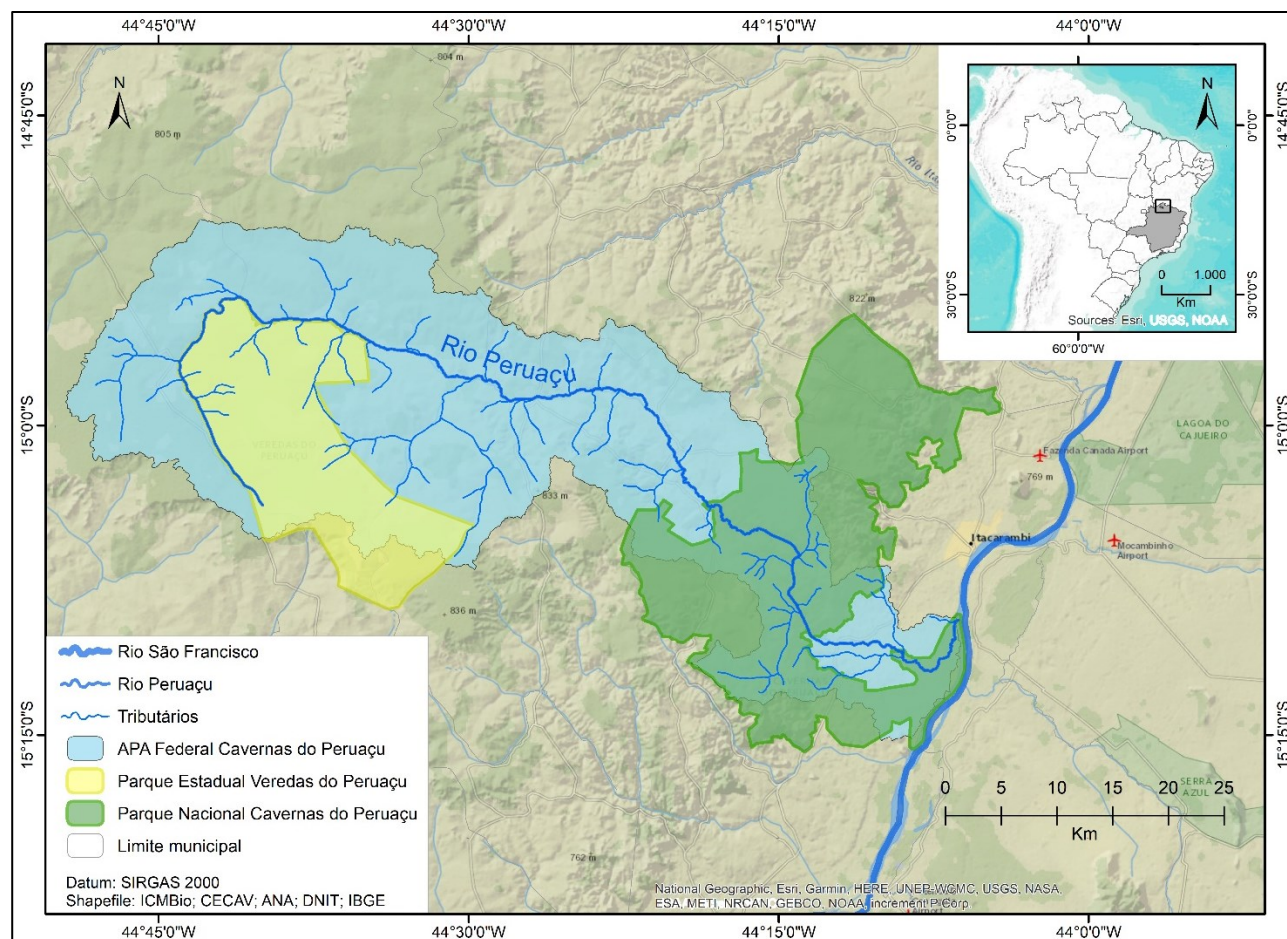
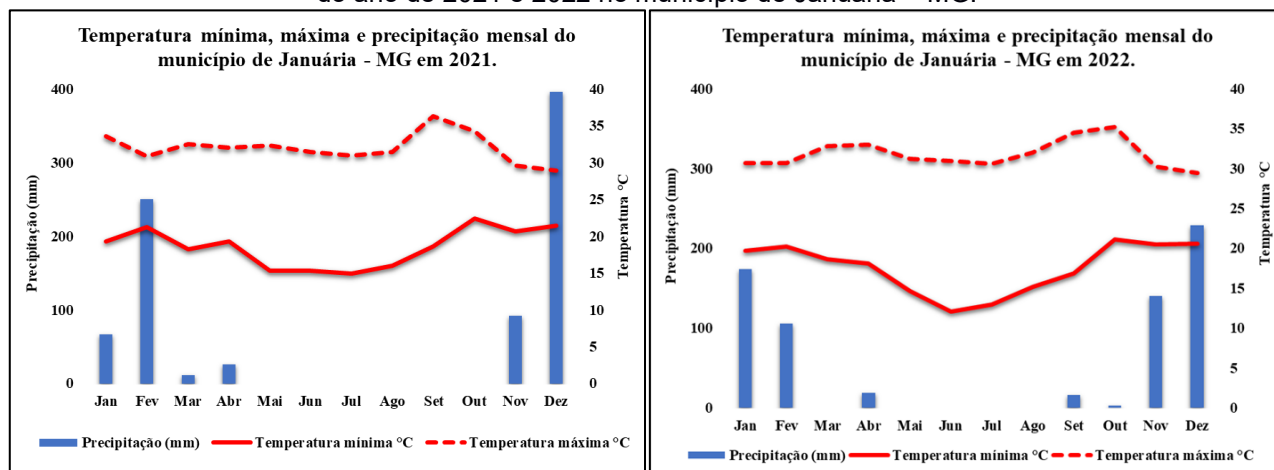


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Peruaçu no contexto nacional, estadual e municipal. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

2.1. Contexto fisiográfico

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger (1948), o clima da área de estudo é classificado como Aw, ou seja, tropical com estação seca, ou tropical quente, apresentando períodos secos e úmidos bem definidos.

Observa-se no climograma (Gráfico 1) a média anual de temperatura mínima e máxima e a precipitação durante os meses de 2021 e de 2022, anos que foram desenvolvidos as campanhas de coleta em campo. Em 2021 a temperatura mínima variou entre 14,9°C e 22,4°C e a máxima entre 28,9°C a 36,3°C, com maior precipitação registrada no mês de dezembro, com 395,8 mm. No mês de novembro (primeira campanha de campo) a temperatura mínima foi de 20,6°C e máxima de 29,6°C e a precipitação atingiu 91,6 mm. No ano de 2022 a temperatura mínima atingiu 12,1°C e máxima de 35,2°C e a maior precipitação no mês de janeiro, 173,6 mm. O mês que ocorreu a segunda campanha de campo (julho) não teve nenhum registro devido ao período de estiagem, característica do inverno.

Gráfico 1: Climograma, apresentando a temperatura mínima e máxima e, a precipitação mensal no decorrer do ano de 2021 e 2022 no município de Januária – MG.

Fonte: INMET, 2023. Elaborado e modificado pelos autores, 2023.

O Parque Nacional Cavernas do Peruaçu está localizado em uma região do Brasil caracterizada como zona ecótona. Está inserida em dois importantes biomas brasileiros, o Cerrado e a Caatinga. Este ecótono, apresenta grande heterogeneidade em unidades florísticas, com florestas tropicais sazonalmente secas e enclaves de florestas caducifólias de cerrado, veredas, caatinga arbórea e caatinga arbórea cristalina (Coutinho, 2016; Pereira *et al.*, 2018).

No contexto geológico, a área de estudo está inserida na porção centro leste do Cráton do São Francisco, constituindo um núcleo crustal estabilizado no final do ciclo Transamazônico, entre 2,1 e 1,8 Ma (Almeida, 1977). Grandes unidades litoestratigráficas são identificadas na região, como o Grupo Urucuia, de idade Mesozóica e o Grupo Bambuí, do Neoproterozóico. A cronologia geológica regional se dá com a deposição de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí sobre o embasamento cristalino, constituído de rochas granodioríticas e granito-gnáissicas (IBAMA, 2005b, Simões, 2007). O rio Peruaçu apresenta drenagem perene e sua nascente se localiza nos planaltos desenvolvidos sobre os pacotes sedimentares do Grupo Urucuia (que englobam os arenitos, siltitos e concreções látero-manganesíferas. Em seu médio curso, drena uma área de rochas carbonáticas e pelíticas pertencentes ao Grupo Bambuí. Em seu baixo curso, localizado na depressão do rio São Francisco, escoar seu fluxo sobre coberturas inconsolidadas, de idade Cenozóica (IBAMA, 2005), como mostra a (Figura 2).

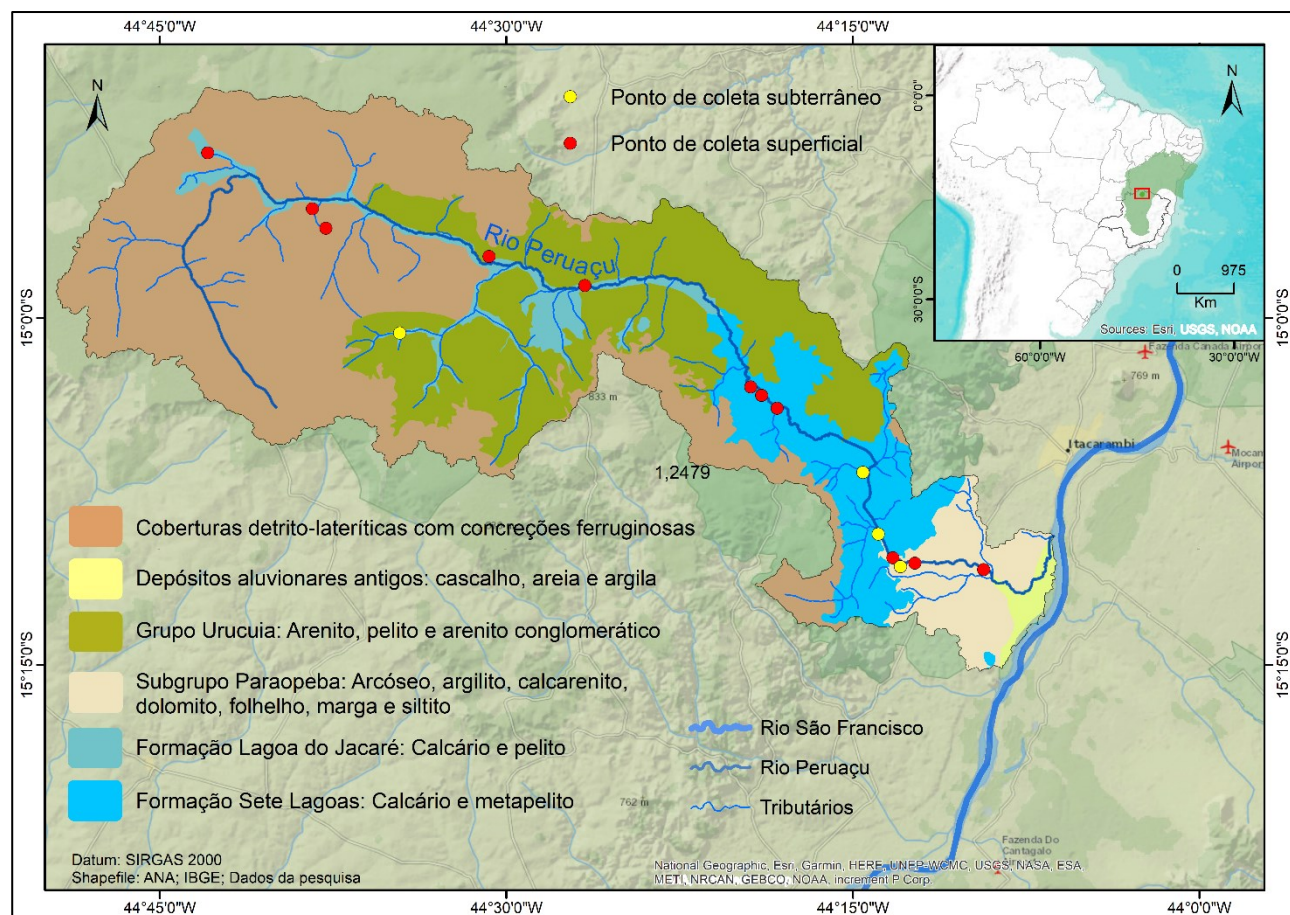


Figura 2: Mapa, apresentando as unidades litológicas presentes na área de estudo, juntamente com os pontos de amostragem para água superficial e subterrânea. O encarte apresenta a inserção da área da pesquisa, no contexto do Cráton do São Francisco.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram definidos para a área de estudo três compartimentos geomorfológicos: 1) o de cimeira, 2) o compartimento carstificado e 3) a depressão do rio Peruaçu, cada qual apresentando suas próprias características em função da posição topográfica, da morfologia e da litologia, sujeitas às mesmas condicionantes climáticas regionais (Piló, 1997; Santos, 2020).

O Brasil é o país que possui a maior área cárstica em relação aos outros países sul-americanos, obtendo o maior potencial em termos espeleológicos. As cavernas, em sua maioria, estão localizadas em regiões calcárias, entretanto, pode-se encontrar também cavernas desenvolvidas em arenitos e quartzitos (Travassos; Guimarães; Varela, 2008). No Brasil, o carste carbonático ocupa cerca de 200.000 km², sendo que a maior parte se localiza na região sudeste do país. O carste inserido no Grupo Bambuí, se destaca por conter a maior área carbonática do país, abrangendo aproximadamente metade das 3.500 cavernas conhecidas, incluindo as mais relevantes do país (Auler, 2004a). A dissolução dos carbonatos e dolomitos do Grupo Bambuí originou diversas

feições, caracterizando-se pela morfologia do carste superficial e subterrâneo, dentre os quais, destacam-se os maciços residuais, paredões, arcos cársticos, dolinas e as cavernas, como mostra a Figura 3.

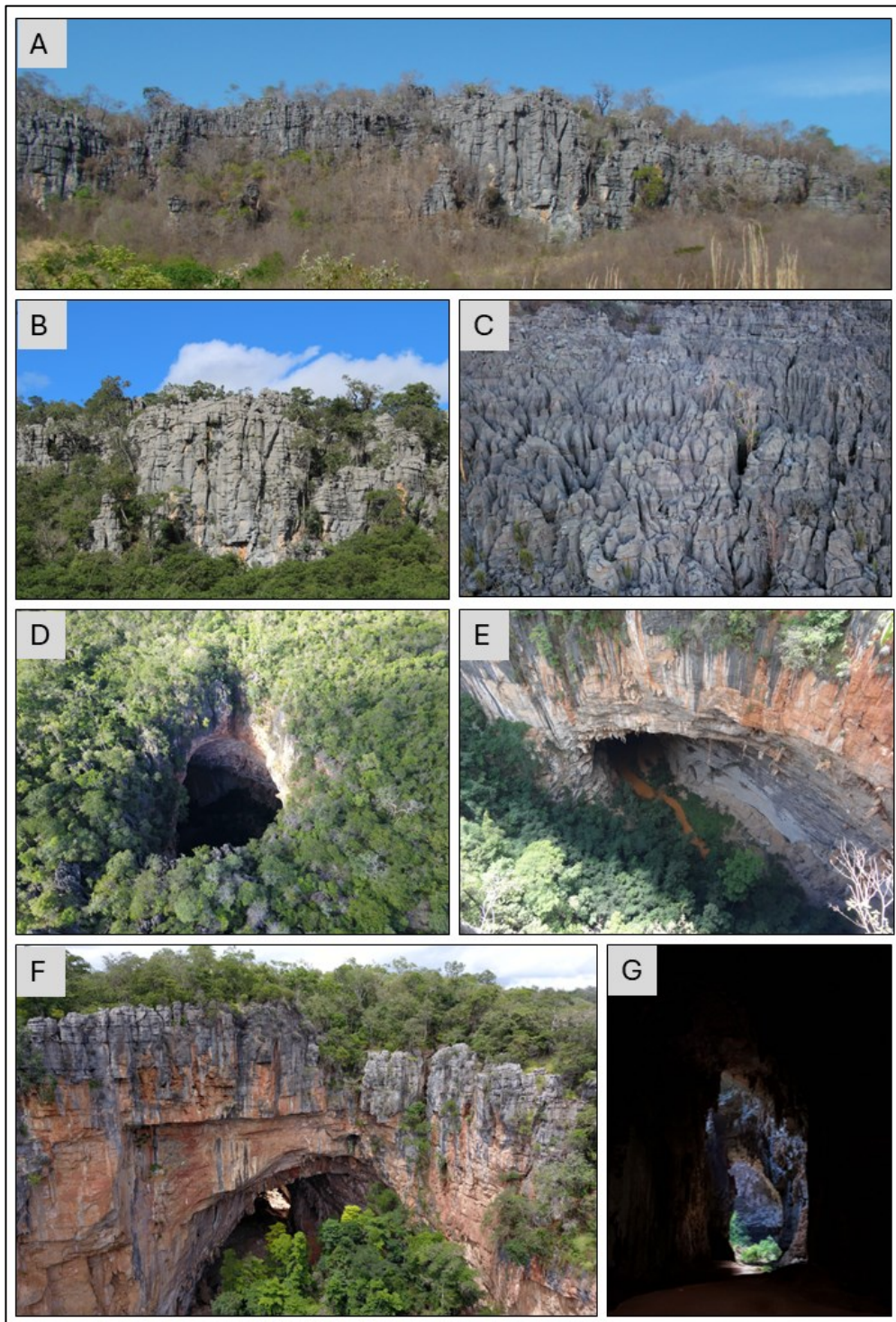


Figura 3: A paisagem cárstica do PARNA Cavernas do Peruaçu. Em A, B e C, os diferentes tipos de *karren* (lapiás) que sulcam os paredões carbonáticos. D) Vista aérea da Dolina dos Macacos. E) Vista do Rio Peruaçu a partir da Dolina dos Macacos. F) Paredão de entrada da Gruta do Janelão sendo possível visualizar estágios evolutivos das feições de dissolução. G) A Gruta do Janelão.

Fonte: Fotografia dos autores.

2.2. Uso e ocupação da terra

À montante da bacia hidrográfica do rio Peruaçu (Figura 4), a agricultura irrigada é utilizada em diversos pontos de captação e bombeamento de água para a irrigação. Esses pontos de captação são feitos diretamente no rio Peruaçu, podendo ocorrer a poluição da água. Esse impacto certifica que as ações antrópicas derivadas dos diversos usos e ocupação da terra estão gerando impactos negativos, principalmente à qualidade dos recursos hídricos em proporção local e regional (IBAMA, 2005).

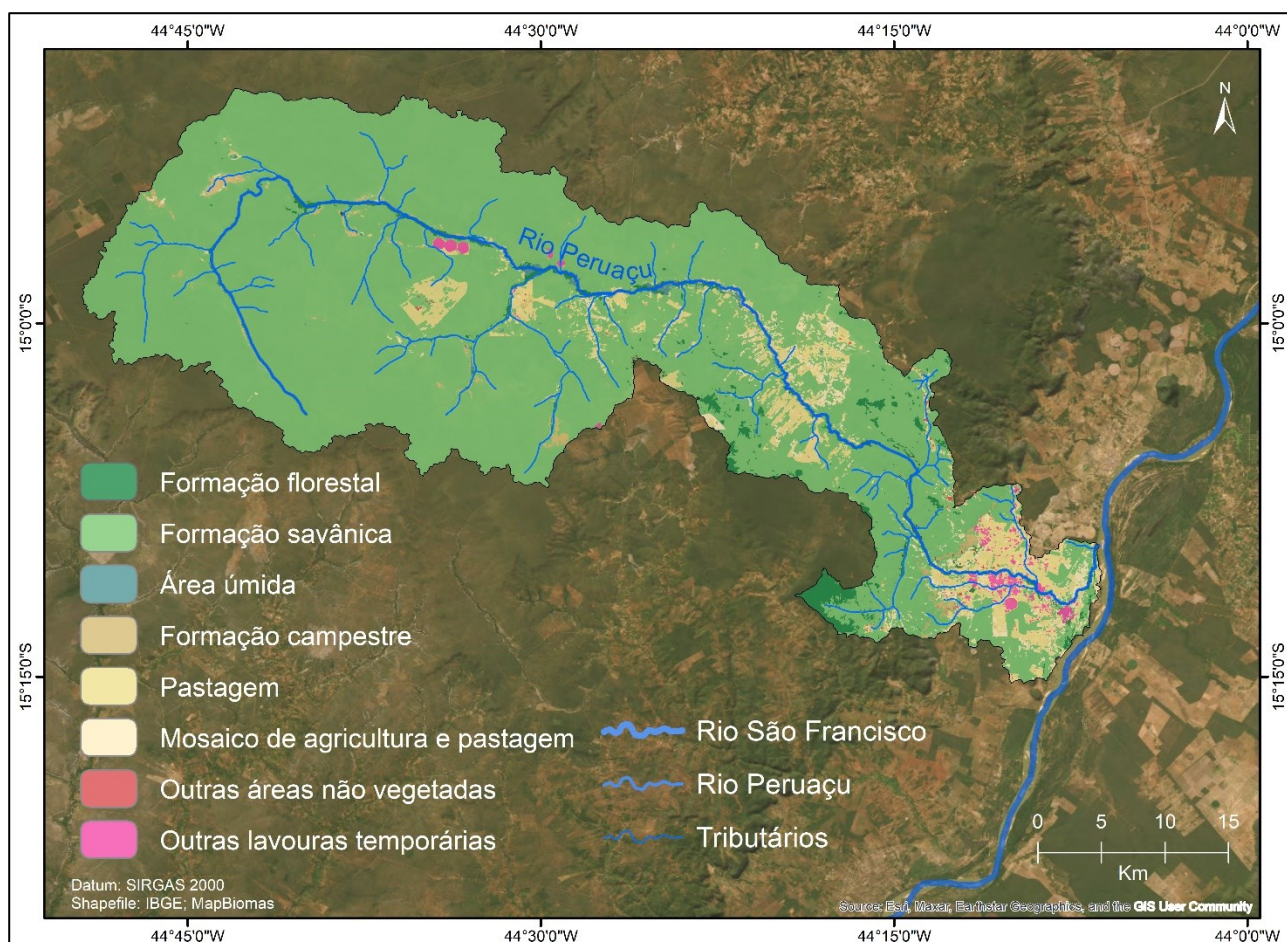


Figura 4: Mapa, referente à classificação dos tipos de cobertura e uso da terra, mostrando a análise dinâmica do território da bacia hidrográfica do rio Peruaçu.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Depressão Sanfranciscana existem dois barramentos no rio Peruaçu, fato prejudicial à ictiofauna do rio nos pontos localizados à montante e à jusante. Além disso, alteram a dinâmica hídrica local. As práticas agrícolas são comuns nas comunidades do entorno da bacia.

Observa-se a predominância de Formação Savânica (Figura 4). A montante da bacia do rio Peruaçu, encontra-se pontos com áreas de Formação Campestre. No segmento médio do curso, destaca-se a inserção de lavouras temporárias, pastagens e

áreas úmidas. Adentrando o sistema cárstico, predominam as pastagens e um mosaico de agriculturas e pastagens. Esse mosaico corresponde à área onde o mapeamento não identificou a separação entre agricultura e pastagem, ou seja, elas ocorrem de forma consorciada. À jusante da bacia, a área é composta por lavouras temporárias, pastagens e por um mosaico de agricultura e pastagem.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa é de caráter quantitativo e qualitativo (Figura 5). Em gabinete foi realizado o planejamento da pesquisa, levando em consideração as variáveis fisiográficas e antrópicas presentes na área. A malha amostral foi de média densidade (bacias hidrográficas com até 100km² de área), com espaçamento entre as estações de aproximadamente 3,5 km. Assim, determinou-se um total de 15 estações de amostragem (por período climático). Todos os pontos amostrados (Figura 6) foram georreferenciados com o GPS Garmin 76CSX.



Figura 6: As imagens (a e b) representam a coleta das amostras em água superficial; (c) análises dos parâmetros físico-químicos através da Sonda Multiparâmetro HANNA HI9829; (d) coleta de água na Lagoa Jatobá; (e) análises de cálcio e magnésio em laboratório, (f) corresponde as análises microbiológicas, a primeira, demonstra a amostra com o reagente Colilert, a segunda, imagem após as 24h na Estuda de Cultura, quantificando *E. coli*.

Fonte: Fotografia dos autores.

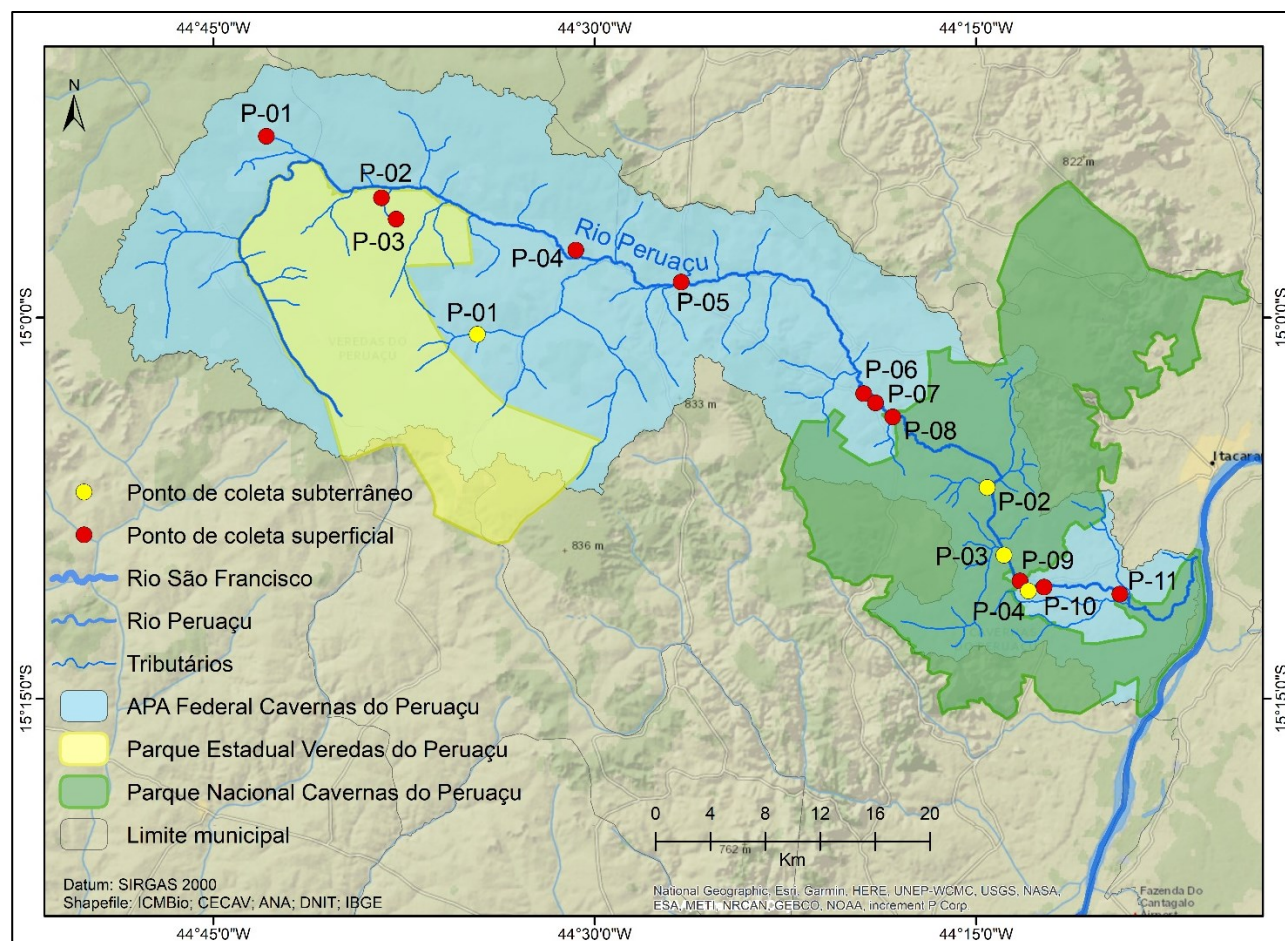


Figura 5: Mapa hidrográfico da bacia do Rio Peruaçu, apresentado as 15 estações de coleta para água superficial (pontos em vermelho) e subterrânea (pontos em amarelo).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Um volume de 500 ml de água superficial e subterrânea foi coletado em frascos de polietileno e as amostras de água foram acidificadas com três gotas de HNO_3 até atingir o $\text{pH} < 2$, sendo preservadas a 4°C .

Foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos não conservativos determinados *in situ* (e.g. temperatura, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e salinidade) usando o equipamento Sonda Multiparâmetro HANNA HI9829.

Para análise de turbidez, utilizou-se o equipamento turbidímetro AlfaKit após a filtragem com a utilização de membranas de $0,45\mu\text{m}$ (CETESB, 2011). A análise da cor verdadeira foi feita com uso do fotocolorímetro AlfaKit. Utilizou-se a fotometria multiprocessada para análises de 5 ânions (e.g. fluoreto, nitrito, nitrato, sulfato e fosfato).

A análise de cátions (Al, Ba, Ca, Fe, Mg, Mn, Pb, Cd, Cu, Zn) foi realizada por meio da Espectrometria por Emissão Atômica com Fonte de Plasma (ICP-OES), a partir da emissão de fótons modifica os íons de uma amostra para estados de maior energia. Isto

ocorre a partir da transferência de energia pelo plasma indutivamente acoplado (ICP). As análises para *Echerichia coli*, foi feita pelo método Colilert, que detecta simultaneamente os Coliformes Totais e *Echerichia coli*. Após adicionar o reagente Colilert nas amostras e submeter a uma temperatura de 35°C durante 24 horas na Estufa de Cultura, é possível fazer a contagem do número mais provável (NMP) de *E. coli* através da tabela QuantiTray*/2000. A Figura 6 ilustra algumas etapas metodológicas realizadas para execução da pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros físico-químicos

Ao analisar os parâmetros físico-químicos e comparar os resultados com as normativas ambientais vigentes (Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357/05 para água superficial e 396/08 para água subterrânea), observou-se que alguns pontos amostrados não estão em conformidade com os limites estabelecidos pelas resoluções.

Turbidez - UNT

Ao longo do canal fluvial, na estação úmida, observou-se alguns pontos com elevada concentração de Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT) em comparação com a estação seca, cujos resultados foram mais homogêneos. Destaca-se apenas o ponto 09 que apresentou um valor de 304,33 UNT, extrapolando o valor máximo permitido de 100 UNT pela Resolução CONAMA N°357/05. Essa alteração está relacionada com as condições antrópicas regionais: o uso da terra. Os cultivos diversos e a criação de animais, o solo exposto e a carga detritica carregada em direção ao curso d'água aumentando significativamente a quantidade de material em suspensão, tais como matéria orgânica, areia, silte e argila, argila. Tal fato contribui para o alto nível da turbidez. Condições de ordem natural como o período chuvoso contribuem com o aumento da lixiviação e transporte do material exposto. Este fato também foi evidenciado no trabalho de Fonseca (2018), que reporta maior concentração de turbidez no período de maior precipitação associado à baixa densidade da cobertura vegetal, o aumento de vazão e carregamento de sedimentos para o rio Brandão, que perpassa no interior de uma Unidade de Conservação no município de Barra Mansa e Volta redonda, no Rio de Janeiro.

Em relação à água subterrânea, esse parâmetro apresentou valor que merece destaque apenas no ponto 01 (23,3 UNT) na estação úmida, contudo a normativa CONAMA 396/08 não estabelece valores de referência.

Cor Verdadeira

A Resolução CONAMA 357/05 determina o valor máximo permitido de 75 mg/l para a cor verdadeira. Dessa forma, observou-se que na água superficial, os pontos 05, 09 e 11 na estação úmida, e o ponto 01 na estação seca, foram os pontos que ultrapassaram o valor de referência (Tabela 1). Os altos valores apresentados nesses pontos podem estar relacionados com aspectos de ordem natural (e.g. matéria orgânica, ferro e manganês dissolvidos), aspectos microbiológicos (e.g. conjuntos de microrganismo que fazem parte dos ecossistemas aquáticos) e, alterações antrópicas (e.g. por efluentes domésticos *in natura*, que são lançados diretamente no curso d'água).

Nos pontos de coleta para água subterrânea durante a estação úmida, pontos 03 e 04, não foi possível obter qualquer leitura. Isso ocorreu devido ao fato de que os resultados registrados ficaram abaixo da capacidade mínima de detecção do equipamento de medição, estabelecida em 0,01 mg Pt/L. Por outro lado, durante a estação seca, os pontos examinados apresentaram valores zero.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros Turbidez e Cor Verdadeira nas duas estações climáticas.

Pontos referentes a água superficial				
Ponto	Turbidez (estação úmida)	Turbidez (estação seca)	Cor verdadeira (estação úmida)	Cor verdadeira (estação seca)
P01	-	16,86	-	175,76
P02	0,99	0,9	19	0
P03	17,7	3,52	20,66	4,07
P04	1,54	0,14	35	2,87
P05	51	4,4	116,66	44,38
P06	2,04	0,08	26,33	2,5
P07	5,98	1,45	47	0,0033
P08	0,09	0,29	25,33	0
P09	304,33	1,71	77	0
P10	19	2,36	44,66	0
P11	60,9	6,72	98,66	0
CONAMA 357/05	100 mg/L	100 mg/L	75 mg/L	75 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea				
P01	23,3	-	40,66	-
P02	0,9	0,08	5,66	0
P03	0,14	0,25	-	0
P04	0,05	0,07	-	0
CONAMA 396/08	-	-	-	-

Fonte: Autores, 2023.

Temperatura - T°C

Durante as campanhas de campo, a temperatura da água apresentou valores que variaram nas duas estações climáticas, conforme apresentado (Tabela 2 e 3). A diferença entre um ponto e outro está relacionada com o horário da coleta, a presença ou ausência de cobertura vegetal (que permite a incidência de raios solares ou o sombreamento), as características morfológicas do canal fluvial (e.g. profundidade, fluxo turbulento ou laminar) e velocidade, sendo que as coletas ocorreram nos horários entre 09:00h e 16:30h.

Potencial Hidrogeniônico - pH

O parâmetro Potencial Hidrogeniônico contém valores mínimos e máximos determinados pela Resolução CONAMA N°357/05, no qual é mantida a faixa de 6 e 9 para água superficial. Percebe-se que em nenhum dos pontos ultrapassou o valor máximo permitido. Apenas os pontos 03 e 04, nas duas estações climáticas, ficaram abaixo do valor mínimo determinado. Em relação a água subterrânea, não há valor determinado pela legislação. Contudo, chama-se a atenção para o ponto 01, que apresentou valor de 5,92 na estação úmida. Nesse local o ambiente encontra-se levemente ácido e os demais pontos se mantiveram neutros. Essas diferenças nos resultados podem estar relacionadas com os diferentes litotipos, variações pedológicas, fitofisionomias vegetacionais e influência da sazonalidade climática.

No monitoramento de água subterrânea realizado por Venancio *et al.* (2020) na região metropolitana de Fortaleza - CE, foi observada uma ampla variação nos valores de pH, tanto espacialmente quanto temporalmente, ao longo do período de estudo. Os autores indicam que essa variação pode estar relacionada às precipitações ocorridas durante o monitoramento, as quais podem diluir os constituintes químicos da água armazenada no subsolo e, ao mesmo tempo, introduzir elementos provenientes de atividades humanas depositadas sobre o solo, como metais pesados, pesticidas e matéria orgânica.

Oxigênio Dissolvido - OD

Ao longo do perfil longitudinal do rio, a concentração de oxigênio dissolvido variou de forma significativa. De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, o valor de OD não pode ser inferior a 5 mg/L. A maioria dos pontos amostrados, ficou abaixo do valor de referência, conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3.

A redução da concentração de OD pode estar associada ao aumento da temperatura e a efluentes domésticos sem tratamento. Além disso, a baixa concentração de OD também pode se relacionar com a presença de bactérias aeróbicas em grandes quantidades, condições que podem favorecer a mortandade de vários seres aquáticos (Ribeiro, 2010).

Nos pontos referentes à água subterrânea, foram observados valores considerados baixos. No entanto, de acordo com Souza *et al.* (2004), essa ocorrência é normal para águas subterrâneas. Isso se deve ao fato de que o oxigênio dissolvido reflete o grau de aeração da água, o qual só aumenta conforme a superfície da água entra em contato com o ar, algo que não acontece com a água subterrânea.

Condutividade Elétrica - CE

A Resolução CONAMA N°357/05 não determina valores para condutividade elétrica, contudo, de acordo com CETESB (2011), valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Dessa forma, os pontos 02, 03 e 04 nas duas estações climáticas estão em conformidade com o valor mencionado pela CETESB. Os demais pontos ultrapassaram esse valor de referência e tais alterações tem forte ligação com a litologia e o uso da terra (Tabelas 2 e 3).

Quanto à água subterrânea, destaca-se o ponto 3, com um valor de condutividade elétrica de 3485 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A amostra coletada neste ponto foi obtida de um poço tubular situado no centro de visitantes do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. Este valor elevado indica que a dinâmica e a evolução da morfogênese cárstica estão ativas, uma vez que a água está saturada com elementos dissolvidos como Alumínio (Al), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).

Sólidos Totais Dissolvidos - STD

Os sólidos totais dissolvidos (STD) encontrados na água superficial estão em conformidade com o valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/05, que estabelece um limite de 500 mg/L. Por outro lado, a Resolução 396/08 define um valor de 2.000 mg/L de STD para águas subterrâneas. Nesse contexto, o ponto 03 se destacou com o maior valor entre os demais pontos, registrando 1,743 mg/L na estação úmida e 1,718 mg/L na estação seca. Os demais pontos variaram de 0,113 mg/L a 0,369 mg/L. Esses resultados estão relacionados à presença de substâncias dissolvidas ou em estado coloidal, bem como às características geoquímicas da área (Tabelas 2 e 3).

Salinidade

Os resultados das amostras de água superficial indicam valores dentro dos limites estabelecidos pela Resolução para águas doces superficiais, os quais devem ser iguais ou inferiores a 0,5‰ de salinidade. Entre os pontos amostrados para água subterrânea, o ponto 03 se destacou ao apresentar um valor de 1,82 mg/L em ambas as estações climáticas. Esse fenômeno está relacionado à sua localização em uma área cárstica carbonática, conhecida por sua alta solubilidade, o que contribui para o aumento da concentração de sais dissolvidos e altera os níveis de salinidade e condutividade elétrica (CE) na água.

Tabela 2: Resultados dos parâmetros físico-químicos na estação climática úmida.

Pontos referentes a água superficial						
Ponto	Temperatura	Potencial Hidrogeniônico	Oxigênio Dissolvido	Condutividade Elétrica	Sólidos Totais Dissolvidos	Salinidade
P01	-	-	-	-	-	-
P02	29,02	6,6	5,99	39	0,019	0,02
P03	25,34	5,03	0	63	0,031	0,03
P04	28,17	4,73	5,16	15	0,007	0,01
P05	24,72	6,87	0,23	457	0,229	0,22
P06	23,68	7,15	1,42	494	0,247	0,24
P07	21,77	7,32	0	458	0,229	0,22
P08	22,17	7,84	5,28	494	0,247	0,24
P09	24,71	8,02	7,41	371	0,185	0,18
P10	23,47	7,77	6,52	557	0,279	0,27
P11	25,37	7,23	2,33	178	0,239	0,23
CONAMA 357/05	-	6 - 9	5 mg/L	-	500 mg/L	0,5 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea						
P01	23,77	5,92	0	226	0,113	0,11
P02	22,88	6,97	5,95	738	0,369	0,36
P03	26,12	7,82	3,54	3485	1,743	1,82
P04	-	-	-	-	-	-
CONAMA 396/08	-	-	-	-	2000 mg/L	-

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 3: Resultados dos parâmetros físico-químicos na estação climática seca.

Pontos referentes a água superficial						
Ponto	Temperatura	Potencial Hidrogeniônico	Oxigênio Dissolvido	Condutividade Elétrica	Sólidos Totais Dissolvidos	Salinidade
P01	18,56	6,64	2,03	156	0,078	0,07
P02	24,54	7,28	5,97	17	0,009	0,01
P03	22,53	5,25	4	20	0,01	0,01
P04	22,06	4,91	4,6	10	0,005	0
P05	17,69	4,41	1,59	260	0,13	0,12
P06	22,74	6,87	1,55	528	0,263	0,25
P07	18,73	7,56	4,37	5,25	0,263	0,25
P08	18,11	7,86	4,62	115	0,257	0,25
P09	19,1	7,82	5,17	559	0,279	0,27
P10	20,72	7,96	5,39	593	0,297	0,29
P11	21,62	7,86	5,19	578	0,289	0,28
CONAMA 357/05	-	6 - 9	5 mg/L	-	500 mg/L	0,5 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea						
P01	-	-	-	-	-	-
P02	21,11	7,35	4,04	698	0,349	0,34
P03	23,05	7,9	3,45	3435	1,718	1,8
P04	24,79	7,72	4,55	716	0,358	0,35
CONAMA 396/08	-	-	-	-	2000 mg/L	-

Fonte: Autores, 2023.

LAS

Para o LAS (sulfonatos de alquil-benzeno de cadeia linear), a Resolução CONAMA 357/05 determina valor máximo permitido de 0,5 mg/L para água superficial. Na estação úmida, em todos os pontos amostrados, não foram detectadas concentrações de detergente. Entretanto, na estação seca, verificou-se valores de 0,01 mg/L a 0,43 mg/L e os pontos 02, 08 e 10 não registram nenhum valor (Tabela 4).

O ponto 06, com 0,43 mg/L, é uma surgência localizada próxima a uma residência. Dessa forma infere-se que o resultado está relacionado a atividade de uso doméstico. O ponto 03, que apresentou o valor de 0,13 mg/L, é um poço tubular profundo e foi possível detectar esse elemento, resultado que pode ter relação com a má vedação e a falta de manutenção do poço.

Fluor - F

Observou-se a presença de flúor (F) na maioria dos pontos analisados, no entanto, os resultados estão dentro do limite estabelecido pela normativa ambiental vigente (CONAMA 357/05), que é de 1,4 mg/L para águas superficiais e, portanto, considerados baixos. No que diz respeito às águas subterrâneas, a Resolução CONAMA 396/08

estipula um limite de 500 mg/L para flúor e a análise dos resultados revela que estão em conformidade com essa regulamentação. O ponto 03 merece destaque devido ao seu valor significativamente mais alto em comparação com os demais pontos (ver Tabela 4). Essa assinatura geoquímica para o flúor pode estar relacionada a fatores tanto antropogênicos (como o uso de fertilizantes) quanto naturais (associados à litologia da região).

Tabela 4: Resultados de LAS e Fluor nas duas campanhas de campo.

Pontos referentes a água superficial				
Ponto	LAS (estação úmida)	LAS (estação seca)	Fluor (estação úmida)	Fluor (estação seca)
P01	0	0,13	-	0,22
P02	0	0	0,0066	0,01
P03	0	0,05	0	0
P04	0	0,05	0	0,09
P05	0	0,07	0,23	0,08
P06	0	0,43	0,09	0,16
P07	0	0,07	0,29	0,14
P08	0	0	0,1	0,07
P09	0	0,02	0	0,2
P10	0	0	0,37	0,32
P11	0	0,01	0,19	0,16
CONAMA 357/05	-	-	1,4 mg/L	1,4 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea				
P01	0		0	
P02	0	0	0,06	0
P03	0	0,13	2,63	2,96
P04	0	0	0,25	0,17
CONAMA 396/08	-	-	500 mg/L	500 mg/L

Fonte: Autores, 2023.

Nitrito - NO₂

Os resultados obtidos NO₂ na água superficial (Tabela 5), estão dentro do limite estabelecido pelo CONAMA 357/05, que é de 1 mg/L. Segundo Freitas (2019), as concentrações desse elemento são relativamente reduzidas e eventualmente excedem o valor de 1 mg/L. Em águas subterrâneas o limite determinado pela CONAMA 396/08 é de 20 mg/. Dentre os pontos amostrados, apenas o ponto 01 na estação úmida e, o ponto 04 na estação seca, apontou concentrações de NO₂.

Nitrato - NO₃

Com relação ao NO₃, poucos pontos apresentaram valores para esse íon. Os valores são pouco expressivos em comparação com o limite máximo estabelecido pela

normativa que é de 10 mg/L para água superficial (Tabela 5). A quantidade natural encontrada desse elemento é baixa (<1 mg/L), corroborando com o trabalho de Freitas, (2019). Com relação aos pontos referentes à água subterrânea, cujo limite estabelecido pela Resolução 396/08 é de 300 mg/L, observa-se que apenas o ponto 04, na estação úmida e os pontos 02, 03 e 04 na estação seca, apresentaram concentração de NO₃. Ainda assim, os valores detectados estão abaixo do limite máximo permitido pela Resolução.

Tabela 5: Resultados de Nitrito e Nitrato nas duas campanhas de campo.

Pontos referentes a água superficial				
Ponto	Nitrito (estação úmida)	Nitrito (estação seca)	Nitrato (estação úmida)	Nitrato (estação seca)
P01	-	0,16	-	0,88
P02	0,03	0	0	0
P03	0,06	0,03	0	0
P04	0	0,03	0	0
P05	0,09	0	0,78	0
P06	0	0	0	0,35
P07	0,03	0,03	0	1,07
P08	0	0	0	0,48
P09	0,54	0	3,67	0
P10	0,06	0	0,1	0
P11	0,09	0,03	0,17	0
CONAMA 357/05	1 mg/L	1 mg/L	10 mg/L	10 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea				
P01	0,06	-	0	-
P02	0	0	0	0,66
P03	0	0	0	0,1
P04	0	0,03	0,35	0,48
CONAMA 396/08	20 mg/L	20 mg/L	300 mg/L	300 mg/L

Fonte: Autores, 2023.

Sulfato – SO₄

Com relação ao SO₄, a Resolução CONAMA 357/05 estabelece valor máximo permitido de 250 mg/L. Nenhum dos pontos amostrados para água superficial extrapolou o valor limite recomendado (Tabela 6). Para a água subterrânea, a Resolução CONAMA 396/08, estabelece o valor máximo permitido de 5000 mg/L. Para a água subterrânea, apenas o ponto 03, na estação seca, destacou-se entre os demais apresentando um valor de 2.133 mg/L de SO₄. Tal valor pode estar associado ao processo natural de dissolução dos carbonatos. Na estação úmida, esse ponto obteve resultado de 6,54 mg/L e essa discrepância pode estar relacionada com a sazonalidade climática, pois a dissolução na estação úmida pode diminuir a concentração do sulfato.

Fosfato - PO₄

Todos os pontos amostrados apresentaram valores abaixo do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 que é de 250 mg/L, nas duas campanhas de campo (Tabela 6). Apenas o ponto 9, na estação úmida, se destacou entre os demais e esse valor pode ter relação com o lançamento de efluentes domésticos *in natura* diretamente no curso d'água. Em relação à água subterrânea, os valores de concentração de PO₄ não chegaram a atingir 1 mg/L, sendo que, o valor máximo atingido na estação úmida foi de 0,52 mg/L e na estação seca de 0,66 mg/L.

Tabela 6: Resultados de Sulfato e Fosfato nas duas campanhas de campo.
Pontos referêntes a água superficial

Ponto	Sulfato (estação úmida)	Sulfato (estação seca)	Fosfato (estação úmida)	Fosfato (estação seca)
P01	-	20,68	-	0,16
P02	0	2,03	0,0033	0
P03	10,54	6,68	0,06	0,03
P04	2,03	4,42	0,15	0
P05	18,22	4,35	0	0
P06	5,35	7,58	0	0
P07	7,43	7,13	0,38	0,0033
P08	0,18	4,33	0,09	0
P09	44,54	2,31	4,2	0,01
P10	13,39	0,01	0,37	0,03
P11	19,83	7,26	1,07	0,1
CONAMA 357/05	250 mg/L	250 mg/L	-	-

Pontos referêntes a água subterrânea				
P01	39,65		0,16	-
P02	4,51	3,93	0,52	0
P03	6,54	2133	0,09	0,08
P04	17,97	1,52	0	0,66
CONAMA 396/08	5000 mg/L	5000 mg/L	-	-

Fonte: Autores, 2023.

Metais

Como apresentado na Tabela 7, os valores que apresentam sinal (<) ou (>), representam resultados abaixo ou acima do limite de detecção do aparelho.

Alumínio - Al

Apartir dos resultados, verificou-se que a concentração Al dissolvido na estação úmida não ultrapassou o limite determinado pela Resolução 357/05, que é de 0,1 mg/L. Na estação seca, os pontos 06, 07, 08, 09, 10 e 11 extrapolaram o limite indicado pela

norma. Para água subterrânea, o limite estabelecido pela Resolução 396/08 é de 50 mg/L e os resultados apresentados estão dentro do limite estabelecido. A concentração de Al ao longo do rio Peruaçu é decorrente de fatores naturais e antrópicos, como a lixiviação desse elemento pelo intemperismo dos litotipos do Grupo Bambuí e o uso da terra no entorno da bacia hidrográfica.

Bário-Ba

De acordo com as resoluções CONAMA 357/05, que estabelece valor de 0,7 mg/L, para a água superficial e a Resolução 396/08, que estabelece valor de 20 mg/L para água subterrânea, nenhum dos pontos amostrados nos dois períodos climáticos extrapolou o limite estabelecido.

Os valores encontrados para Ba podem estar associados a fatores naturais (intemperismo das rochas) e de ordem antrópica (presença de resíduos provenientes do uso de defensivos agrícolas). Na água subterrânea, a concentração de Ba encontrada está associada ao processo de lixiviação na cobertura pedológica e pela presença de elementos químicos oriundos dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos insumos agrícolas.

Tabela 7: Resultados dos elementos químicos Alumínio e Bário nas duas campanhas de campo.

Pontos referentes a água superficial				
Ponto	Alumínio (estação úmida)	Alumínio (estação seca)	Bário (estação úmida)	Bário (estação seca)
P01		0,0805	-	0,0444
P02	0,0151	0,0906	0,0085	0,0226
P03	0,0151	0,0805	0,0264	0,0226
P04	0,0151	0,0805	-	-
P05	0,0151	0,0805	0,034	0,0226
P06	0,0151	0,2499	0,0419	0,0783
P07	0,0151	0,2076	0,0662	0,1033
P08	0,0386	0,1152	0,0531	0,1758
P09	0,0151	0,1927	0,0318	0,1365
P10	0,0151	0,2687	0,0485	0,1469
P11	-	0,3522	0,0756	0,1831
CONAMA 357/05	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,7 mg/L	0,7 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea				
P01	0,0151	-	0,0181	-
P02	0,027	0,2855	0,0447	0,03
P03	0,0503	0,4289	0,0113	0,0622
P04	0,0151	0,36518	0,0413	0,1504
COANAM 396/08	50 mg/L	50 mg/L	20 mg/L	20 mg/L

Fonte: Autores, 2023.

Cálcio-Ca e Magnésio-Mg

O Ca e o Mg são elementos importantes para entender como a litologia é um fator que interfere de modo natural na área de estudo, sobretudo em regiões com ocorrência de carbonatos (Bento, 2020). A concentração de Ca e Mg na água superficial e subterrânea obteve variações significativas nos pontos amostrados (Tabela 8). Contudo, as resoluções ambientais vigentes não especificam limites para esses elementos.

Os teores de Ca e Mg encontrados nas amostras decorrem da dissolução das rochas carbonáticas, pois são elementos predominantes nas litologias da área de estudo. A diferença apresentada entre as estações está relacionada com a sazonalidade climática, principalmente em relação a estação úmida, quando ocorre o processo de lixiviação, o aumento da vazão e a diminuição na concentração desses elementos.

A alta concentração desses dois elementos também pode ser observada nos estudos de Rodrigues (2021) e Bento (2020) e a relação entre esses resultados se dá em função da localização das áreas de estudos, ou seja, ambas fazem parte do Grupo Bambuí.

Tabela 8: Resultados dos elementos químicos Cálcio e Magnésio nas duas campanhas de campo.

Pontos referêntes a água superficial				
Ponto	Cálcio (estação úmida)	Cálcio (estação seca)	Magnésio (estação úmida)	Magnésio (estação seca)
P01	-	>17,36	-	2,987
P02	0,884	2,403	0,1447	0,4407
P03	1,277	2,397	0,2719	0,661
P04	0,816	35,44	0,0988	8,41
P05	>14,29	1,941	6,13	0,3083
P06	>14,29	>35,97	6,05	>13,77
P07	>14,29	>35,97	5,79	>13,27
P08	>14,28	>35,97	6,61	>15,19
P09	>14,29	>35,97	5,24	>18,33
P10	>14,29	>35,97	>9,17	>21,94
P11	>14,29	>35,97	>8,79	>21,84
CONAMA 357/05	-	-	-	-
Pontos referêntes a água subterrânea				
P01	10,1		0,888	
P02	>14,29	>35,97	5,96	>13,22
P03	>14,29	>35,98	>9,63	>22
P04	>14,29	>35,97	>9,65	>22,04
CONAMA 396/08	-	-	-	-

Fonte: Autores, 2023.

Ferro-Fe

Os resultados apresentados para Fe (Tabela 9) não demonstram problemas de contaminação em relação ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA 375/05. Dá-se destaque apenas para os pontos 05 que, na estação úmida, apresentou valores próximos (0,2605mg/L e P11-0,1761mg/L) ao máximo permitido pela Resolução 357/05, que é de 0,3 mg/L. Na estação seca, o ponto 01 apresentou valor de 2,735mg/L. Nos demais pontos não foi possível detectar concentração de ferro em razão de ter ficado abaixo do limite de detecção. Tais valores estão ligados ao processo de lixiviação dos litotipos da área que, devido ao intemperismo físico-químico, tende a aumentar a concentração desse elemento nos sedimentos, solos e água. O Fe pode ser encontrado frequentemente em associação com o manganês. Nas águas subterrâneas, a CONAMA 396/08 estabelece valor de 100 mg/L e a concentração de ferro detectada foi no ponto 01 e 04, na estação úmida. Nos demais pontos na estação úmida e na estação seca, não foi possível detectar valores de Fe, pois ficaram abaixo do limite de detecção.

Manganês-Mn

A concentração para Mn determinada na Resolução 357/05 é de 0,1 mg/L e os pontos 07 e 11, nas duas estações climáticas, extrapolaram o valor determinado pela normativa (Tabela 9). Os teores de Mn estão associados à composição das unidades litológicas encontrada na região. O Mn é frequentemente encontrado em associação com o Fe, como ocorre na área da pesquisa.

Chumbo-Pb, Cádmio-Cd, Cobre-Cu e Zinco-Zn

Alguns elementos químicos ocorrem em associação com outros. O Zn, por exemplo, geralmente está associado ao Pb, Cd, Cu e Fe (Ribeiro, 2010). A Resolução para água superficial (CONAMA 357/05), estabelece valor máximo permitido de 0,01mg/L para Pb e Cd, 0,009 mg/L para Cu e 0,18 mg/L para Zn em água superficial.

Os resultados desses parâmetros são apresentados na Tabela 10 e, quando comparados com a Resolução, mostram que o ponto P11 apresentou 0,0243mg/L para Pb no período úmido e o ponto P08 apresentou 3,39 mg/L para Zn no período seco. Ambos ultrapassaram os limites de referência estabelecidos.

Para água subterrânea, a Resolução 396/08 estabelece valores máximo de 10 mg/L de Pb, 5 mg/L de Cd, 50 mg/L Cu e 100 mg/L de Zn. Nesse contexto e comparando

com os resultados obtidos nas análises, nota-se que os pontos amostrados estão em conformidade com a Resolução vigente, não apontando contaminação por esses metais.

O estudo de Daltro *et al.* (2020) no município de Boquira, no semiárido baiano, avaliou a presença de metais pesados na água subterrânea, nascentes e cisternas. Os resultados apontam valores para chumbo, cádmio, ferro e zinco pouco alterados em comparação com as análises de outros autores que pesquisaram a mesma região. Entretanto, os resultados desta pesquisa apresentam valores de Pb inferiores a < 0,01 mg/L, e para Cd, apenas em dois pontos ficaram abaixo do limite de quantificação. O elemento Zn variou entre < 0,01 a 0,149 mg/L. Os outros metais analisados, como Ca, Fe, Mg e Na apresentaram altos valores e as alterações nos valores desses elementos estão diretamente influenciadas pelo *background* geológico da área.

Tabela 9: Resultados dos elementos químicos Fe e Mn nas duas campanhas de campo.

Pontos referentes a água superficial				
Ponto	Ferro (estação úmida)	Ferro (estação seca)	Manganês (estação úmida)	Manganês (estação seca)
P01	-	2,735	-	<0,0207
P02	0,0053	<0,716	<0,0081	<0,0203
P03	0,0194	<0,716	<0,0081	<0,0203
P04	0,0251	<0,716	<0,0081	<0,0203
P05	0,2605	<0,716	<0,0384	<0,0203
P06	0,0465	<0,716	<0,0081	<0,0203
P07	0,034	<0,716	0,4679	0,265
P08	0,0183	<0,716	<0,0081	0,0412
P09	0,0137	<0,716	<0,0081	0,0257
P10	0,0144	<0,716	0,0405	0,0638
P11	0,1761	<0,716	0,1188	0,4207
CONAMA 357/05	0,3 mg/L	0,3 mg/L	0,1 mg/L	0,1 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea				
P01	0,0496	-	<0,0081	-
P02	<0,0026	<0,716	<0,0081	<0,0203
P03	<0,0026	<0,716	<0,0081	<0,0203
P04	0,0102	<0,716	<0,0081	<0,0203
CONAMA 396/08	100 mg/L	100 mg/L	-	-

Fonte: Autores, 2023.

Tabela 10: Resultados dos parâmetros Pb, Cd, Cu e Zn nas duas estações climática.

Pontos referentes a água superficial								
Ponto	Pb Estação úmida	Pb Estação seca	Cd Estação úmida	Cd Estação seca	Cu Estação úmida	Cu Estação seca	Zn Estação úmida	Zn Estação seca
P01		<0,0545		<0,0254	-	<0,0279		<0,0076
P02	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P03	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P04	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	-	<0,0076
P05	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P06	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P07	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P08	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	3,39
P09	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	-	<0,0076
P10	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P11	0,0243	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
CONAMA 357/05	0,01 mg/L	0,01 mg/L	0,001 mg/L	0,001 mg/L	0,009 mg/L	0,009 mg/L	0,18 mg/L	0,18 mg/L
Pontos referentes a água subterrânea								
P01	<0,0179	-	<0,0102	-	<0,0003	-	<0,0017	-
P02	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P03	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
P04	<0,0179	<0,0545	<0,0102	<0,0254	<0,0003	<0,0279	<0,0017	<0,0076
CONAMA 396/08	10 mg/L	10 mg/L	5 mg/L	5 mg/L	50 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	100 mg/L

Fonte: Autores, 2023.

Parâmetro microbiológico – *Echerichia coli*

A avaliação da qualidade microbiológica da água pode ser realizada através da identificação de indicadores de contaminação fecal e biológica. Em certos casos, são utilizados organismos e/ou comunidades aquáticas como ferramentas para essa análise. Esses organismos são frequentemente empregados como indicadores de poluição em corpos d'água naturais, uma vez que as mudanças em sua população e atividade microbiana podem afetar as propriedades físicas e químicas da água. Portanto, eles servem como marcadores da integridade ecológica dos ecossistemas (Santos; Monteiro, 2018).

A Resolução CONAMA 357/05, em seu Art. 15, estabelece diretrizes para águas doces de Classe 2. Para o uso de recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho, são aplicadas as disposições da Resolução CONAMA N° 274, de 2000, que se refere aos coliformes termotolerantes. Para outros usos, o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros não deve ser excedido em 80% ou mais de, pelo menos, seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Alternativamente, a *E. coli* pode ser determinada em substituição ao parâmetro

coliformes termotolerantes, conforme os limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

A Resolução CONAMA 396/08, que trata das águas subterrâneas, não estabelece um limite de quantificação praticável (LQP) para *Escherichia coli*. Nesse contexto, a quantidade de *E. coli*, conforme apresentada na Tabela 11, é bastante significativa para a água superficial.

Tabela 11: Resultados de *Echerichia coli* nas duas campanhas de campo com método Colilert.

Pontos referêntes a água superficial		
Ponto	Estação úmida	Estação seca
P01	-	13,4
P02	1	<1
P03	23,3	1
P04	2	<1
P05	190,4	14,5
P06	42,8	8,5
P07	29,9	32,3
P08	115,3	55,4
P09	913,9	98,4
P10	524,7	
P11	231	67,1
Pontos referêntes a água subterrânea		
P01	285,1	1
P02	<1	73
P03	<1	<1
P04	12,2	<1

Fonte: Autores, 2023.

Na estação úmida, o ponto 09 se destacou entre os demais. Tal fato pode ser explicado visto que no entorno desse ponto encontra-se um aglomerado de residências instaladas dentro do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu. Esse resultado está relacionado com a presença de animais próximos ao leito e pela poluição por efluentes domésticos. Na estação seca percebe-se uma redução significativa de *E. coli*, principalmente em relação ao ponto 09, em razão da ausência de escoamento das águas pluviais, as quais transportam substâncias orgânicas e inorgânicas depositadas em seu entrono.

Os pontos que apresentaram resultados <1 caracterizam pontos onde não foram detectados a presença de *E. coli*. Esses pontos estão localizados em lagoas e águas subterrâneas advindas de poços tubulares. Entretanto, os pontos 01 e 04 (na estação úmida) e os pontos 01 e 02 (na estação seca) apresentaram presença de *E. coli*.

Contudo, o valor obtido no ponto 01, na estação úmida, está em destaque devido ao seu alto valor, podendo estar relacionado com o fato do poço tubular não estar vedado adequadamente ou ainda, a falta de manutenção e cuidados adequados. Souza *et al.* (2018) apresentam análises em poços tubulares localizados em áreas urbanas e rurais, no município de Iguatama em Minas Gerais. De acordo com as análises, os resultados encontrados em todas as amostras foram negativos, demonstrando que a qualidade microbiológica, está dentro dos padrões exigidos pela legislação. Para os autores, este fato está relacionado às melhorias apresentadas pela Prefeitura Municipal de Iguatama, por meio do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), que implementou uma série de melhorias ambientais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados, análises e discussões apresentados ao longo do artigo, esta seção esboça algumas considerações acerca daqueles aspectos de fundamental importância. Tais aspectos referem-se particularmente aos parâmetros físico-químicos, químicos e microbiológicos encontrados na água superficial e subterrânea. Em geral, observou-se que a água da bacia do rio Peruaçu apresenta qualidade satisfatória, sendo que os fatores naturais e antrópicos influenciaram diretamente nos resultados.

As condições de pH levemente ácidas e próximas à neutralidade estão associadas a diversas variáveis, incluindo características litológicas (presença de rochas ácidas e/ou alcalinas), processos vegetacionais (como a decomposição orgânica, que gera ácidos húmicos e fúlvicos) e atividades antrópicas (como o despejo de efluentes domésticos, criação de animais e práticas agrícolas). Essa relação foi observada nos resultados de pH, os quais demonstraram um aumento gradual de valores do noroeste para o sudeste ao longo do perfil longitudinal do rio Peruaçu.

Em relação à sazonalidade, observou-se diferença significativa em quase todos os parâmetros analisados, exceto temperatura e pH. Os elementos Al e Ba estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental. No entanto, os teores de Alumínio, Nitrato (NO_3), Nitrito (NO_2), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e os resultados positivos para *Escherichia coli* estão em desconformidade com os padrões estabelecidos pela legislação brasileira para água destinada ao consumo humano.

A maioria dos demais elementos químicos apresentou valores abaixo do limite de detecção do equipamento. Os teores elevados de Flúor (F), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) em alguns dos pontos amostrados excedem os limites estabelecidos pela Resolução

CONAMA 357/05 para água potável, e estão relacionados aos tipos de rochas do Grupo Bambuí presentes na área de estudo.

Os resultados apresentados sugerem uma significativa interferência humana nas áreas circundantes da bacia, especialmente na região de Fabião I. As elevadas concentrações de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) refletem uma assinatura geoquímica de origem natural, indicando a carstificação. A análise desses aspectos contribuiu para uma melhor compreensão do contexto ambiental da bacia do rio Peruaçu.

No entanto, para garantir uma monitorização eficaz da qualidade da água nos próximos anos, é essencial realizar um acompanhamento periódico deste corpo hídrico. Os parâmetros analisados exercem uma influência direta na qualidade ambiental desses recursos, destacando a necessidade de estabelecer novas normativas em relação aos parâmetros químicos para águas subterrâneas.

Outro aspecto de extrema importância é o fato de que a bacia do rio Peruaçu está localizada dentro de uma Unidade de Conservação (UC), em um ambiente excepcionalmente frágil do ponto de vista geoambiental. Portanto, requer uma atenção especial por parte dos órgãos ambientais e da sociedade civil.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro, ao Instituto Estadual de Floresta (IEF) e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) pelas autorizações de pesquisas concedidas. Ao Programa de Pós-graduação em Geologia da UFVJM – PPGeo e, ao Laboratório de Geoquímica Ambiental – LGA/UFVJM, ao Laboratório de Microbiologia do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais Campus Januária e, ao Laboratório de Pesquisas Ambientais – NGqA/IGC/UFMG.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.7, n.4, p.349-364, 1977.

AULER, A. AMERICA, SOUTH – List A. In: Goodier, J. **Encyclopedia of Caves and Karst Science**. New York. Published by Fitzroy Dearborn an Imprint of the Taylor and Francis Group, 2004. p.110-118.

BAGGIO, H.; ARAUJO, A. D.; FREITAS, M.O. Análise dos Parâmetros Físico-químicos Oxigênio Dissolvido, Condutividade Elétrica, Potencial Hidrogeniônico e Temperatura, no Baixo Curso do Rio das Velhas-MG. **Caminhos de Geografia** - v.17, n.60, p.105-117, 2016.

BAGGIO, H. **Contribuições Naturais e Antropogênicas para a Concentração e Distribuição de Metais Pesados em Água Superficial e Sedimento de Corrente na Bacia do Rio do Formoso, Município de Buritizeiro, MG.** Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BENTO, C. C. **Análise Geoquímica Ambiental Multielementar na Caracterização da Qualidade da Água Superficial do Lago da Barragem de Três Marias-MG: contribuições naturais e antropogênicas para as concentrações e distribuições dos parâmetros de qualidade de água.** Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

BRAGA, Jr., B. P. F.; HESPANHOL, I.; LOTUFO, CONEJO, J. G.; BARROS, M. T. L. de, VERAS JUNIOR, M.S., PORTO, M.F. de A, NUCCI, N. L. R., EIGER, S., JULIANO, N. M. de. A. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo. Prentice Hall. Brasil. 2002. p.319.

BRASIL. CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 396, de 03 de abril de 2008.** Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

BRASIL. CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtf_cda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

BRASIL. CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 274, de 29 de novembro de 2000.** Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 22 fev. 2023.

COUTINHO, L. M. 1934-2016. **Biomias brasileiros.** São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2004. **Cartas Geológicas do Brasil ao Milionésimo.** Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 22 mar 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade.** 2011. Apêndice D. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Apendice-D-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>. Acesso em: 01 Dez. 2021.

DALTRO, R. R.; ANJOS, J. A. S A.; RABELO GOMES, M. C. Avaliação de metais pesados nos recursos hídricos do município de Boquira, no semiárido baiano – Brasil. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 39, n. 1, p. 139 - 152, 2020.

FONSECA, Silvana Mendonça da. **Influência de unidade de conservação na qualidade da água de corpos hídricos: Estudos de caso na ARTE Floresta da Cicuta / RJ.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2018.

FREITAS, Allison Augusto Gonçalves de. **Geoquímica ambiental no estudo da qualidade da água na bacia Ribeirão do Chiqueiro em Gouveia – MG**. 75f. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Encarte 1 -Contextualização da Unidade de Conservação. In: IBAMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. CSD-GEOKLOCK. Brasília, DF. 2005. P. 146.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Encarte 2 – Análise Regional. In: IBAMA. **Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. CSD- GEOKLOCK. Brasília, DF. 2005.p.146

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas**. 2020. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa220344>. Acesso em 10 ago. 2022.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: Com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. p. 496.

MARTINEZ, J. H. I. A.; GOMES SOBRINHO, T. R. Parâmetros para Caracterização da Água Cárstica no Brasil e Em Minas Gerais: Estado da Arte e Perspectivas Futuras. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 19, p. 61-80, 2018.

MILEK, C. B; KISHI, R. T. Proposta de metodologia de apoio à decisão baseada na previsão de impacto sobre qualidade da água de aquíferos. Estudo de caso: Aquífero Carste em Amirante Tamandaré. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, Campo Grande, 2009. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2009. p. 1-14.

MINISTÉRIO da Saúde (MS). Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 14 de dezembro de 2011.

PEREIRA, G. A.; BARBOSA, A. C. M. C.; TORBENSON, M.; STAHL, D. W.; GRANATO-SOUZA, D.; SANTOS, R. M.; BARBOSA, J. P. R. A. D. The climate response of Cedrela fissilis annual ring width in the Rio São Francisco basin, Brazil. **Tree-Ring Research**, v.74, p.162-171, 2018.

PILÓ, L. B. Caracterização regional do Vale do Rio Peruaçu. **O Carste**, Belo Horizonte, v.9, n.2, p.22-29, 1997.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: Metais pesados e atividades antropogênicas**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

RODRIGUES, GIANCARLOS NASCIMENTO. **Avaliação geoquímica ambiental da qualidade da água superficial da bacia hidrográfica do rio Vieira, Montes Claros/MG**. 85f. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2021.

SANTOS, MATHEUS SIMÕES. **Paleoinundações do rio Peruaçu-MG e sua relação com eventos climáticos de escala global durante o Holoceno médio**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

SANTOS, A. P. R.; MONTEIRO, L. R. L. Determinação da Qualidade Microbiológica da Água em Nascente da Unidade de Conservação em Filadélfia Tocantins. **Revista Desafios**, v. 5, n. Especial, 2018.

SANTOS SIMÕES, M.; BAGGIO FILHO, H.; ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O.; COSTA, T. M.; HORN, A. H. Análise da concentração e distribuição de metais pesados na água do rio das Velhas entre a cidade de Várzea da Palma e o distrito de Barra do Guaicuí – MG. **Revista Cerrados** (UNIMONTES), v.16, n.1. p.130-158, 2018.

SIMÕES, P. R. G. **Caracterização física de ambientes cársticos através de sensoriamento remoto e SIG: O caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu-Januária/Itacarambi, MG**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas. 126 f. 2007.

SOUZA, V. C. A. B.; SOARES, V. P.; MACIEL, A. V.; KEMERICH, P. D. C. Qualidade da Água Subterrânea do Bairro Perpétuo Socorro de Santa Maria – RS¹. **Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria**, v. 5, n. 1, p. 31-49, 2004.

SOUZA, O. T.; FRADE, P. R.; SOARES, C. A. Qualidade da água de poços tubulares em Iguatama, Minas Gerais. **Revista Verde**, v.13, n.5, p.637-643, 2018.

TRAVASSOS, L.E.P; VARELA, I.D. Aspectos legais do uso da água em regiões cársticas. Rio Claro, **OLAM – Ciência & Tecnologia**, v.8, n.3, p.386- 400, 2008.

TRAVASSOS, L. E. P.; GUIMARÃES, R. L.; VARELA, I. D. Áreas Cársticas, Cavernas e a Estrada Real. Campinas, SeTur/SBE. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**, v.1, n.2, p. 107-120, 2008.

VENANCIO, L. O. *et al.* Monitoramento da qualidade e hidrogeoquímica das águas subterrâneas do setor noroeste da região metropolitana de Fortaleza CE. **Geochimica Brasiliensis**, v.34, n.2, p.138-160, 2020.

Recebido: 01/11/2023

Aceito: 05/11/2024