

# AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E SEDIMENTOS FLUVIAIS NA BACIA DO CÓRREGO PACIÊNCIA

*Geochemical evaluation in surface waters and river sediments in the Paciência Stream watershed*

**Lucas Neves de Oliveira**

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

[lucasno@ufmg.br](mailto:lucasno@ufmg.br)

**Frederico Azevedo Lopes**

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

[fredericolopes@ufmg.br](mailto:fredericolopes@ufmg.br)

Recebido: 15/03/2022

Aceito: 10/06/2022

## Resumo

A avaliação geoquímica em águas superficiais e sedimentos fluviais em uma bacia hidrográfica se torna necessária para a compreensão de fatores naturais e antrópicos que, por sua vez, podem vir alterar as concentrações de metais nestes ambientes, comprometendo os usos múltiplos das águas e gerando riscos à saúde humana. Nesse sentido, objetivou-se detectar as prováveis fontes de influência geoquímica naturais e antrópicas presentes na bacia do córrego Paciência, localizada na porção central do Quadrilátero Ferrífero, por meio da realização de coletas e análises de metais em águas superficiais e sedimentos fluviais, levantamento de uso e cobertura da terra na bacia, bem como os dados históricos do monitoramento oficial das águas superficiais na região, disponibilizado pelo programa Águas de Minas (IGAM). Os resultados demonstram que, apesar da interferência antrópica na bacia, as concentrações de metais são menores se comparadas a região do Quadrilátero Ferrífero. Também conclui que a bacia em questão está propensa a apresentar valores anômalos de metais, como As, Cu, Ni, Fe e Mn, devido às características litológicas da região, sobretudo durante a estação seca.

**Palavras-chave:** Qualidade das águas; background; Quadrilátero ferrífero; sedimentos fluviais.

## Abstract

Geochemical evaluation of surface waters and fluvial sediments in a watershed becomes necessary for understanding natural and anthropic factors that, in turn, can change the concentrations of metals in these environments, compromising water's multiple uses and increasing human health risks. Thus, this work aims to detect probable sources of natural and anthropic geochemical elements present in the Paciência stream watershed, located in the central portion of the Iron Quadrangle, Minas Gerais, through the collection and analysis of metals in surface waters and river sediments, a survey of land cover and use in the basin, as well as historical analysis of data from the monitoring of surface waters in the region, available by the Águas de Minas Program (IGAM). The results demonstrate that, despite the anthropic interference in the watershed, metal concentrations are lower when compared to

the Iron Quadrangle region. However, it also concludes that the basin in question is prone to presenting anomalous values of metals such as As, Cu, Ni, Fe and Mn due to the lithological characteristics of the region, especially during the dry season.

**Keywords:** water quality; background; Iron Quadrangle; fluvial sediments.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água tem sido um tema de ampla discussão na comunidade científica devido ao seu caráter fundamental para a manutenção das diversas formas de vida no planeta, abastecimento de água potável para consumo humano e desenvolvimento de atividades econômicas. A distribuição temporal e espacial da água está relacionada a processos dinâmicos ambientais que controlam a disponibilidade hídrica. Porém, a diversificação e expansão dos processos de antropização impactam diretamente a disponibilidade hídrica quantitativa e qualitativa (MAGALHAES JUNIOR; LOPES, 2022, no prelo)

A interferência humana nos recursos naturais começou ainda na pré-história e acentuou-se após a revolução industrial, resultando em um aumento significativo nas concentrações de elementos potencialmente tóxicos nos ecossistemas (ASTON *et al.*, 1973; CECH, 2018). Além do comprometimento dos usos múltiplos das águas, os metais também podem ter impactos biológicos indesejáveis em médio ou longo prazo, devido aos processos de bioacumulação ou biomagnificação, acarretando um aumento progressivo da concentração destes elementos ao longo da cadeia alimentar (MEYBECK; HELMER, 1996; VEADO *et al.*, 2007).

Uma das ferramentas utilizadas para o controle e monitoramento das águas superficiais é a criação de redes de monitoramentos dos recursos hídricos, onde pontos de coleta, também denominados estações de monitoramento, são definidos com o objetivo de auxiliar no controle da qualidade da água, além de compor as análises e gestão de bacias hidrográficas e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. A definição de valores de referência (*background*) e a avaliação geoquímica em águas superficiais tem sido uma ferramenta de grande importância para estudos ambientais. O estabelecimento de valores de referência permite a distinção de áreas contaminadas e/ou poluídas das não contaminadas, o que viabiliza uma modelagem precisa da influência antropogênica nos processos naturais de migração, deposição e sedimentação ao longo das drenagens superficiais (GALUSZKA, 2006; RODRIGUES; NALINI JÚNIOR, 2009). No Brasil, estudos de background geoquímico têm sido adotados para a estimativa de elementos-traço em

solos e províncias minerais, e suas relações com as dinâmicas ambientais e o meio antrópico, visto que são observadas concentrações anômalas de metais em regiões alteradas por atividades antrópicas (COSTA, 2013; SALOMÃO, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Neste contexto, o Quadrilátero Ferrífero detém a maior parte das reservas minerais do estado de Minas Gerais, com um histórico de extração de metais enraizado em sua história desde o início da chegada dos europeus. Logo, percebe-se a importância de uma avaliação geoquímica focada em metais na região, haja visto a inerente influência litológica da região sobre a qualidade das águas. Além disso, o elevado número de empreendimentos minerários, situados no Quadrilátero Ferrífero, pode impactar significativamente a qualidade das águas subterrâneas e superficiais (MATSCHULLAT *et al.*, 2000; REZENDE, 2016; ARAUJO *et al.*, 2019; VERGILIO *et al.*, 2020).

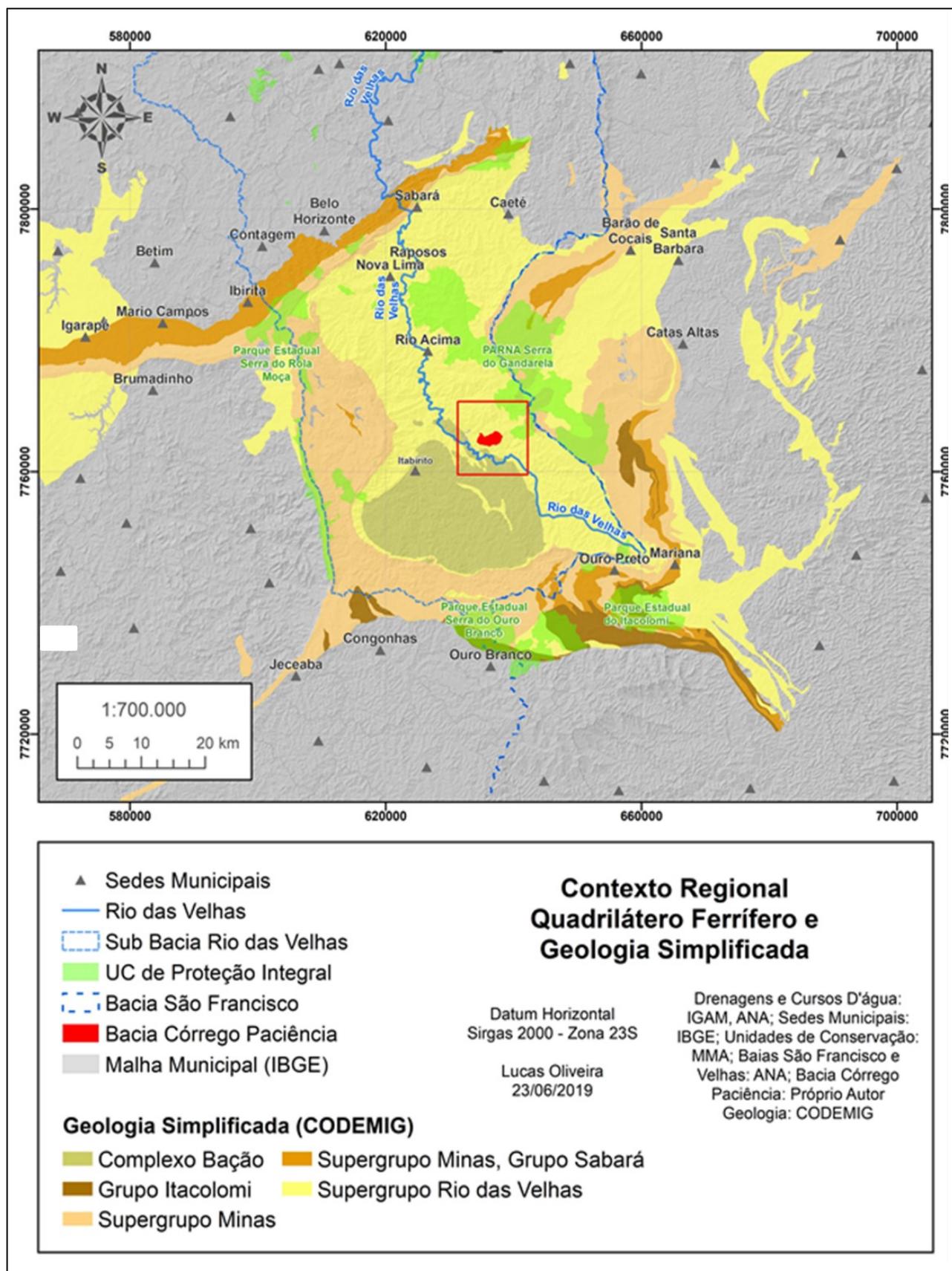
Considerando o quadro acima exposto, este trabalho tem por objetivo realizar a avaliação geoquímica ambiental preliminar das águas e sedimentos fluviais na ambiental da sub bacia hidrográfica do córrego Paciência, localizada na porção central do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Localização e caracterização da área de estudo

A bacia do córrego Paciência se localiza na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, que por sua vez é uma sub bacia do Rio São Francisco (Figura 1). Inserida na porção central do Quadrilátero Ferrífero, a bacia do córrego Paciência se encontra sobre uma unidade de rocha metassedimentar supracrustal: o Supergrupo Rio das Velhas, uma sequência do tipo *greenstone belt*, e que por sua vez é uma área com grande ocorrência de empresas de exploração aurífera, com jazidas de ouro em sua paragénese clássica de sulfetos (ROESER *et al.*, 2010).

Além das riquezas geológicas, o Quadrilátero guarda uma paisagem com vastas áreas de grande biodiversidade, que são permeadas por Unidades de Conservação de proteção integral e uso sustentável, consistindo em uma área com elevada e estratégica importância para o abastecimento da região metropolitana de Belo Horizonte (ARSAE, 2013) e de interesse recreacional para a população (RUCHKYS, 2007; LOPES; MAGALHÃES JUNIOR, 2010; QUEIROZ *et al.*, 2020; LOPES; LEITE, 2021).



**Figura 1** – Contexto regional de localização da bacia do Córrego Paciência em relação ao Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais. **Fonte:** Elaborado pelos autores.

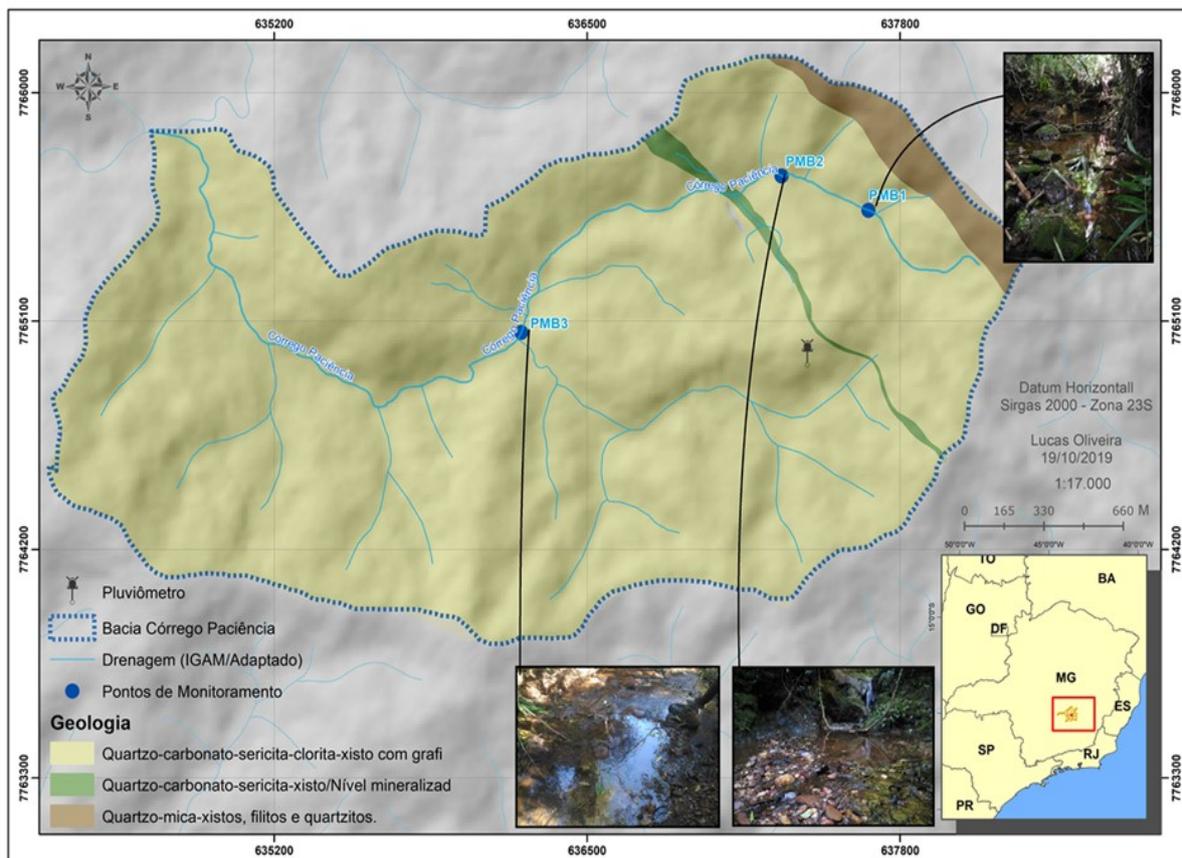
## 2.2. Procedimentos metodológicos

O mapeamento do uso e cobertura da terra da área de contribuição da bacia do córrego Paciência, foi realizado a partir de imagens pré-processadas e disponibilizadas pelo Google (maio/2019). Após aquisição das imagens através do software Google Earth, as mesmas foram georreferenciadas e devidamente projetadas para o Datum Universal Transversa de Mercator (UTM), tendo como referencial geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (Sirgas 2000), zona 23 Sul. Além do georreferenciamento, feito através do software ArcMap versão 10.4, foi possível vetorizar as classes de interesse em escala fixa de um para dois mil (1:2.000), devido à alta qualidade da imagem adquirida.

Neste contexto, foram identificadas as seguintes classes de interesse: culturas permanentes, pastagens, silvicultura, área campestre, área florestal, vilas/edificações, áreas de mineração e áreas descobertas. Tais classes foram confrontados com dados coletados em campo, durante as campanhas de monitoramento de água, para verificação da conformidade à classificação remota.

Para a avaliação geoquímica da bacia do Córrego Paciência, foram realizadas 6 (seis) campanhas de monitoramento de águas superficiais, entre os meses de junho e novembro de 2019, em 3 (três) pontos de coleta. Nessas campanhas, foram avaliadas as concentrações, totais e dissolvidas, de Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Zinco (Zn) e Cromo (Cr). Além das análises de água nos referidos pontos, foram realizadas três coletas de amostras de sedimentos fluviais no mês de outubro de 2019, onde foram averiguadas as concentrações dos referidos parâmetros, conforme procedimentos estabelecidos pelo Standard Methods for examination of water and wastewater (APHA, 2012).

A escolha dos pontos de monitoramento considerou o nível de interferência antrópica presente na região, além da geologia local, haja vista sua possível influência sobre os resultados. Sendo assim, os pontos PMB1 e PMB2 recebem influência tanto dos quartzos-mica-xistos, filitos e quartzitos quanto dos quarto-carbonato-sericita-clorita-xisto. Já o ponto PMB3, além de receber influência das geologias citadas anteriormente, também é influenciado pelo quartzo-carbonato-sericita-xisto em nível mineralizado (Figura 2).



**Figura 2** – Localização, geologia simplificada e pontos de análise da bacia do Córrego Paciência.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores

Os resultados das análises *in situ*, bem como os obtidos junto as estações do IGAM, foram avaliados em função do atendimento aos limites estabelecidos para a classe 2, conforme Deliberação COPAM/CERH 01 de 2008, haja vista o enquadramento vigente da bacia do rio das Velhas (MINAS GERAIS, 1997).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

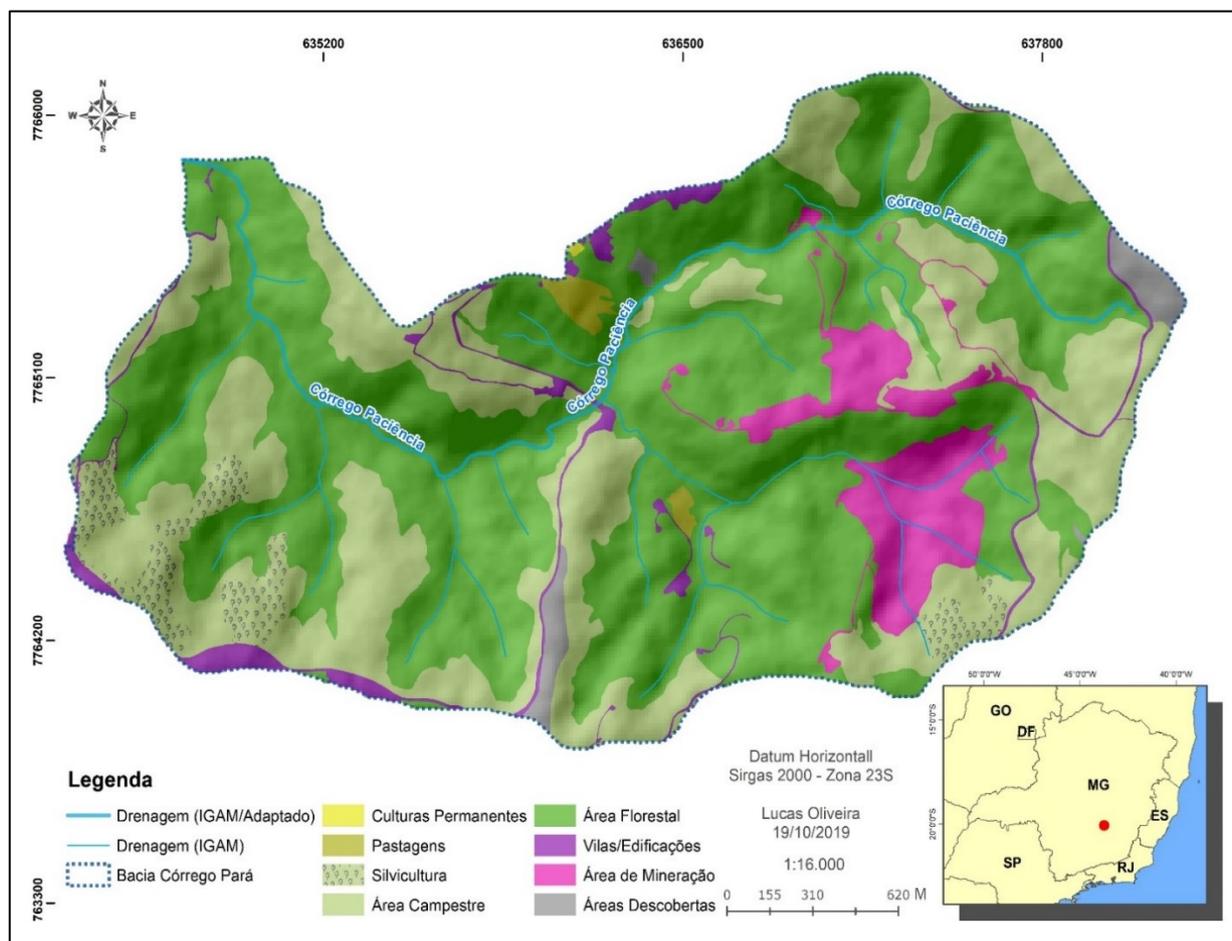
#### 3.1. Uso e cobertura da terra na Bacia do Córrego Paciência

A bacia do Córrego Paciência ocupa, aproximadamente, 618 hectares no município de Itabirito e se caracteriza, principalmente, por dispor de 85% de sua área preservada, sendo 58% formações florestais e 27% vegetação campestre (Tabela 11). Ocupando aproximadamente 6% de sua área total, as estruturas de mineração aurífera presentes na porção leste da bacia marcam sua paisagem. Apesar de paralisada, ou seja, sem o descarte de efluentes inerentes à operação, observa-se a presença de barragem de rejeitos, pilha de rejeito e estéril, planta de beneficiamento e áreas que abrigavam os setores administrativos do empreendimento.

**Tabela 1-** Classes de Uso e cobertura da bacia do Córrego Paciência e Suas Respectivas áreas

Uso e cobertura	Área (ha)	Área (% total)
Área Florestal	359,7	58%
Área Campestre	167,7	27%
Área de Mineração	39,0	6%
Silvicultura	22,3	4%
Vilas/Edificações	16,2	3%
Áreas Descobertas	9,0	1,5%
Pastagens	4,0	0,7%
Culturas Permanentes	0,2	0,0%
Total Geral	618,1	100,00%

Ocupando 3% da área total da bacia, observa-se a presença de pequenas vilas nas áreas de interflúvio da bacia, que podem, potencialmente, resultar em descartes irregulares de efluentes domésticos, especialmente, o ponto PMB03, sob influência tanto da barragem de rejeitos quanto de alguns moradores e edificações presentes nas áreas periféricas da bacia. Próximo às vilas, destacam-se as pastagens e silviculturas que, somados, ocupam pouco mais de 4% da área total (**Erro! Fonte de referência não encontrada.3**).



**Figura 3** – Contexto regional de localização da bacia do Córrego Paciência em relação ao Quadrilátero Ferrífero – Minas Gerais. **Fonte:** Elaborado pelos autores

### 3.2. Análise geoquímica em águas superficiais

Durante o período seco, ponto localizado na região de nascentes da bacia (PMB01), apresentou concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, para os parâmetros monitorados (Figura 4). O Al demonstrou aumentos significativos ao longo do monitoramento (de 0,01 para 0,114 mg/L para Al Dissolvido e 0,233 mg/L para Al Total), sendo o único parâmetro com concentrações acima dos valores máximos nos cursos d'água enquadrados na classe 2.

Por estar localizado na região de nascentes da bacia, o PMB01 sofre maior influência dos aquíferos subterrâneos, que contribuem para o aumento da concentração de elementos traços presentes na região do Quadrilátero Ferrífero (BORBA, 2002). As altas concentrações de Fe, Mn e Zn em relação aos resultados observados nos meses anteriores a setembro evidenciam a influência da sazonalidade no teor de metais nos trechos d'água superficiais da bacia. As altas concentrações de Zn observadas em setembro no PMB03 podem estar relacionadas aos processos de intemperismo de rochas sulfetadas, como calcopirita e esfarelita (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

No PMB02, as concentrações de Fe, Al e Mn se mostraram maiores em relação ao período chuvoso, enquanto Cd Total não apresentou variações durante os meses monitorados. Apesar do aumento das chuvas no mês de setembro, a baixa vazão d'água observada nos pontos PMB01 e PMB02 pode contribuir para o aumento das concentrações de Al, Fe, Mn e Zn. Entre os meses de junho a agosto, a chuva não ultrapassou a marca dos 20mm. Em setembro, mês de transição entre os períodos seco e úmido, choveu, aproximadamente, 35mm, mais que o acumulado verificado nos três meses anteriores. Já entre os meses de agosto e setembro observou-se a formação de áreas de retenção de água ao longo das drenagens entre os pontos PMB01 e PMB02. A formação de poças d'água ao longo das drenagem que, por sua vez, podem reter água e sedimentos, aumentando as concentrações desses metais que são estão presentes em rochas do supergrupo Rio das Velhas, as quais apresentam predomínio de rochas como as vulcano-sedimentares, constituídas de xistos carbonáticos, metacherts, formação ferrífera bandada e filitos (COSTA, 2015).

Durante o período seco, para o PMB03, os teores de As, Fe e Mn estiveram relativamente mais elevados em relação ao período úmido. Os demais parâmetros monitorados se mantiveram estáveis durante todo o período da campanha. Entretanto, os resultados de Cd atingiram concentrações limítrofes ao estabelecido pela DN COPAM/CERH 01 de 2008, de 0,001 mg/L Cd, em todas as amostragens (Figura 5).

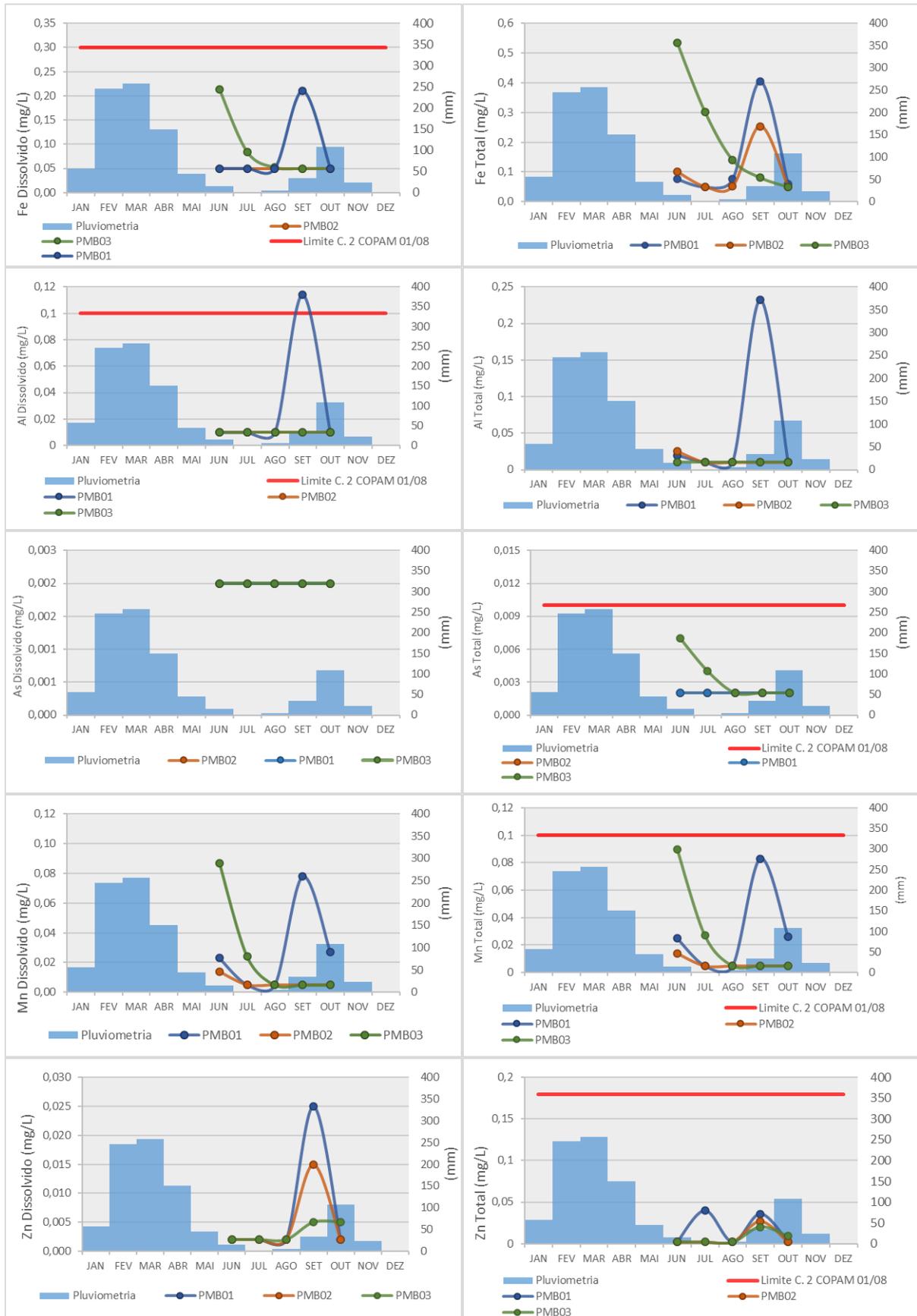


Figura 4 – Evolução das concentrações de Fe, Al, As, Mn e Zn na bacia do Córrego Paciência - MG.

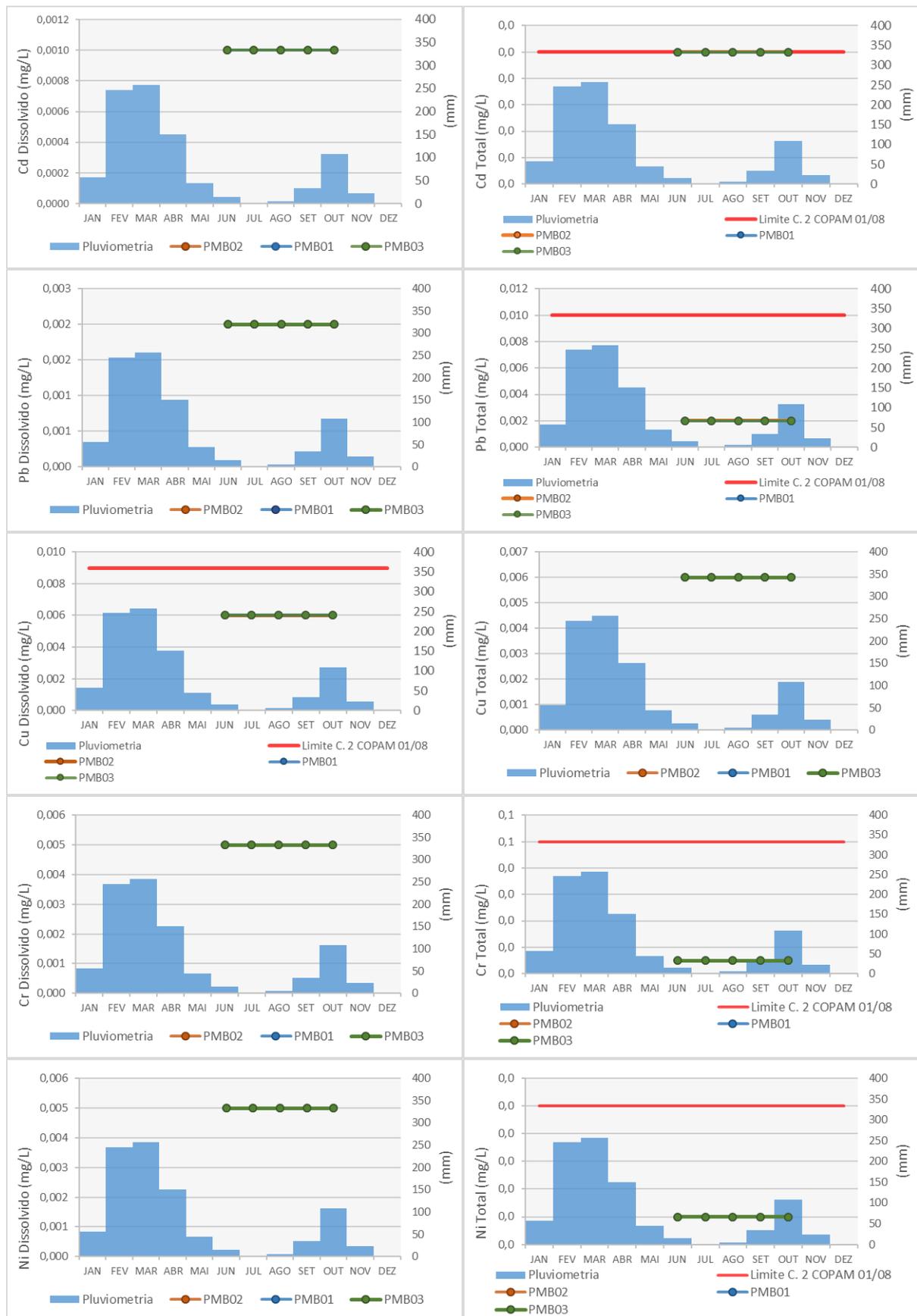


Figura 5 – Evolução das concentrações de Fe, Al, As, Mn e Zn na bacia do Córrego Paciência – MG.

A presença de metais nos efluentes domésticos tem relação direta com o descarte de produtos comumente utilizados em residências como farmacêuticos, itens de limpeza, corantes e pigmentos, dentre outros (GOMES *et al.*, 2013). Já o despejo de efluentes industriais aumenta a chance de contaminação em relação aos metais que podem aumentar em função dos processos produtivos das empresas geradoras de efluentes industriais (VON SPERLING, 2014). Logo, as concentrações de As, Fe, Cd e Mn presentes no PMB03 podem estar relacionadas, em parte, ao descarte indevido de efluentes domésticos lançados nos cursos d'água superficiais pelos habitantes presentes próximos aos afluentes que desaguam no córrego Paciência.

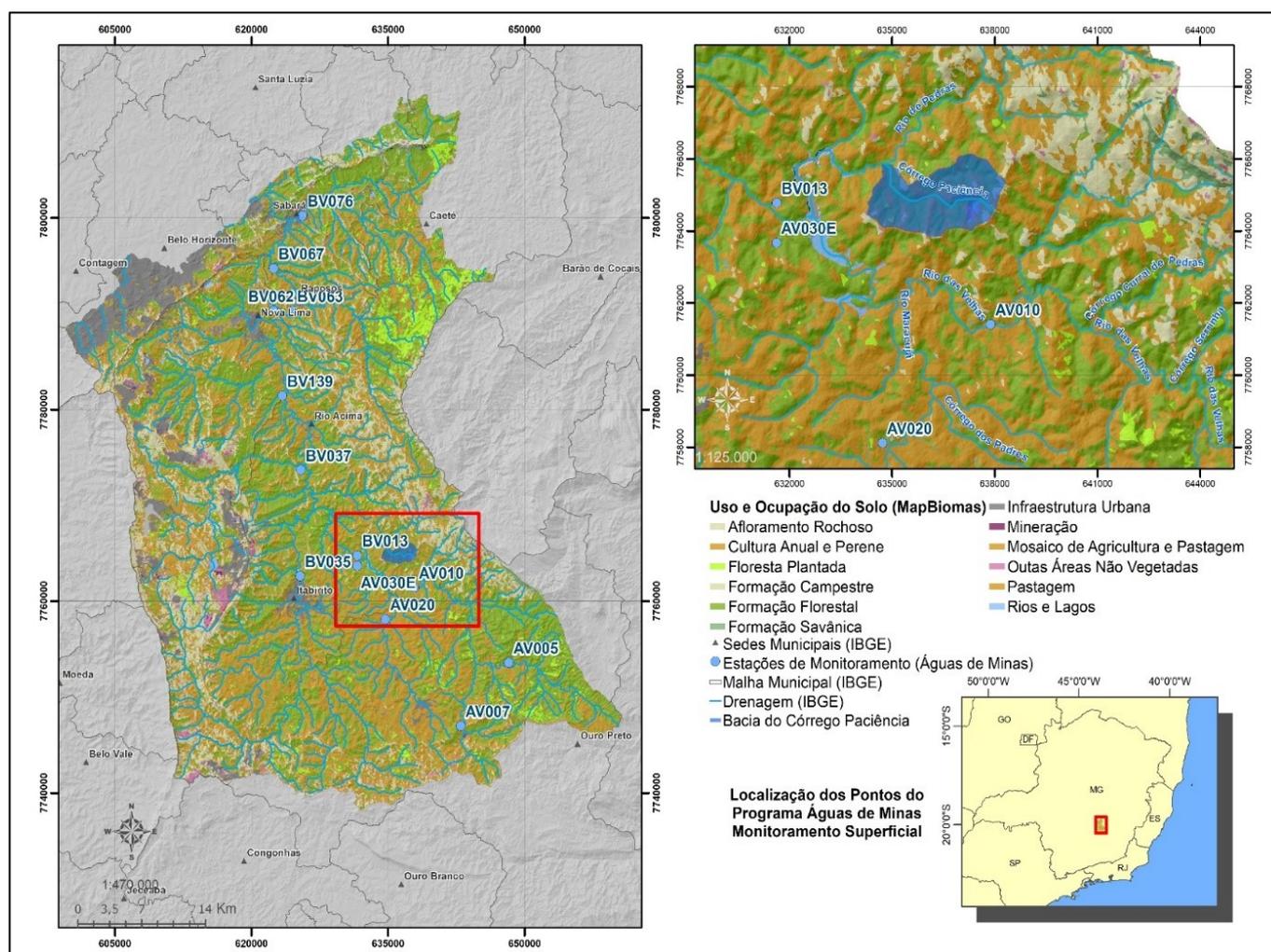
### 3.3. Contextualização Geoquímica Regional

A partir da análise da série histórica do monitoramento oficial da qualidade das águas no estado de Minas Gerais (2008 a 2018), em relação aos parâmetros que apresentaram maior variação no córrego Paciência (Fe, Al, Mn, As e Zn), nas estações próximas a área de estudo (Figura 6), pode-se perceber que os teores de Fe dissolvido apresentaram concentrações superiores às médias obtidas no córrego Paciência, tanto na estação seca quanto úmida. Assim como no córrego Paciência, a estação seca apresentou menores concentrações em relação à estação úmida. O ponto AV020, localizado no Rio Maracujá, possui as maiores médias de concentração para Fe dissolvido na região. Este ponto recebe influência de adensamentos urbanos presentes próximos a sede municipal de Itabirito e, apesar das médias estarem abaixo do limite estabelecido pela DN COPAM 01/2008, os dados demonstram valores inconformes, sobretudo nos anos 2003, 2007, 2012 e 2015.

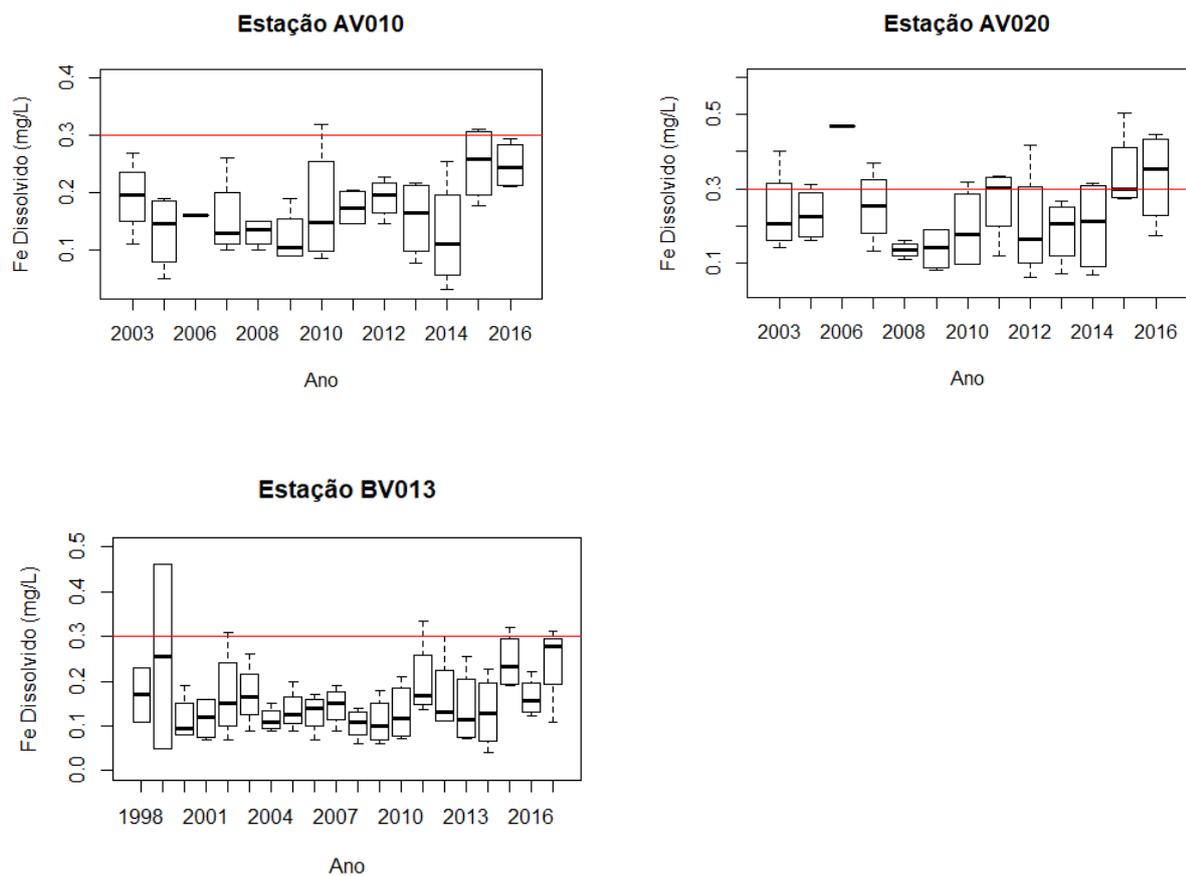
Os pontos AV010 e BV013 possuem concentrações menores se comparados ao AV020 e não há presença de valores anômalos em nenhuma das estações (Figura 7). A série histórica dos monitoramentos também demonstra que, assim como no córrego Paciência, as concentrações de Fe dissolvido tendem a ser ligeiramente maiores durante a estação úmida.

Ao contrário do Fe dissolvido, as médias de concentrações de Arsênio total (Figura ) se mostraram menores na estação úmida. Os pontos de monitoramento AV010, AV030E e BV013 demonstraram médias históricas menores em relação às médias obtidas no córrego Paciência (0,002 mg/L). A estação AV020 foi a que apresentou as maiores médias para As total (0,0047 mg/L), em relação aos resultados obtidos no córrego Paciência, durante a estação seca. Na estação úmida, o ponto BV013 também apresentou maiores teores (0,0043 mg/L) em relação do córrego Paciência. Neste contexto, Costa (2015)

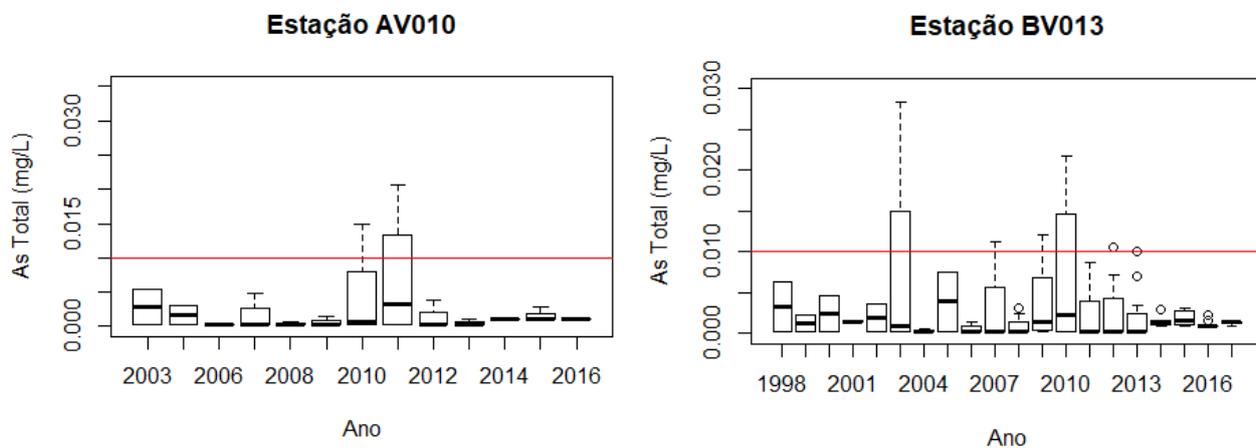
constatou que na região do município de Itabirito alguns afluentes do rio das Velhas apresentaram concentrações elevadas de Arsênio. Tal fato pode ser observado nas médias históricas das estações AV010 e BV013 (Figura 8). As concentrações de As Total, tanto na estação seca quanto chuvosa, no córrego Paciência, demonstram a preservação da integridade ambiental dos cursos d'água da bacia, considerando os altos índices esperados para a região. É possível observar que, na maioria dos casos, os dados históricos do Programa Águas de Minas apresentam médias históricas anuais abaixo dos limites estabelecidos pela DN COPAM 01/2008. No entanto, observa-se a presença de altas concentrações de As Total nos anos 2003, 2010 e valores anômalos em relação às médias totais nos anos 2012 e 2013.



**Figura 6** - Localização das estações de monitoramento AV010, AV020, AV030E e BV013, em relação à bacia do Córrego Paciência. **Fonte:** Elaborado pelos autores

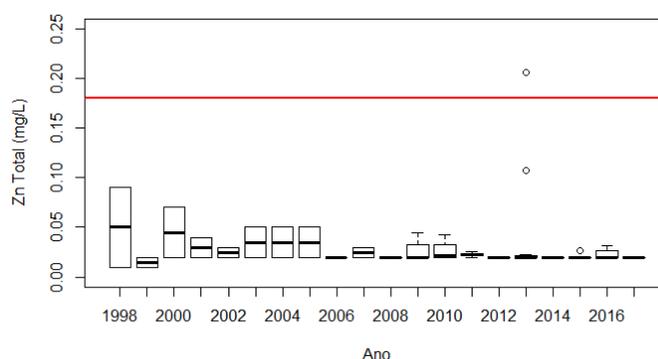


**Figura 7** - Médias anuais de Fe Dissolvido nas estações AV010, AV020 e BV013.  
**Fonte:** Dados da pesquisa.



**Figura 8** - Médias anuais de As Total nas estações AV010 e BV013.  
**Fonte:** Dados da pesquisa.

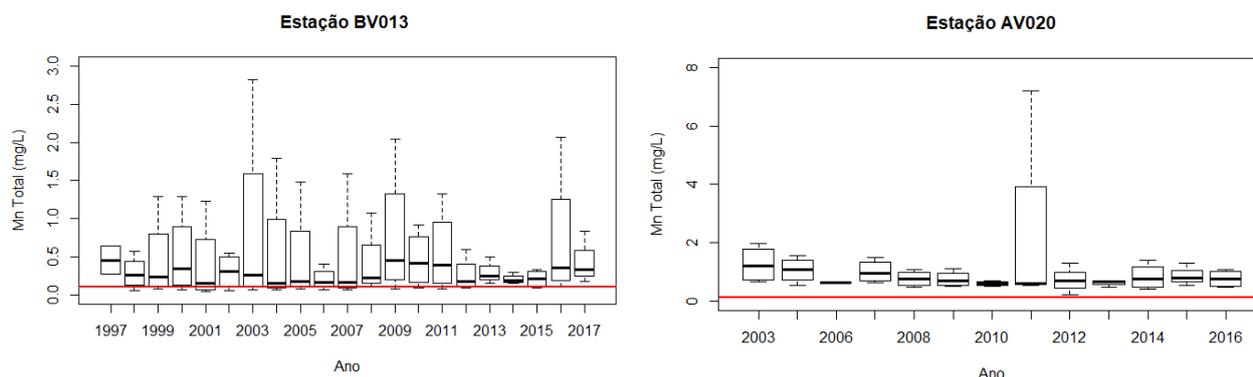
Os teores de Zn Total também ficaram abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação vigente (Figura 9). Enquanto as médias da região apresentaram baixa variação com a mudança da sazonalidade, a média de concentração para este parâmetro no córrego paciência variou de 0,0062 mg/L na estação seca para 0,027 mg/L na estação úmida. No entanto, as médias do Programa Águas de Minas se mostraram maiores que as médias do córrego Paciência, mesmo na estação úmida. Observa-se, na estação BV013, a presença de *outliers* nos anos 2013 e 2015. Costa (2015) constatou que as concentrações de zinco não demonstram uma relação direta com um litotipo específico de rocha. Oliveira *et al.* (2015) apontam que a presença de Zn na água pode ser resultado de processos erosivos ligados a argilominerais, além de fontes antropogênicas. Os resultados demonstram que o córrego Paciência possui baixas concentrações de zinco em relação às séries históricas da região (Figura 9), e infere-se que as maiores concentrações observadas durante a estação seca são provenientes da baixa vazão observada nos cursos d'água entre os meses de agosto e setembro.



**Figura 9** - Médias anuais de Zn Total na estação BV013.  
**Fonte:** Dados da pesquisa.

O Mn Total foi o parâmetro que apresentou as concentrações mais elevadas em relação aos valores máximos permitidos pela legislação ambiental (Figura ). As médias também são maiores que as médias presentes no córrego Paciência observadas durante as campanhas de monitoramento. Os pontos AV010 e AV020 apresentaram maiores tores de concentração para Mn Total durante a estação seca, sendo 0,959 e 0,989 mg/L respectivamente. O ponto BV020 também apresentou médias altas para Mn Total na estação úmida. Todas as médias históricas se encontram acima dos limites estabelecidos pela DN COPAM 01/2008, diferentemente dos valores observados no córrego Paciência, que variaram de 0,02 mg/L na estação seca para 0,031 na estação úmida. A ocorrência de manganês, muitas vezes, está associada ao ferro, e geralmente ocorre em menores

concentrações, o que condiz com os dados históricos observados para o parâmetro Ferro Total na região (RAMOS, 2016).



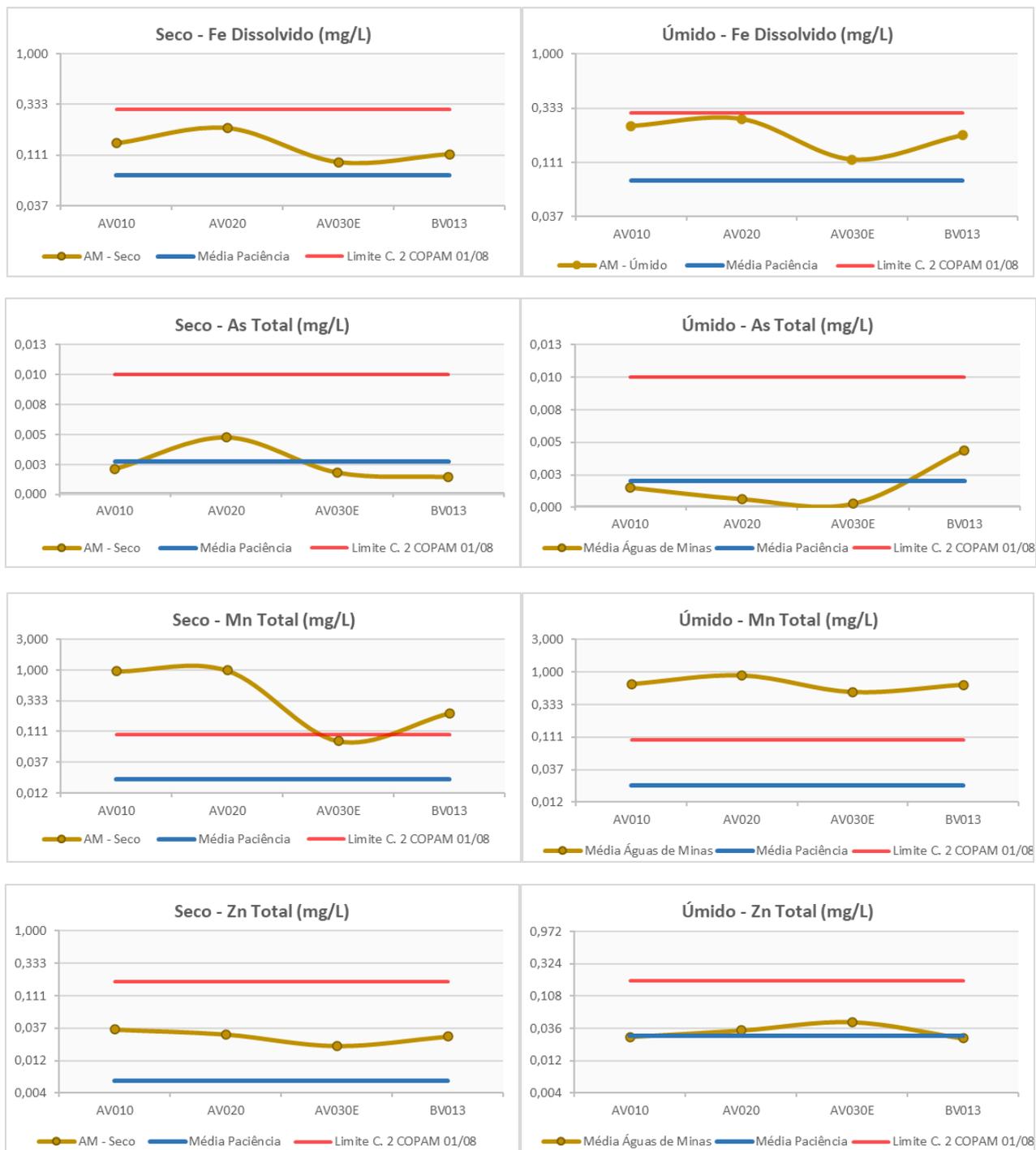
**Figura 10** - Médias anuais de Mn Total nas estações BV013 e AV020

**Fonte:** Dados da pesquisa.

O manejo, uso e ocupação do solo inapropriados, somado ao aumento dos índices pluviométricos do Quadrilátero Ferrífero promove maior aporte de ferro e manganês para os corpos hídricos, visto que a região dispõe de formações ferríferas bandadas, que aumentam a concentração desses metais nos sedimentos (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Os dados de uso e ocupação do solo na região, disponibilizados pelo MapBiomas (2018), mostram que a estação AV010, localizado no Rio das Velhas, está sob influência de empreendimentos minerários presentes na região de nascentes da bacia do rio das Velhas.

A influência dos adensamentos urbanos presentes a montante do ponto AV020 explicam, possivelmente, as maiores concentrações de Fe, Mn e Zn, em relação aos resultados do córrego Paciência. A partir da análise comparativa entre os resultados do Programa Águas de Minas e o monitoramento in situ do Córrego Paciência, é possível observar as médias do córrego paciência, nas estações seca e úmida, comparadas às médias dos pontos de monitoramento AV010, AV020, AV030E e BV013, foram inferiores ao contexto regional, à exceção do comportamento do As Dissolvido e Total (Figura 11).

Borba (2002) ressalta a influência de rochas auríferas sulfetadas nas concentrações de arsênio em águas subterrâneas na região do Quadrilátero Ferrífero. Os processos de oxidação dessas rochas, promovidos pelo intemperismo, libera o As em solução para os aquíferos subterrâneos.



**Figura 11** - Comparação das médias históricas de Fe Dissolvido por período climático nas estações AV010, AV020, AV030E e BV013 com as médias da bacia do córrego Paciência. **Fonte:** Dados da pesquisa.

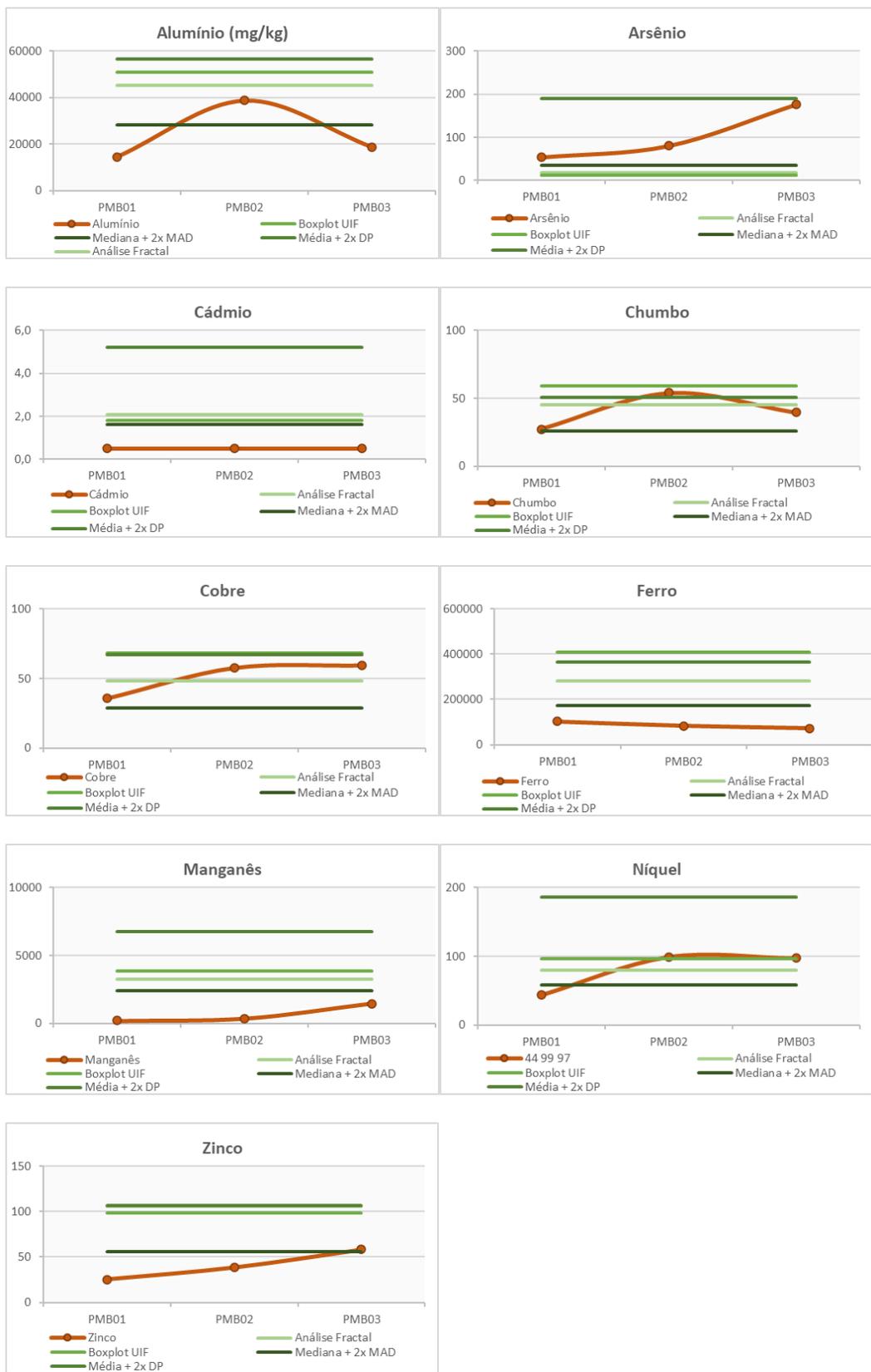
### **3.4. Influências das classes de ocupação da terra e avaliação geoquímica dos sedimentos fluviais**

A alteração na qualidade dos cursos d'água superficiais está diretamente ligada a duas classes de ocupação presentes no córrego Paciência, sendo elas a atividade de mineração e presença de vilas e pequenas edificações situadas próximos aos tributários do córrego Paciência. Efluentes domésticos podem conter metais como Cobre, Cromo, Cd, Mn, Zn e Pb, sobretudo nos casos em que o efluente não passou por nenhum tipo de tratamento (TONANI, 2008). Elementos como o Ni e Pb são comuns de serem encontrados em materiais descartados que podem causar anomalias na qualidade das águas superficiais, como o descarte irregular de baterias, por exemplo, que contém tais elementos em sua composição. Metais como Fe e As são comuns de serem encontrados em efluentes industriais, sobretudo de mineração (SILVA-FILHO *et al.*, 2013).

Os resultados das campanhas de monitoramento das águas superficiais não apontam grandes anomalias em relação à presença de descarte de efluentes domésticos nos tributários do córrego Paciência. Os elementos encontrados em abundância nesse ponto são Fe, Mn e As, durante o período seco, com tendências à estabilização no período chuvoso. Logo, infere-se que a presença do empreendimento minerário, bem como o descarte de efluentes domésticos não está influenciando a qualidade geoquímica das águas superficiais da bacia de forma significativa. Outro fator a ser considerado, consiste na presença de vegetação ripária ao longo da bacia, que exerce um papel fundamental para o controle da poluição difusa e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade da água (LIMA, 2020).

No entanto, é preciso ter como ponto de atenção a qualidade do córrego Paciência em áreas a jusante do ponto PMB03, que recebem maior contribuição hídrica das classes potencialmente poluidoras identificadas. As classes com áreas menos representativas como a Silvicultura e Pastagens também não apresentaram fortes influências na variação da qualidade geoquímica da água do córrego Paciência. Tais atividades silvipastoris tendem a promover maiores concentrações de metais advindos dos insumos agrícolas utilizados nos solos que são carregados para os cursos d'água (RAMALHO *et al.*, 1998).

Em geral, as concentrações de metais nas amostras de sedimentos fluviais coletados na bacia do Córrego Paciência (Figura 12) estão dentro dos valores de referência para resultados encontrados no Quadrilátero Ferrífero (COSTA, 2015; SANTOS, 2018), como tendência aparente no aumento das concentrações, de montante para jusante nos parâmetros As, Zn, Mn, Ni e Cu.



**Figura 12** - Comparação das concentrações de Al, As, Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn nos pontos PMB01, PMB02 e PMB03 com os valores de referência para a região do Quadrilátero Ferrífero pelos métodos Análise Fractal, Boxplot UIF, Média + 2x DP e Mediana + 2x MAD. **Fonte:** Dados da pesquisa

Entre os cinco parâmetros, o As demonstrou elevadas concentrações em relação ao Zn e Mn se comparados aos valores de *Background* sugeridos por Costa (2015). As maiores concentrações de As foram constatadas no ponto PMB03 (173 mg/kg), ligeiramente abaixo do *Background* na região pelo método Média + 2x Desvio Padrão. Esse método tende a apresentar maiores concentrações de referência por conta dos elevados valores de desvio padrão encontrados em áreas com alto grau de diversidade litológica e interferência antrópica, como é o caso do Quadrilátero Ferrífero (SANTOS, 2018). O Cu e o Ni apresentaram valores que condizem com o *Background* geoquímico da região, onde as maiores concentrações estão nos pontos PMB02 e PMB03. Destaca-se o valor de 59,2 mg/kg de Cobre no ponto PMB03, que foi o que mais se aproximou do maior valor de referência para a região, que é 66,92 mg/kg.

Já os resultados de Mn, Zn, Fe e Cd ficaram abaixo dos valores de referência para a região. Ao contrário do Mn e o Zn, as concentrações de Ferro decrescem no sentido montante para jusante, e os maiores valores foram verificadas no ponto PMB01, sendo 103.550 mg/kg. O Cádmiu foi o único parâmetro que não variou, com concentrações de 0,5 mg/kg em todos os pontos.

O Al e o Pb demonstram uma característica em comum, que é a elevada concentração desses metais no ponto PMB02 em relação aos pontos PMB01 e PMB03. Os níveis de Pb no ponto PMB02 (53,9 mg/kg) estão próximos ao maior valor de referência na região para este parâmetro, que é 59,08 mg/kg (Boxplot UIF). Já o Al, mesmo com maiores concentrações no ponto PMB02 (38720 mg/kg) em relação aos outros pontos, ficou abaixo dos valores de referência em três das quatro metodologias comparadas (COSTA, 2015).

De modo geral, as concentrações de metais nos sedimentos fluviais na bacia do córrego Paciência estão dentro dos valores de *background* geoquímico para a região do Quadrilátero Ferrífero. O As, Pb e Cu foram os elementos químicos que mais se aproximaram dos maiores valores de referência propostos por Costa (2015). Os demais parâmetros se mostram consideravelmente abaixo dos valores de referência, sobretudo o

Mn, Fe e Cd. Observou-se padrões de variação na concentração dos parâmetros analisados de montante à jusante, onde o As, Cu, Mn, Ni e Zn tendem a ser maiores no ponto PMB03, localizado mais a jusante. Já as concentrações de Fe são maiores no ponto mais a montante, e o Pb e Al apresentaram picos no ponto PMB02.

As concentrações de As verificadas nos pontos PMB01, PMB02 e PMB03 comparadas ao As presente nas amostras dos sedimentos fluviais do córrego Paciência apontam uma normalidade nas maiores concentrações constatadas durante o período seco

no ponto PMB03. E, apesar dos altos valores presentes nos sedimentos fluviais, as águas superficiais do córrego Paciência apresentam valores normais para a região e os limites máximos permitidos pela legislação vigente. Os resultados das análises indicam possível influência do carreamento de sólidos e dos aquíferos subterrâneos na concentração de As nas águas superficiais, visto que o ponto PMB03 é o que recebe maior contribuição hídrica entre os três pontos analisados e considerando, também, a baixa vazão verificada no curso d'água durante o período seco.

As maiores concentrações de Fe detectadas no ponto PMB03 também podem estar relacionadas ao carreamento de sólidos e a baixa vazão na bacia observada no período seco. Apesar das concentrações de Fe, presentes nos sedimentos fluviais do córrego Paciência, estarem abaixo dos valores de *background* para o Quadrilátero Ferrífero, Nascimento *et al.* (2018) ressaltam que, de modo geral, os valores de referência para o Ferro no Quadrilátero Ferrífero tendem a ser maiores devido a soma dos altos índices de atividades antropogênicas de mineração na região com as formações ferríferas bandadas que ocorrem em grande parte da região do Quadrilátero Ferrífero. A influência dos aquíferos subterrâneos nas concentrações de Fe no córrego Paciência podem ser verificadas nos resultados do ponto PMB01, no mês de setembro, haja vista o maior volume exfiltrado de águas subterrâneas. Nos demais pontos (PMB02 e PMB03), verifica-se a diluição do Fe a medida em que os pontos recebem maior contribuição hídrica.

As concentrações de Manganês verificadas nos sedimentos fluviais estão abaixo do *background* geoquímico no Quadrilátero Ferrífero, de forma similar ao observado para o Fe. As campanhas de monitoramento corroboram o estudo de Ramos (2016), onde o comportamento do Mn nas águas é similar ao do Fe, ocorrendo, geralmente, em menores concentrações.

O mês de setembro se caracterizou como um mês atípico na bacia do córrego Paciência pois, além de serem detectadas maiores concentrações de Fe e As nesse mês, o Zn e o Al também apresentaram concentrações mais altas que as verificadas nos demais meses, confirmando a alta influência da sazonalidade na avaliação geoquímica do córrego Paciência.

As concentrações de Zn nos sedimentos fluviais do córrego, abaixo dos valores de referência do Quadrilátero Ferrífero, estão condizentes às concentrações observadas nas águas superficiais, em conformidade ao limite de classe. Neste sentido, Ramos (2016) afirma que, em águas naturais, o Zn ocorre em baixas concentrações, e que as anomalias

podem estar relacionadas a corrosão de instalações hidráulicas quando estas entram em contato com a água.

Ainda em setembro, as concentrações de alumínio estiveram acima dos valores máximos permitidos pela legislação no ponto PMB01. No entanto, em outubro, com o aumento da pluviometria, bem como, da vazão do córrego e seus afluentes, o parâmetro se estabilizou no mês de outubro, apresentando concentrações de 0,01 mg/L em todos os pontos analisados. O alumínio é um metal associado a sedimentos de fundo de cursos d'água, podendo interferir na qualidade natural dessas águas na região do alto curso do rio das Velhas (CUNHA; MACHADO, 2005). As concentrações de Al nos sedimentos fluviais atestam a influência desses sedimentos nos trechos d'água superficiais do córrego Paciência, visto que as concentrações se aproximam dos valores de *background* do Quadrilátero Ferrífero. As médias de concentração de Alumínio verificadas nos cursos d'água superficiais pelo Programa Águas de Minas reforçam que a região apresenta concentrações limítrofes aos valores máximos permitidos pela legislação.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas superficiais da bacia do córrego Paciência apresentaram qualidade geoquímica superior em relação às concentrações de metais verificadas na região do Quadrilátero Ferrífero. Os sedimentos fluviais exercem influência na qualidade dos corpos hídricos superficiais, assim como a diversidade litológica presente na região, promovendo aumento nas concentrações de As, Pb, Cu e Ni ao longo do córrego Paciência, considerando os valores de *background* geoquímico para a região do Quadrilátero Ferrífero. Já a litologia e sua influência, especialmente sobre as águas subterrâneas, podem causar variações nos resultados para os parâmetros Al, Fe e Mn. O As pode ser considerado um ponto de atenção, visto que as concentrações verificadas nos sedimentos fluviais estão acima dos valores de referência para o Quadrilátero Ferrífero, sobretudo no ponto PMB03.

Apesar dos baixos impactos na qualidade das águas superficiais causados pelo uso e ocupação da bacia, são focos de atenção as áreas com presença de classes de ocupação potenciais poluidoras e contaminadoras, sendo elas a ocupação populacional geradora de efluentes domésticos e empreendimentos de exploração mineral. Cabe ressaltar que essas conclusões dependem de estudos mais profundos que permitam abranger uma série histórica mais abrangente, com ampliação da rede amostral, visando garantir a acurácia da avaliação geoquímica.

Também, enfatiza a necessidade da ampliação de estudos com metodologias que determinem com maior precisão os valores de referência para metais traço em águas superficiais, visto que as alterações aqui verificadas possuem relação com fatores diversos que não são considerados na determinação dos valores máximos permitidos pela legislação. Considerando as deficiências presentes na legislação vigente, trabalhos como este podem auxiliar a tomada de decisão em licenciamentos ambientais e na escolha de condicionantes que devem levar em consideração as características ambientais e antrópicas das áreas de influência de empreendimentos. Neste contexto, os programas de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas realizados por órgãos públicos são de extrema importância para a avaliação da qualidade das águas superficiais e determinação de suas particularidades em relação ao contexto regional.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - ARSAE. **Relatório de Fiscalização: Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMBH – Bacia Paraopeba**. ARSAE, Belo Horizonte, 2013. 73p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington, 2012. 1504p.
- ARAUJO, T. J. F.; LOPES, F. A.; TEIXEIRA, C. P. Incidência de doenças diarreicas na bacia do rio Doce e as relações com infraestrutura de saneamento e o rompimento da barragem de Fundão - Mariana/MG. **Hygeia**, v. 15, n. 31, p. 95 –111, 2019.
- ASTON, S. R.; BRUTY, D.; CHESTER, R.; PADGHAM, R. C. Mercury in lake sediments: A possible indicator of technological growth. **Nature**, v. 241, p. 450-451, 1973.
- BORBA, R. P. **Arsênio em ambiente superficial: processos geoquímicos naturais e antropogênicos em uma área de mineração aurífera**. 2002. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- CECH, T. **Principles of water resources: History, development, management, and policy**. 4<sup>th</sup> edition (VitalSource bookshelf version). 2018.
- COSTA, R. de V. F. da. **Mapeamento geoquímico e estabelecimento de valores de referência (background) de sedimentos fluviais do quadrilátero ferrífero**. 2015. 228 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

COSTA, W. P. L. B. da. **Metais pesados em solos do Rio Grande do Norte: valores de referência de qualidade e relações geopedológicas**. 2013. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.

CUNHA, F. G.; MACHADO, G. J. **Projeto APA Sul RMBH: geoquímica ambiental, mapas geoquímicos escala 1:225.000**. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, v. 7, 2005, 80 p.

GAŁUSZKA, A. A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. **Environmental Geology**, v. 52, n. 5, p.861-870, 2006.

GAŁUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. Geochemical background - an environmental perspective. **Mineralogia**, v. 42, n. 1, p. 7-17, 2011.

GOMES, O. V. O.; MARQUES, E. D.; SOUZA, M. D. C.; SILVA-FILHO, E. V. Influência antrópica nas águas superficiais da cidade de Três Rios - RJ. **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 77-86, 2013.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical methods in water resources**: Techniques of water-resources investigations of the US Geological Survey. Book 4: Hydrologic analysis and interpretation, Chapter 3, US Geological Survey, 2002, 510 p.

LIMA, J. P. **Preservação das zonas ripárias e qualidade das águas: estudo de caso da bacia do rio Piranga – MG**. 2020, 178 f. (Dissertação – Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

LOPES, F. A.; LEITE, A. C. Water quality for triathlon and open water swimming competitions in Brazilian freshwaters. **Limnol. Rev.**, v. 21, n. 4, p. 169–179, 2021.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Avaliação da qualidade das águas para recreação de contato primário na bacia do Alto Rio das Velhas - MG. **Hygeia**, v. 6, n. 11, p. 133-150, 2010.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; LOPES, F. W. A. **Recursos hídricos – As águas na interface sociedade-natureza**. Oficina de Textos, São Paulo, 2022, no prelo.

MATSCHULLAT, J.; BORBA, R. P.; DESCHAMPS, E.; FIGUEIREDO, B. R.; GABRIO, T.; SCHWENK, M. Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 15, n. 2, p.181-190, 2000.

MEYBECK, M. et al. Water quality. In: BARTRAM, J.; BALLANCE, R. (Ed.). **Water quality monitoring** - a practical guide to design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. London: UNEP/WHO, p.15-36, 1996.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 20, de 24 de junho de 1997**. Dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas. Belo Horizonte, 27 jun. 1997.

NASCIMENTO, L. P.; REIS, D. A.; ROESER, H. M. P.; SANTIAGO, A. F. Avaliação geoquímica de metais em sistemas fluviais afetados por atividades antrópicas no Quadrilátero Ferrífero. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 4, p.767-778, 2018.

OLIVEIRA, H. S. P.; FRANÇA, S. C. A.; ROCHA, E. J. P. Atividades de mineração e avaliação de metais em água superficial, sedimento de fundo e peixes no Rio Tapajós. In:

**Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais.** Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi / EMBRAPA, 2015. p.195-222.

OLIVEIRA, P. E. S.; CARVALHO FILHO, C. A.; MOREIRA, R. M. M.; RAMOS.; M. E. A. F.; SILVA, N. C. Avaliação da qualidade de sedimentos fluviais no entorno da mina de urânio de caldas. **Geonomos**, v. 26, n. 2, p. 31-40, 2018.

QUEIROZ, Y. S.; SANTOS, E. A.; MADEIRA, M. R.; NARDY, B. C.; GUIRRA, A. P.; FREITAS, R. D. A.; ASSIS, V. S. R.; COSTA, A. T.; CASTRO, P T. A. Estudo do potencial geoturístico do patrimônio mineiro da Serra de Ouro Preto, sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG. **Geonomos**, v. 28, n. 1, p. 75-87, 2020.

RAMALHO, J. F. G. P.; SOBRINHO, N. M. B. A.; VELLOSO, A. C. X.; SILVA, F. C. da. Acumulação de metais pesados pelo uso de insumos agrícolas na microbacia de Caetés, Paty do Alferes, RJ. **Boletim de Pesquisa nº 5**, Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, RJ, 1998, 22p.

RAMOS, A. M. Determinação de metais em águas de abastecimento público: um estudo de caso, município de Ouro Preto. 2016. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental, Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

REIMANN, C.; FILZMOSER, P.; GARRETT, R. G. Background and threshold: a critical comparison of methods of determination. **Science of the Total Environment**, v. 16, n. 1, p. 1-16, 2005.

REZENDE, V. L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Soc. & Nat.**, v. 3, n. 28, p.1-10, 2016.

RODRIGUES, A. S. L.; NALINI JÚNIOR, H.A. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **Geociências**, v. 2, n. 62, p.155-165, 2009.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero - MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Genomos**, Ouro Preto, v. 18, n. 01, p.33-37, 2010.

RUCHKYS, U. A. **Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**: potencial para a criação de um Geoparque da Unesco. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, 211p.

SALOMÃO, G. N. **Mapeamento geoquímico e estimativa de background em solos na região da província mineral de Carajás – leste do cráton amazônico, Brasil.** 2018. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SILVA-FILHO, E. V.; GOMES, O. V. O.; MARQUES, E. D.; SOUZA, M. D. C. Influência antrópica nas águas superficiais da cidade de Três Rios - RJ. **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 77, 2013.

TONANI, K. A. de A. **Identificação e Quantificação de Metais Pesados, Parasitas e Bactérias em Esgoto Bruto e Tratado da ETE de Ribeirão Preto - SP.** 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Enfermagem em Saúde Pública, Escola de Enfermagem, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

VEADO, M. A. R. V.; HEEREN, M. I.; SEVERO, M. I.; GRENIER-LOUSTALOT, I. A.; ARANTES, H. L.; CABALEIRO.; ALMEIDA, I M. R. M. G. INAA and ICP-MSHS: Metal pollutants in fish tissues Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Pampulha Lake, Belo Horizonte city, Minas Gerais State, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 272, n. 3, p. 511–514, 2007.

VERGILIO, C. S.; LACERDA, D.; OLIVEIRA, B. C. V.; SARTORI, E.; CAMPOS, G. M.; PEREIRA, A. L. S.; AGUIAR, D. B.; SOUZA, T. S.; ALMEIDA, M. G.; THOMPSON, F.; REZENDE, C. E. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014, 472p.

Recebido: 15/03/2021  
Aceito: 10/06/2022