



Influence of geogenic and anthropic factors on the surface water of the Santo Antônio River, a tributary of the Doce River in Brazil

Influência de fatores geogênicos e antrópicos na água superficial do rio Santo Antônio, afluente do rio Doce no Brasil

Marcos Geraldo Barbosa Pimenta^{1*}
Adolf Heinrich Horn¹
Ana Paula Gouveia Jácome²
Júlia de Vasconcellos Teixeira Gaspar²
Hubert Mathias Peter Roeser²
Anibal da Fonseca Santiago²

¹Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627
Belo Horizonte - MG - Brasil
CEP: 31270-901

²Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia Ambiental
Campus Morro do Cruzeiro
Bauxita
Ouro Preto - MG - Brasil
CEP: 35400-000

*Autor Correspondente:
marcospimenta1993@gmail.com.

ABSTRACT

The Santo Antônio River is one of the main tributaries on the left bank of the Doce River and is located in the eastern portion of the state of Minas Gerais. This spring is of inestimable importance for a large riverside population and is home to 90% of the remaining ichthyofauna of the Doce River. Therefore, it requires actions to the control and to the quality of its surface waters. This article brings together a collection of information found in the literature on local geology, such as rock chemical data and geochemical-environmental data. Furthermore, this study carried out analyzes on water samples using the ICP-OES technique. Thus, the present research sought to understand the concentration of metals in the basin, as well as physical and chemical parameters such as Dissolved Oxygen, Water Temperature, Eh and pH, with the aim of supporting a discussion about their origin and occurrence in drainages, whether natural or anthropogenic. Water samples were collected at 16 stations located in different points of the basin, during the dry period, in September 2019. Only one sampling point, located near the urban area of Conceição do Mato Dentro, indicated a low concentration of Dissolved Oxygen, 1.88 mg/L. Furthermore, the natural presence of metallic elements was confirmed - Ca, Mg and Fe, which are related to the lithology surrounding the drainages, which is composed of granites, gneisses, itabirites, ferruginous phyllites, basic rocks and metadiabases. Although the average concentration of the elements Fe (\bar{x} = 0.53 mg/kg) and Mg (\bar{x} = 1.16 mg/kg) are above the maximum limits established by CONAMA Resolution 357/2005, this does not mean that there is metal contamination at the site, but that the regulation needs adjustments to classify Brazilian water sources appropriately.

Keywords: Santo Antônio River, surface water, geogenic factors, anthropogenic factors

RESUMO

O rio Santo Antônio é um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Doce e se localiza na porção leste do estado de Minas Gerais. Este manancial é de inestimável importância para uma população ribeirinha numerosa e abriga 90% da ictiofauna remanescente do rio Doce. Por isso, demanda ações em prol do controle e da qualidade de suas águas superficiais. Esse artigo reúne um acervo de informações encontradas na literatura sobre a geologia local, tais como, dados químicos de rocha e dados geoquímico-ambientais. Além do mais, esse estudo realizou análises em amostras de água através da técnica ICP-OES. Assim, a presente pesquisa buscou entender a concentração de metais na bacia, bem como parâmetros físicos e químicos, tais como, Oxigênio Dissolvido, Temperatura da Água, Eh e pH, com o intuito de embasar uma discussão sobre sua origem e ocorrência nas drenagens, se natural ou antrópica. As amostras de água foram coletadas em 16 estações situadas em diferentes pontos da bacia, durante o seu período de estiagem, em setembro de 2019. Apenas um ponto de amostragem, localizado nas proximidades da zona urbana de Conceição do Mato Dentro, indicou uma baixa concentração de Oxigênio Dissolvido, 1,88 mg/L. Ademais, foi confirmada a presença natural dos elementos metálicos - Ca, Mg e Fe, sendo esses relacionados à litologia do entorno das

Copyright

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.



DOI:10.21715/GB2358-2812.202438005

drenagens que é composta por granitos, gnaisses, itabiritos, filitos ferruginosos, rochas básicas e metadiabásios. Embora a concentração média dos elementos Fe ($\bar{x} = 0,53$ mg/kg) e Mg ($\bar{x} = 1,16$ mg/kg) esteja acima dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, isto não significa dizer que há uma contaminação referente aos metais no local, mas que a regulamentação necessita de ajustes para classificar os mananciais brasileiros adequadamente.

Palavras-Chave: Rio Santo Antônio, água superficial, fatores geogênicos, fatores antropogênicos

1. INTRODUÇÃO

A bacia do rio Santo Antônio é um patrimônio de relevância inestimável para milhares de habitantes da porção leste do Estado de Minas Gerais. O afluente principal desta bacia é o rio Santo Antônio, formado pela convergência de um conjunto de drenagens, dentre os quais se incluem os rios Guanhães e Peixe, em sua margem esquerda; e os rios Preto do Itambé, Preto e Tanque em sua margem direita.

O crescente desenvolvimento industrial da região da bacia do rio Santo Antônio não ocorre de modo sustentável. Uma resposta inicial desse processo é a perda da qualidade da água superficial dos mananciais de forma rápida e intensa, o que prejudica significativamente a vida da população ribeirinha. A

mineração de ferro, a agricultura, o despejo *in natura* de esgoto doméstico e industrial e os barramentos de água são alguns exemplos de atividades antrópicas que têm afetado a qualidade da água da bacia do rio Santo Antônio.

A Figura 1 mostra a localização da área de estudo, as sedes municipais e as atividades de mineração na região. Logo a seguir, serão apresentados dados geológicos, geoquímicos e ambientais do acervo literário da bacia do rio Santo Antônio, bem como os dados das análises químicas de água realizadas nesse estudo. Com isso, busca-se um caminho para a implementação de ações que visam a preservação e a conservação dos recursos hídricos na área em questão.

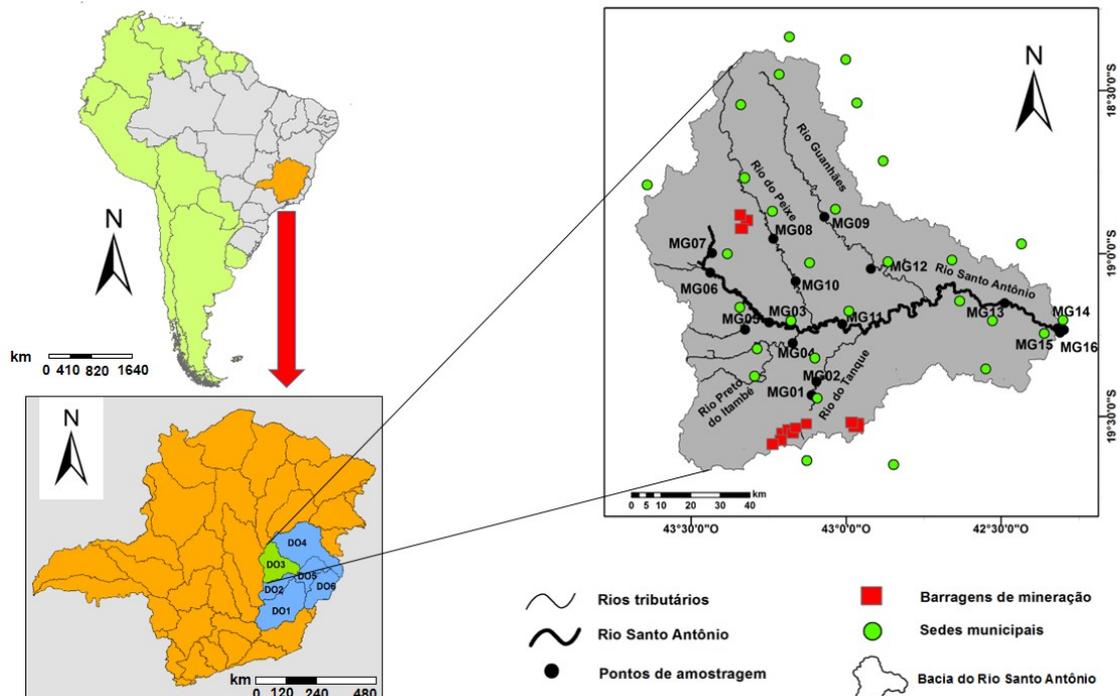


Figura 1: Mapa da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio com indicação das sedes municipais e atividades de mineração na região (INSTITUTO PRÍSTINO, 2019).

1.1 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DA BACIA DO RIO SANTO ANTÔNIO

A bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, localizada na porção leste do estado, contempla 29 municípios mineiros. A referida área está situada entre as longitudes 43°40'00" e 43°12'00" W e as latitudes 18°20'00" e 19°49'00" S.

A bacia ocupa uma área de drenagem superficial de 10.429,46 km² e se estende por 280 km desde sua cabeceira localizada nas proximidades de Conceição do Mato Dentro, até sua confluência que se encontra nas proximidades da cidade de Naque. No ano de 2018, a estação fluviométrica Conceição do Mato Dentro, situada na cabeceira do rio, registrou as seguintes vazões: máxima de 90,6 m³/s no mês de fevereiro (período chuvoso); mínima de 0,813 m³/s no mês de agosto (período seco); e média anual de 5,28 m³/s. No mesmo ano, a estação fluviométrica Naque Velho próxima à confluência do rio Santo Antônio registrou as seguintes vazões: máxima de 1218,78 m³/s no mês de dezembro (período chuvoso); mínima de 25,4 m³/s no mês de agosto (período seco); e vazão média anual de 102,39 m³/s (ANA, 2020). As drenagens da bacia se caracterizam pelo fluxo turbulento, com velocidade superior a 1 m/s em todas as estações do ano, o que impede a deposição da fração silte/argila (PIMENTA, 2021).

De acordo com a Classificação de Köppen-Geiger de 1948 (STRAHLER; STRAHLER, 2005), o clima predominante na região da bacia do rio Santo Antônio é o Cwa, caracterizado por chuvas abundantes durante o verão e clima seco durante o inverno (VIEIRA, 2006). O período de chuvas na região, historicamente, é verificado entre os meses de novembro a março, em que a precipitação total mensal pode superar 500 mm. Já o período seco é identificado entre os meses de maio a setembro (VIEIRA, 2006). Na Figura 2 são apresentadas as temperaturas mínima e máxima de 2019 (ano da coleta dos dados) bem como a precipitação média (1989 – 2019) em duas das mais importantes cidades situadas na bacia do rio Santo Antônio: Conceição do Mato Dentro-MG (cabeceira do rio) e Naque-MG (desembocadura do rio) (CLIMATEMPO, 2020).

A vegetação dominante na bacia do rio Santo Antônio, cerca de 98% do total, são os

remanescentes florestais do bioma Mata Atlântica. Nas áreas topograficamente elevadas da porção norte e oeste da bacia, em meio às cadeias de montanhas da serra do Espinhaço, predominam as florestas remanescentes do bioma Cerrado (VIEIRA, 2006; ICMBIO, 2019; IDESISEMA, 2019; IEF, 2019). As principais unidades de solo encontradas na região são: latossolos vermelhos, latossolos vermelhos-amarelos e podzólicos vermelhos-amarelos. Também são verificados com menor representatividade na área da bacia os latossolos amarelos e roxos, os cambissolos e os neossolos litólicos (AMARAL *et al.*, 2004).

A intensa modificação da paisagem em virtude da atividade agrícola confinou as reservas naturais basicamente às margens dos rios. De acordo com IBGE (2018), na bacia do rio Santo Antônio são encontradas as seguintes classes de categorias de uso do solo: área artificial, silvicultura, vegetação campestre, pastagem natural, corpo d'água continental, mosaico de área agrícola com remanescentes florestais e mosaico de vegetação florestal com atividade agrícola.

A bacia hidrográfica do rio Santo Antônio está situada no limite entre a borda leste do Cráton São Francisco e o Orógeno Araçuaí. As principais unidades litoestratigráficas encontradas nesta área são apresentadas na Figura 3 (GROSSI-SAD *et al.*, 1997; OLIVEIRA; LEITE, 2000; PADILHA *et al.*, 2000; DA SILVA, 2000; CODEMIG, 2003, INSTITUTO PRÍSTINO, 2019).

A Tabela 1 mostra os dados químicos das principais litologias obtidas por meio do acervo literário da área da bacia e que servirão como base para as discussões deste artigo. Dussin (1985) analisou quimicamente as rochas que compõem o minério extraído na serra da Serpentina. O resultado de seu trabalho é apresentado na Tabela 2.

Em relação à população, um levantamento de dados realizado pelo IBGE no ano de 2018 mostrou que a bacia do rio Santo Antônio apresenta 346.805 habitantes em seus 29 municípios limítrofes. No entanto, não se tem um dado concreto e disponível acerca desse número, pois algumas sedes municipais se localizam fora da área da bacia. No ano de 2010, o comitê da bacia do rio Santo Antônio (DO4) reportou que a

soma da população ribeirinha é de 182.048 habitantes.

As principais atividades que geram renda aos municípios da bacia do estão relacio-

nadas ao setor de serviços, agricultura, pecuária, silvicultura, mineração, siderurgia e produção de papel e celulose (IBGE, 2020).

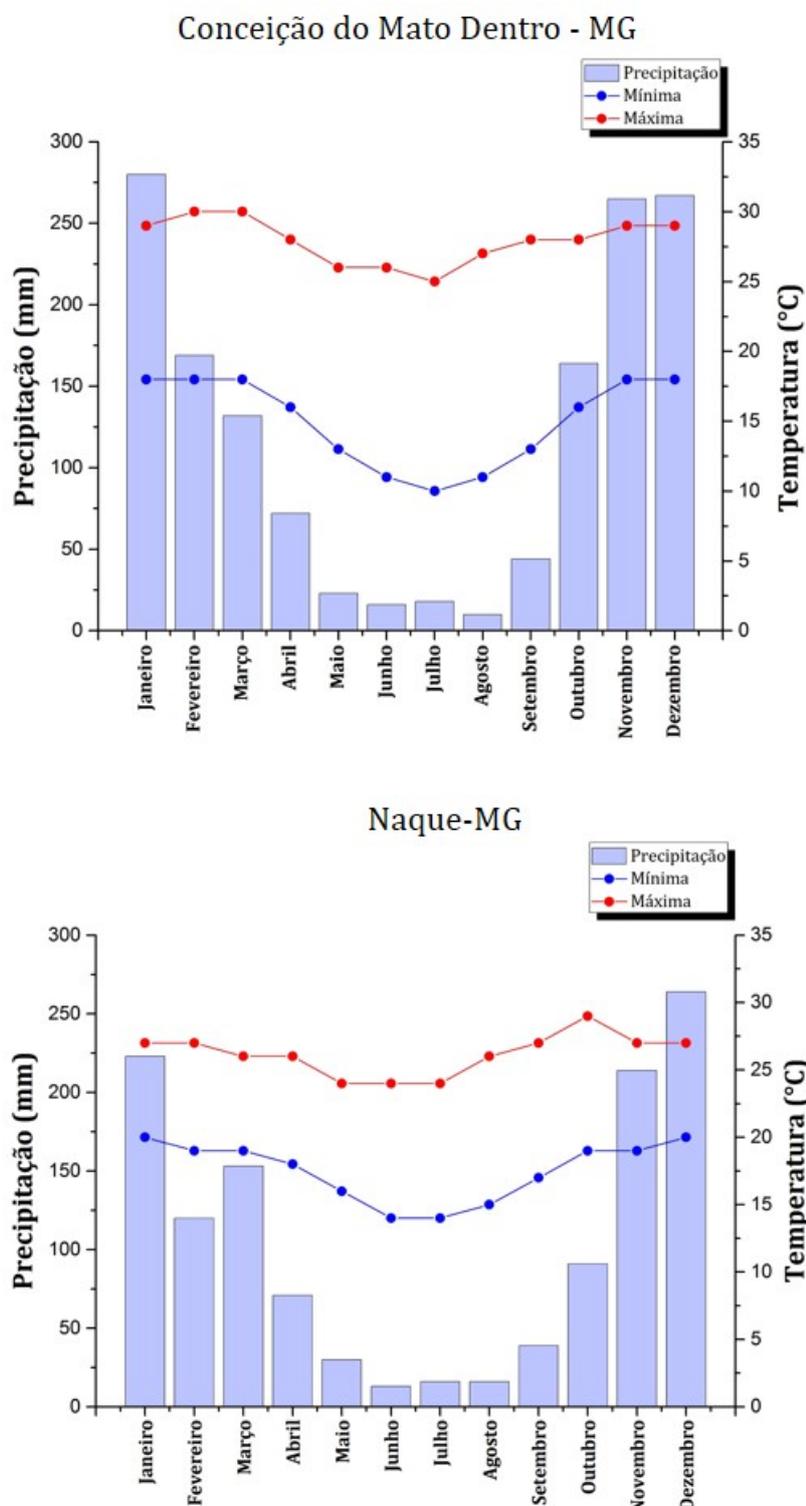


Figura 2 - Temperaturas mínimas (linhas azuis) e máximas (linhas vermelhas) referentes ao ano de 2019 e pluviosidade média (1989 – 2019) das cidades de Conceição do Mato Dentro-MG e Naque-MG (barras azuis). (CLIMATEMPO, 2020).

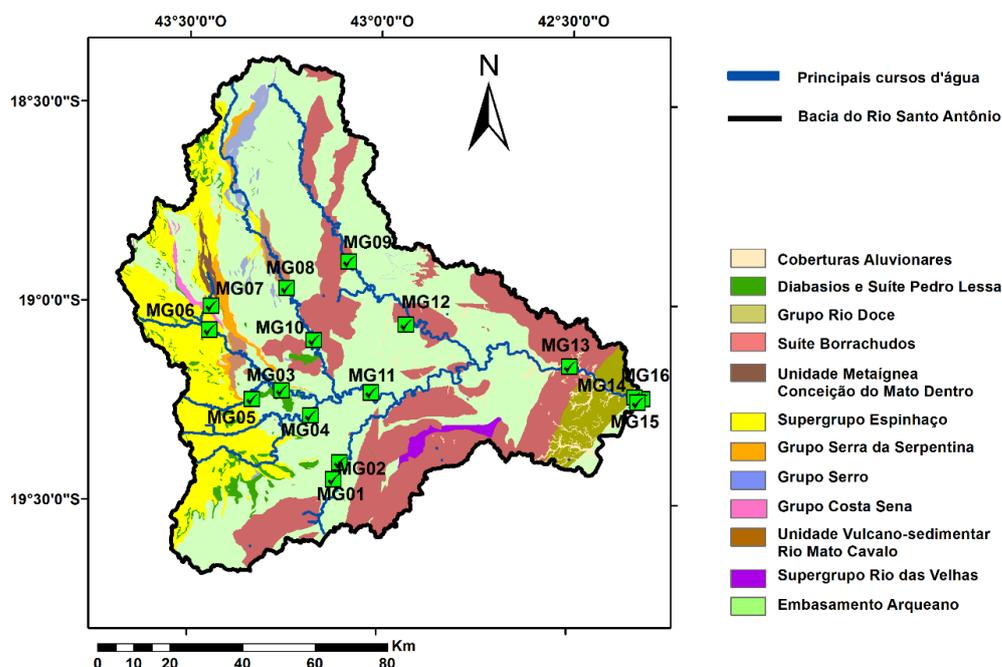


Figura 3 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio. (CODEMIG, 2003; INSTITUTO PRÍSTINO, 2019).

Tabela 1 - Composição química das principais litologias que afloram na área da bacia do rio Santo Antônio (Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 total, K_2O , MgO , MnO , Na_2O , P_2O_5 e TiO_2 em % de óxido).

Unidade	Rocha	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	TiO_2	Observação
Complexo Gouveia	Granito com intercalações migmatíticas	13,83	0,82	1,65	5,42	0,29	0,02	3,31	0,08	0,2	Amostra localizada nas coordenadas 7.913.300N/657.800E (HERRGESELL, 1984)
Complexo Basal	Granodiorito	17	4,2	3,66	3,6	0,5	0,06	5,1	0,15	0,13	Amostra GU-100 do Batólito Guanhões próximo a Senhora do Porto (GROSSI-SAD <i>et al.</i> , 1989)
Suíte Borrachudos	Ortognaisses	12,13	1,52	4,12	4,77	0,16	0,05	2,9	-	0,4	Amostra AK048 (OLIVEIRA, 2002)
Suíte Borrachudos	Granitos	11,7	0,82	1,94	6,3	0,04	0,02	0,9	0,14	0,21	Amostra GU-P-111B do Plutonito Senhora do Porto (GROSSI-SAD <i>et al.</i> , 1989)
Suíte Borrachudos	Granitos	13,72	0,61	2,39	5,9	0,01	0,02	5,19	0,01	0,1	Amostra 5218 coletada em Dores de Guanhões - (FERNANDES <i>et al.</i> , 1994)
Supergrupo Espinhaço	Filito hematítico	17,96	1,67	26,64	7,46	2,03	0,06	0,13	1,3	3,96	Amostra MR-361 HERRGESELL, 1984)
Grupo Serra da Serpentina	Itabirito	1,4	0,13	49,39	0,1	0,1	0,02	0,1	0,01	1,25	Amostra FS-SS-3 (DUSSIN, 1985)
Grupo Serra da Serpentina	Filito hematítico	13,49	1,87	16,54	4,68	1,34	0,13	0,42	0,45	2,41	Amostra FS-SS-5 (DUSSIN, 1985)
Rochas metabásicas e Suíte Pedro Lessa	Metadiabásios	13,56	9,35	13,52	0,68	6,1	0,21	2,51	0,26	2,13	Média entre 8 amostras de metadiabásios - M96, 396, 79, 376-A, 9, 7, 328 e 393-A], (GUIMARÃES, 1992)
Rochas metabásicas e Suíte Pedro Lessa	Metabasitos	13,7	9,7	20	1,1	5,6	0,28	2,1	0,52	3,6	Amostra MI04 (GROSSI-SAD <i>et al.</i> , 1989)

Tabela 2: Composição química do itabirito, da hematita e do filito encontrados na serra da Serpentina, segundo Dussin (1985). Teores de Fe₂O₃ e MnO em %.

Amostras	Itabirito			Hematita			Filito	
	1	2	3	1	2	3	1	2
Fe ₂ O ₃	49,07	48,5	31,21	92,61	92,48	82,15	3,69	4,76
MnO	0,02	0,06	<0,01	0,01	0,01	0,09	0,13	0,06

1. 2 EMBASAMENTO TEÓRICO DA PESQUISA E OBJETIVO

A classificação de Goldschmidt (KRAUSKOPF, 1972) e a determinação do contexto geoquímico regional são métodos importantes para verificar a origem dos metais e semimetais, sendo que o último se baseia em um valor que representa os níveis naturais de um elemento em uma determinada região e que permite a avaliação de possíveis contaminações causadas por atividades antrópicas (MATSCHULLAT *et al.* 2000).

Uma série de monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado foram desenvolvidas pela Graduação / Pós-Graduação em Geologia e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, seguindo as metodologias acima citadas. Os trabalhos que seguem apresentam a trajetória e a evolução do conhecimento sobre a bacia do rio Doce - PARRA *et al.*, (2007); ROESER *et al.*, (2011); GONTIJO *et al.*, (2014); NASCIMENTO (2016); FERNANDES (2017); REIS (2019). Mais especificamente, na bacia do rio Santo Antônio, GASPAR (2021); PIMENTA (2021) e JÁCOME (2023) utilizaram a

metodologia citada para caracterização dos elementos químicos. Tais contribuições foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Esse estudo buscou entender de modo quantitativo e qualitativo o comportamento dos metais na bacia e avaliar a contribuição geogênica e antrópica para a qualidade da água superficial do manancial. Entender aspectos como mobilidade, disponibilidade, correlação e concentração dos elementos é de fundamental importância para que o objetivo do estudo seja atingido. Para isso, esse trabalho se baseia em análises químicas laboratoriais em amostras de água coletadas no período de estiagem da bacia, em setembro de 2019. Este trabalho irá explorar os dados químicos de rocha disponíveis na literatura para entender a correlação entre o conteúdo encontrado nos mananciais e a litologia da área investigada.

Não foi possível realizar uma campanha de amostragem no período chuvoso da bacia devido à pandemia de COVID-19 e à falta de recursos para a realização do projeto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAGEM

Para entender melhor as áreas alvo para a coleta de amostras, foi confeccionado um mapa geológico referente à área da bacia do rio Santo Antônio (Figura 3). Os pontos de interesse foram selecionados de acordo com os seguintes critérios: envolver os principais rios tributários da bacia; cobrir diferentes

pontos do rio principal desde sua cabeceira à sua desembocadura; cobrir áreas urbanas e áreas pouco alteradas pela ação antrópica; e por fim, cobrir áreas próximas à mineração. Assim, foram coletadas dezesseis amostras de água ao longo da bacia durante o período de estiagem: 23/09 a 25/09, em 2019.

2.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A coleta de amostras de água foi feita segundo orientações do guia CETESB (BRANDÃO *et al.* 2011) com adaptações às peculiaridades da coleta nos mananciais. Em cada ponto de amostragem foram coletadas,

contra a corrente, amostras de água superficial em dois frascos PET de 50 mL em duas alíquotas. Nos frascos previamente identificados e esterilizados, fez-se ambiente com a própria água do rio em três ciclos. As

amostras foram acidificadas com três gotas de HNO₃ ultrapuro concentrado (*Merck*), até atingir o pH < 2 e preservadas a 4°C em caixas de isopor. A etapa de filtragem ocorreu após o armazenamento das amostras

em uma geladeira, com a utilização de membranas de 0,45µm (filtro de seringa *Millex HP* com membrana *Millipore Express®*), separando os resíduos sólidos suspensos.

2.3 PROCEDIMENTO ANALÍTICO

Após a etapa de filtragem, as amostras foram encaminhadas para leitura de Mg, Ca, e Fe por meio do Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado de Argônio (ICP-OES), aparelho modelo M 4165 – *Espectroflame – Spectro*, no laboratório do Núcleo de Geoquímica Ambiental (NGqA) do CPMT/IGC/UFMG. Temperatura, ORP (potencial redox) e pH foram obtidos com o

equipamento multiparâmetro portátil da *Myron L. Company, Ultrameter II / 6P*, que utiliza um eletrodo de Ag/AgCl em solução de KCl saturado como eletrodo de referência. Posteriormente, foi realizada a correção para o eletrodo padrão de hidrogênio (EPH), adicionando 200 mV ao valor medido (YSI, 2001). Neste texto reportamos este valor como Eh.

3 RESULTADOS

Utilizando os dados de análises químicas por ICP-OES foram calculadas as concentrações médias e o desvio padrão de Ca, Mg e Fe, apresentados na Tabela 3

juntamente com os respectivos limites de quantificação da técnica. A distribuição destes elementos ao longo da bacia é mostrada na Figura 4.

Tabela 3 - Metais detectados nas amostras de água da bacia do rio Santo Antônio (mg/L) – Média e Desvio Padrão (entre parênteses). LQ = Limite de Quantificação.

Amostras	Mg	Ca	Fe
MG01	1,323(0,0459)	4,123(0,107)	0,4168(0,0128)
MG02	0,9110(0,0006)	1,987(0,0115)	0,4565(0,003)
MG03	2,018(0,0552)	5,780(0,2232)	1,025(0,0356)
MG04	1,092(0,0025)	2,182(0,0194)	0,5820(0,0011)
MG05	0,9070(0,0022)	1,723(0,0156)	0,1344(0,0016)
MG06	0,8200(0,044)	2,083(0,0612)	0,5020(0,0127)
MG07	1,381(0,1444)	7,230(0,0238)	1,863(0,0083)
MG08	0,9090(0,0235)	2,702(0,0035)	0,2766(0,0008)
MG09	1,191(0,0279)	2,828(0,336)	0,8700(0,018)
MG10	0,7860(0,0632)	2,189(0,2754)	0,2274(0,0297)
MG11	0,8360(0,021)	1,877(0,0432)	0,1519(0,0034)
MG12	0,9810(0,021)	2,710(0,0346)	0,3565(0,0034)
MG13	0,966(0,0887)	2,563(0,3567)	0,0672(0,0212)
MG14	1,392(0,0077)	3,293(0,0383)	0,1935(0,0005)
MG15	1,033(0,0181)	2,336(0,0586)	1,115(0,0093)
MG16	1,989(0,0304)	6,050(0,0605)	0,2320(0,003)
LQ	0,0004	0,0103	0,0037

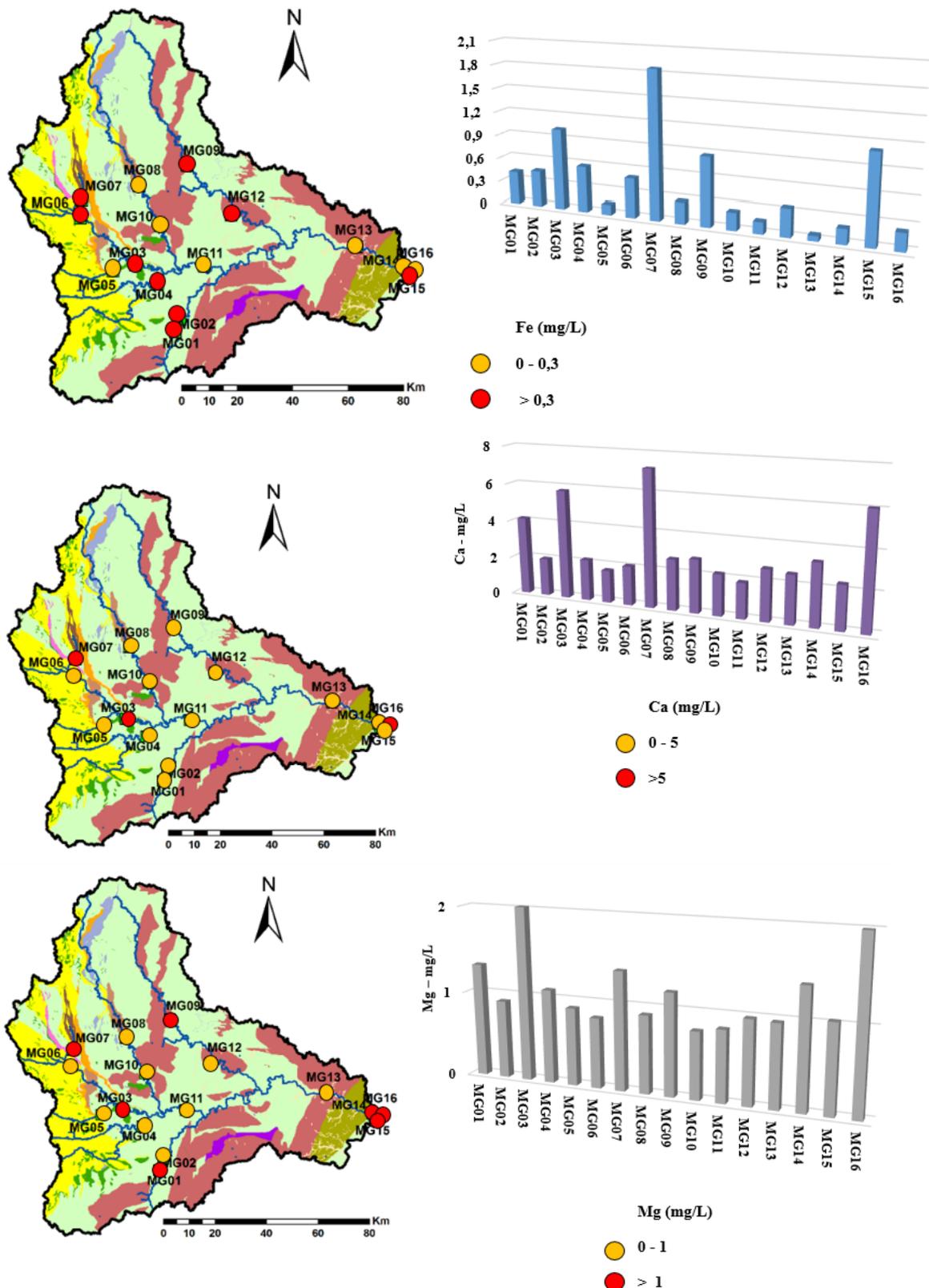


Figura 4 - Concentração de Fe, Ca e Mg nas amostras de água coletadas durante a estação seca de 2019.

A discussão referente à concentração dos metais na água foi baseada na Resolução CONAMA 357/2005, regulamentação brasileira que normatiza a classificação de águas doces superficiais em diferentes

classes de uso e que também determina os valores máximos para a concentração de alguns elementos que na água se encontram dissolvidos. No Brasil não são todos os corpos d'água que estão enquadrados em

alguma das classes estabelecidas pela regulamentação, o que dificulta a gestão dos recursos hídricos no território nacional. Nesse sentido, as bacias não enquadradas pelo Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA ou Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SINGREH, são agrupadas na classe 2. Os valores máximos estabelecidos para a classe 2 da regulamentação CONAMA 357/2005 referente às concentrações dos metais são: Mg (1 mg/L), Ca (5 mg/L) e Fe (0,3 mg/L).

Os pontos em laranja no mapa da Figura 4 correspondem às concentrações abaixo do

limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para os metais estudados, enquanto os pontos vermelhos correspondem às concentrações acima do referido limite da norma. Estes metais apresentaram em alguns pontos da bacia concentrações que superaram os limites exigidos para a classe 2. Segundo a norma, a extrapolação dos limites pode representar danos ao ecossistema aquático e à vida. Os dados obtidos por meio das análises dos parâmetros físicos e químicos da água - oxigênio dissolvido, temperatura, Eh e pH, estão disponíveis na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados referentes aos parâmetros físicos e químicos da água, coletados “*in loco*”. (ORP - Potencial Redox corrigido conforme Ysi 2001; OD - oxigênio dissolvido).

Amostras	Parâmetros				
	OD(mg/L)	T (°C)	Eh (mV)	ORP (mV)	pH
MG01	6,38	22,2	176,6	-23,4	7,73
MG02	8,35	24,6	159,1	-40,9	8,07
MG03	8,17	26,0	147,6	-52,4	8,29
MG04	8,14	25,0	173,0	-27,0	7,79
MG05	7,92	23,5	184,3	-15,7	7,57
MG06	7,35	23,6	179,1	-20,9	7,85
MG07	1,88	23,0	178,0	-22,0	7,70
MG08	7,98	25,6	160,1	-39,9	8,04
MG09	8,03	24,6	161,1	-38,9	8,03
MG10	8,23	25,4	161,6	-38,4	8,02
MG11	8,40	26,0	157,1	-42,9	8,10
MG12	7,54	20,4	178,4	-21,6	7,70
MG13	8,27	23,5	173,1	-26,9	7,80
MG14	7,81	25,3	161,9	-38,1	8,01
MG15	7,71	27,7	197,4	-2,60	7,31
MG16	7,86	26,7	157,4	-42,6	8,09

Os dados mostram que os valores de pH em todos os pontos amostrados na bacia estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas superficiais de classe 2, entre 6 e 9. Os valores de pH obtidos variam de 7,31 (ponto MG15) e 8,29 (ponto MG03). Os valores de Eh medidos nos pontos monitorados apresentaram variação entre 147,6 mV (Ponto MG03) e 197,4 mV (Ponto MG15). Entende-se que o pH e o Eh são parâmetros que controlam as condições físicas e químicas de um sistema aquático. Portanto, em posse dos valores obtidos para os

referidos parâmetros, é possível prever os estados iônicos das substâncias dissolvidas no ambiente monitorado (SALOMONS, 1998). A Tabela 4 mostra que não há variações significativas de pH e Eh ao longo do rio Santo Antônio. A Figura 5 mostra o comportamento de Mg, Ca e Fe sob diferentes condições de Eh x pH em um ambiente aquático, sendo que os diagramas foram desenvolvidos por Takeno (2005). Nestes diagramas foram plotadas as condições de Eh e pH da bacia do rio Santo Antônio.

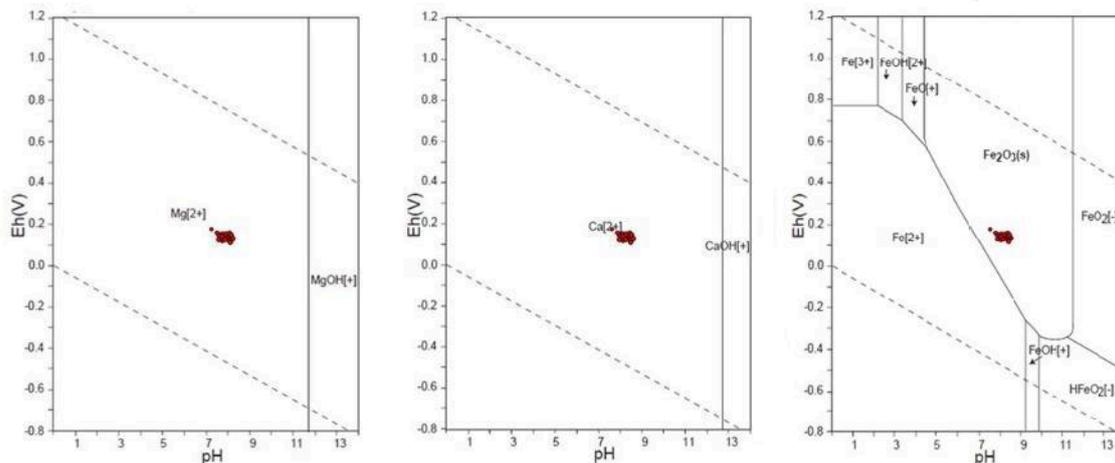


Figura 5 - Diagramas Eh x pH mostrando a especiação de Mg, Ca e Fe diante das variações físicas em um sistema aquoso. Os pontos em vermelho correspondem aos valores dos parâmetros nos pontos de coleta na bacia do rio Santo Antônio (TAKENO, 2005).

Os dados obtidos nos dezesseis pontos de coleta mostram que a temperatura da água variou entre 20,4°C a 27,7°C, oscilação que pode estar atrelada a um conjunto de fatores, tais como, horário da coleta das amostras, profundidade da água, sombreamento, tipo de fluxo (laminar ou turbulento) e tipo de leito (aluvial ou rochoso). Os dados relativos ao oxigênio dissolvido na água mostram que quinze pontos amostrados apresentaram concentrações acima de 5 mg/L, valores dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005. O único

ponto de amostragem em que a concentração do referido parâmetro destoa dos demais é o MG07 com 1,88 mg/L. Esta concentração indica uma hipóxia ou baixa concentração de oxigênio, o que inviabiliza o estabelecimento de organismos aeróbicos no local, como peixes e plantas, resultando em um desequilíbrio do ecossistema (CETESB, 2020). O ponto MG07 está inserido na zona urbana da cidade de Conceição do Mato Dentro-MG, onde é possível verificar o lançamento de esgoto doméstico *in natura*.

3.1 ORIGEM DOS ELEMENTOS

A Tabela 1 apresenta dados referentes à química das litologias localizadas no entorno das drenagens, e a Figura 5 apresenta os diagramas Eh x pH que mostram a especiação dos elementos encontrados na

água da bacia diante das variações físicas em um sistema aquoso. Essas são as principais bases para a discussão sobre a origem dos elementos na área de estudo.

3.1.1 CÁLCIO E MAGNÉSIO

Ca e Mg são representativos nas litologias da área de estudo. Nas drenagens da bacia, os elementos estão disponíveis na forma de íon, Ca^{2+} e Mg^{2+} . As condições de pH neutro e Eh oxidante permitem que grande quantidade desses íons continue

solubilizada na água, embora fatores como a temperatura também possa atuar no sistema, o que contribui para que o ambiente fique supersaturado e estes elementos se precipitem na forma de carbonato ou sejam adsorvidos à matéria orgânica (Figura 5).

3.1.2 FERRO

O Fe é abundante nas rochas que compõem a litologia local. Verifica-se que a região oeste da área de estudo (rio do Peixe e na desembocadura do rio Santo Antônio com o rio Doce), são pontos com maior concentração de Fe na bacia, com registros

acima de 0,3 mg/L. As condições de pH neutro e Eh oxidante favorecem a solubilização parcial dos íons Fe^{2+} na água. No entanto, parte desses íons de Fe, se precipita nos sedimentos na forma de óxidos e hidróxidos. Dessa maneira, a mobilidade

deste elemento na bacia é muito baixa (Figura 5), visto que os óxidos e/ou hidróxidos estão fortemente adsorvidos nos sedimentos e encontram no pH e Eh local sua barreira geoquímica para serem reincorporados às águas das drenagens (REIMANN; CARITAT, 1998).

A exploração do minério de ferro no entorno da bacia é intensa, de modo que o revolvimento do solo e das rochas tem produzido uma grande quantidade de

4. CONCLUSÕES

A situação ambiental da bacia do rio Santo Antônio é adequada para utilização dos recursos hídricos nas mais variadas atividades das quais a população necessita, desde que se tenha uma gestão destes recursos.

Em geral, observou-se que a água da bacia apresenta qualidade satisfatória e pouca influência da ação antrópica, pois as concentrações de Ca, Mg e Fe acima do limite estabelecido pela CONAMA 357/2005 em vários pontos amostrados na bacia do rio Santo Antônio estão

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFMG, ao NGqA do CPMT/IGC/UFMG, ao

6 REFERÊNCIAS

- AMARAL, F. C. S.; DOS SANTOS, H. G.; ÁGLIO, M. L. D.; PEREIRA, N.; DE OLIVEIRA, R. P.; CARVALHO JUNIOR, W. D. **Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. 2004.
- BRANDÃO, C. J.; BOTELHO, M. J. C.; SATO, M. I. Z.; LAMPARELLI, M. C. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo. CETESB. 325p. 2011.
- CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. **Mortandade de Peixes**. CETESB. São Paulo. 2020. Disponível em:

sedimentos, que é transportada e depositada nas calhas dos mananciais pela ação dos agentes naturais. Dessa forma, os íons de Fe são incorporados à água e se precipitam devido às condições físicas e químicas atuais das drenagens. Com relação à proveniência destes elementos, as fontes mais indicadas de Fe na bacia são as rochas do Grupo Serra da Serpentina, conforme demonstram os dados litológicos do trabalho de Dussin (1985) - Tabela 2.

relacionadas à geologia regional, o que não significa dizer que há uma contaminação referente aos metais no local, mas que a regulamentação necessita de ajustes para realizar a classificação dos mananciais brasileiros.

Somente um ponto da bacia, o MG07 - inserido na zona urbana da cidade de Conceição do Mato Dentro-MG, requer maior atenção quanto à qualidade da água, devido ao baixo teor de oxigênio dissolvido no ponto amostrado.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e ao DEGEO/EM/UFOP pelo apoio na realização deste trabalho.

- <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido/>
- CODEMIG - Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2003. Escala 1: 1.000.000.
- CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente**. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, 2005.
- DA SILVA, S. L. Projeto Leste. Província Pegmatítica Oriental. **Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais**. Folha Coronel Fabriciano-SE (Vol. 24). 23-ZD-II, 2000. Escala 1:2000.

- DUSSIN, T. M. **Geologia e Geoquímica das Formações Ferríferas da Serra da Serpentina, Conceição do Mato Dentro - MG.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 140p. 1985.
- FERNANDES, M. L. S.; MARCIANO, V. R. P. O.; DE OLIVEIRA, R. C.; NEVES, J. M. C.; DILÁSCIO, M. V. Granitos Borrachudos: um exemplo de granitogênese anorogênica na porção central do Estado de Minas Gerais. **Geonomos**, 2(2), 23-29, 1994.
- FERNANDES, K. N. **Qualidade das águas nos Rios Gualaxo do Norte, Gualaxo do Sul e do Carmo - Afluentes do Alto Rio Doce (Watu): metais, metaloides e Índice de Qualidade das Águas antes e após o rompimento da barragem de rejeitos Fundão da Samarco/VALE/BHP Billiton, em Mariana, MG.** Dissertação de Mestrado, Engenharia Ambiental – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 223p. 2017.
- GASPAR, J. V. T. **Contribuição para a Caracterização Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Santo Antônio – MG.** Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 160p. 2021.
- GONTIJO, E. S. J.; FERNANDES, M. L.; WATANABE, C. H.; ALMEIDA, M. A. D.; FRIESE, K.; SILVA, G. A; ROESER, H. M. P.; ROSA, A. H. Geochemical Study of waters in the eastern of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. 23th edition. **LAK**, Heidelberg, Alemanha. Anais. CD-ROM. 2014.
- GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SOARES-FILHO, B. S. **Projeto Espinhaço em CD-Rom.** Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1997.
- GROSSI-SAD, J. H.; MAGALHÃES, J. M. M.; CARELOS, P. M. **Geologia do Distrito de Guanhões, Minas Gerais. Belo Horizonte, Docegeo-Geosol**, 252p, 1989.
- GUIMARÃES, M. L. V. **Petrogênese das rochas Pré-Cambrianas da região Itabira/Morro do Pilar, borda sudeste da Serra do Espinhaço Meridional - MG.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 139p. 1992.
- HERRGESELL, G. **Das Präkambrium am Ostrand der nördlichen Serra do Cipó (Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brasilien).** Dissertação de mestrado, Universidade de Freiburg, 247p. 1984.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014 em grade territorial estatística.** Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro. 2018.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Características dos municípios da bacia do Rio Santo Antônio.** 2020. Acesso em 21/04/2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>.
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Guia do Visitante.** 2019. Acesso em 23/10/2019. <<http://www.icmbio.gov.br/parnaserrado/cipo/guia-do-visitante.html>>
- IDESISEMA - Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Mapa de solos.** 2019. Acesso em 26/08/2019. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>.
- IEF - Instituto Estadual de Florestas. **Parques Estaduais de Minas Gerais.** 2019. Acesso em 23/10/2019. <<http://www.ief.mg.gov.br/parque-estadual/1410>>.
- INSTITUTO PRÍSTINO. **ATLAS DIGITAL GEOAMBIENTAL. Sistema WebGis de livre acesso ao banco de dados ambiental.** 2019. Acesso: 16/10/2019. Disponível em: <<https://institutopristino.org.br/atlas/>>.
- JÁCOME, A. P. G. **Contribuição para a Caracterização Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Santo Antônio – MG.** Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.
- KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à Geoquímica.** Tradução de Lando M. e Bogus P. S. C. Polígono, Editora da USP. São Paulo. 1972. 2v Cap 20 p. 181.
- MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN R.; REIMANN C. Geochemical background - can we calculate it? **Environmental Geology**. 39:990–1000. 2000.
- NASCIMENTO, L. P. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, Quadrilátero Ferrífero.** Dissertação de

- Mestrado em Engenharia Ambiental, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 171p. 2016.
- OLIVEIRA, A. A. K.; LEITE, A. D. S. Projeto Leste. Província Pegmatítica Oriental. **Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais.** Folha Ipatinga-SE (Vol. 100). 23-ZD-II, 2000. Escala 1:2000.
- OLIVEIRA, A. A. K. **Estruturação e alteração metassomática do ortognaisse Açucena (Suíte Borrachudos) na região de Ipatinga, Minas Gerais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 89p. 2002.
- PADILHA, A. V.; VIEIRA, V. S.; HEINECK, C. A. **Programa de Levantamentos Geológicos do Brasil:** Folha Itabira-SE. 23-ZD-IV, 2000. Escala 1:100.000.
- PARRA, R. R.; ROESER, H. M. P.; LEITE, M. G. P.; NALINI JR., H. A.; GUIMARÃES, A. T. A.; PEREIRA, J. C.; FRIESE, K. Influência Antrópica na Geoquímica de Água e Sedimentos do Rio Conceição, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais-Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v.21, n.1, p.36-49. 2007.
- PIMENTA, M. G. B. **Análise químico ambiental da bacia do rio Santo Antônio-MG por meio da avaliação de amostras de água e sedimentos.** 2021. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.
- REIMANN, C; CARITAT, P. **Chemical Elements in the Environment - Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist.** 1ª edição. Berlin, Springer-Verlag, 398p. 1998.
- ROESER, H. M. P.; NALINI JR. H. A.; LENA, J. C.; FRIESE, K. The influence of regional lithology on the composition of waters and sediments in the Upper Rio Doce Basin. 22th edition, **LAK**, Anais. Heidelberg, Alemanha. 2011.
- REIS, D. A. D. **Contaminação química e microbiológica em águas e sedimentos da bacia do rio Gualaxo do Norte, sub-bacia do rio Doce, submetida a fatores de pressão antrópicos e ao rompimento da barragem de Fundão.** Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia ambiental. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 223p. 2019.
- SALOMONS, W. Biogeodynamics of contaminated sediments and soils: perspectives for future research. **Journal of Geochemical Exploration**, 62 (1-3) 37-40, 1998.
- STRAHLER, A. H.; STRAHLER, A. N. 2005. **Physical Geography: Science and systems of the Human Environment.** Wiley. New York, 794p.
- TAKENO, N. **Atlas of Eh-pH diagrams - Intercomparison of thermodynamic databases.** Geological survey of Japan open file report, v.419, 102p. 2005.
- VIEIRA, F. **A ictiofauna do Rio Santo Antônio, bacia do Rio Doce, MG: proposta de conservação.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. 101p. 2006.
- YSI. **Measuring ORP on YSI 6-Series Sondas: Tips, Cautions and Limitations.** Tech note, YSI Environmental, 5p. 2.