



IV-605 - CONTRIBUIÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO - MG

Ana Paula Gouveia Jácome⁽¹⁾

Engenheira Geóloga pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (UFOP).

Marcos Geraldo Barbosa Pimenta

Engenheiro Geólogo pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Julia Vasconcellos Teixeira Gaspar

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Aníbal da Fonseca Santiago⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (UFOP).

Hubert Mathias Peter Roeser⁽¹⁾

Doutor em Mineralogia pela Technische Universität Clausthal Zellerfeld (TUCLZ). Professor titular do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola de Minas e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (UFOP).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Universitário, Morro do Cruzeiro - Ouro Preto - MG - CEP 35.402-173 - Tel: (31) 99372-6459 - e-mail: ana.pgj@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio está localizada no estado de Minas Gerais, abrangendo parcial ou totalmente 29 municípios, que somam aproximadamente 182 mil habitantes, representando cerca de 6% da população residente na porção mineira da bacia do Rio Doce. Embora seja a bacia mais preservada dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, tem enfrentado grandes impactos devido ao crescimento populacional e ao aumento das atividades de mineração. Este estudo teve como principal objetivo realizar um diagnóstico ambiental através de análises granulométricas, mineralógicas e geoquímicas dos sedimentos de fundo, buscando verificar a influência das atividades antrópicas e formações geológicas nos parâmetros ambientais. Durante uma campanha de campo, foram coletadas 16 amostras de sedimentos ao longo da bacia, que foram submetidas a análises de Difração de Raios X e ICP-OES. Os resultados obtidos foram comparados com a resolução CONAMA nº 454/2012. Além disso, para caracterizar a bacia, foram estudados a litologia, os tipos de solo, a vegetação, o uso e ocupação do solo, bem como levantados dados socioeconômicos da região. A partir das análises e comparações com os estudos descritivos da área, concluiu-se que os elementos químicos presentes nos sedimentos da bacia do Rio Santo Antônio são, em sua maioria, de origem geogênica. No entanto, foram detectadas contaminações por As, Cd, Cr e P em alguns pontos, especialmente nas confluências com o Rio Doce (P01 e P03) e em zonas urbanas (P07, P13, P14 e P16). Essas contaminações ressaltam a importância crucial de os órgãos públicos ambientais intensificarem o monitoramento nessas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Geoquímica Ambiental, Sedimentos, Bacias Hidrográficas, Bacia do Rio Santo Antônio

INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio está inserida no território de Minas Gerais envolvendo total ou parcialmente 29 municípios (Figura 1 e 2), os quais reúnem cerca de 182 mil pessoas (IBGE, 2010). Ela faz parte da macrobacia do Rio Doce, ocupando cerca de 15% de sua extensão total, o que equivale a uma área aproximada de 10.429,46 km² (IGAM, 2020).

O Rio Santo Antônio, principal curso d'água da bacia, nasce na Serra do Espinhaço, no município de Conceição do Mato Dentro e percorre por volta de 280 km até desaguar no rio Doce, no município de Naque,



no Vale do Aço. Seus principais afluentes são os rios Guanhões e do Peixe, desaguando pela margem esquerda, e rios do Tanque e Preto do Itambé, pela margem direita (Figura 3).

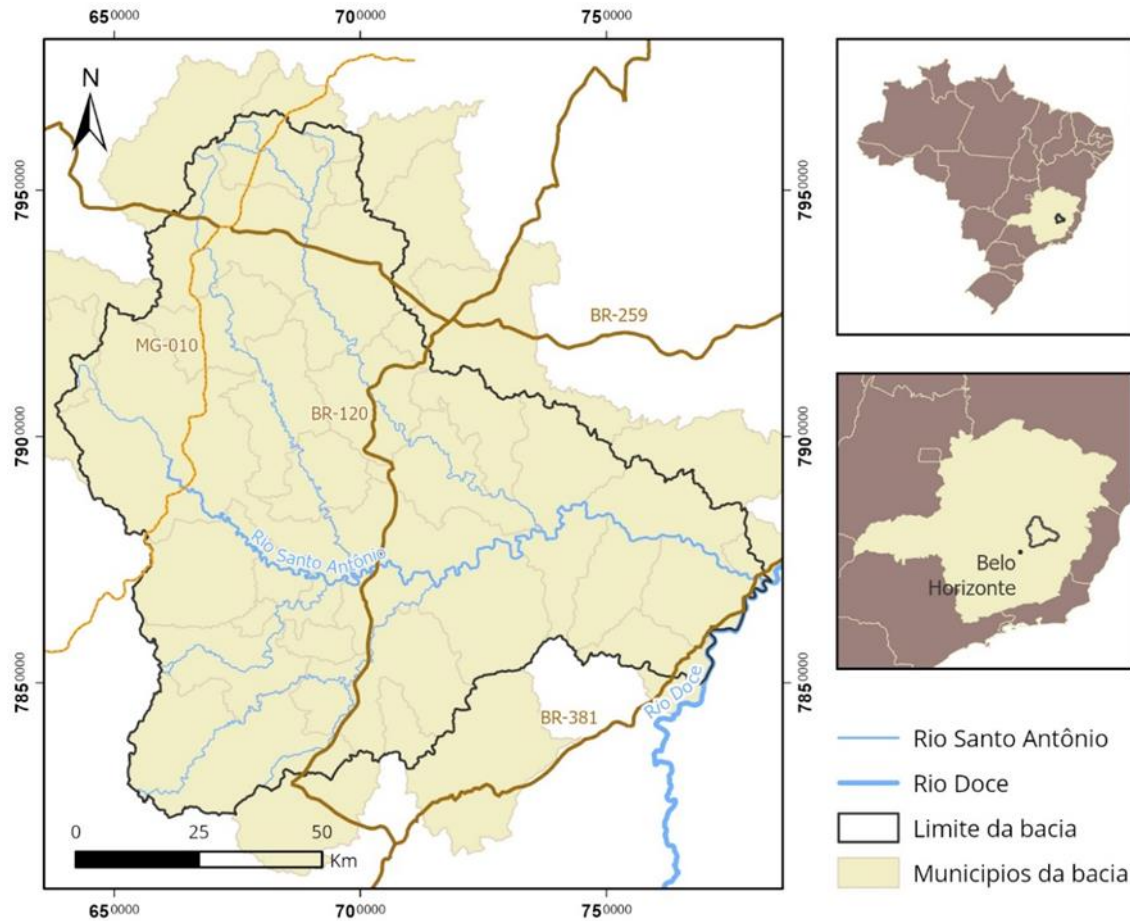
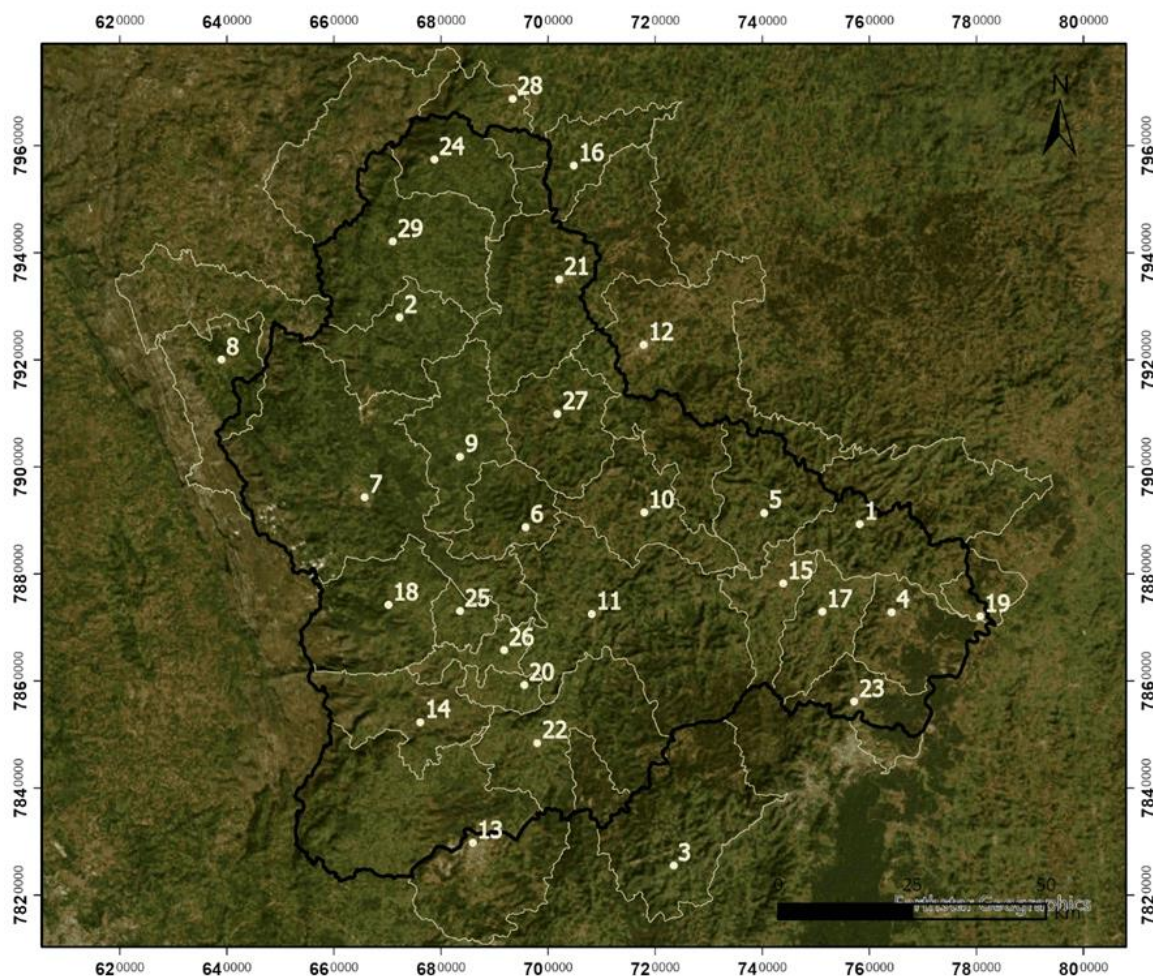


Figura 1 - Mapa de localização da bacia do Rio Santo Antônio. Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do IBGE (2021) e CPRM / Codemig (2014).



Municípios da Bacia do Rio Santo Antônio

- 1. Açucena
- 2. Alvorada de Minas
- 3. Antônio Dias
- 4. Belo Oriente
- 5. Braúnas
- 6. Carmésia
- 7. Conceição do Mato Dentro
- 8. Congonhas do Norte
- 9. Dom Joaquim
- 10. Dolores de Guanhanes
- 11. Ferros
- 12. Guanhanes
- 13. Itabira
- 14. Itambé do Mato Dentro
- 15. Joanésia
- 16. Materlândia
- 17. Mesquita
- 18. Morro do Pilar
- 19. Naque
- 20. Passabém
- 21. Sabinópolis
- 22. Santa Maria de Itabira
- 23. Santana do Paraíso
- 24. Santo Antônio do Itambé
- 25. Santo Antônio do Rio Abaixo
- 26. São Sebastião do Rio Preto
- 27. Senhora do Porto
- 28. Serra Azul de Minas
- 29. Serro

Figura 2 - Municípios que compõe a bacia do Rio Santo Antônio. Fonte: Elaborado pela autora com base em dados do IBGE (2021).

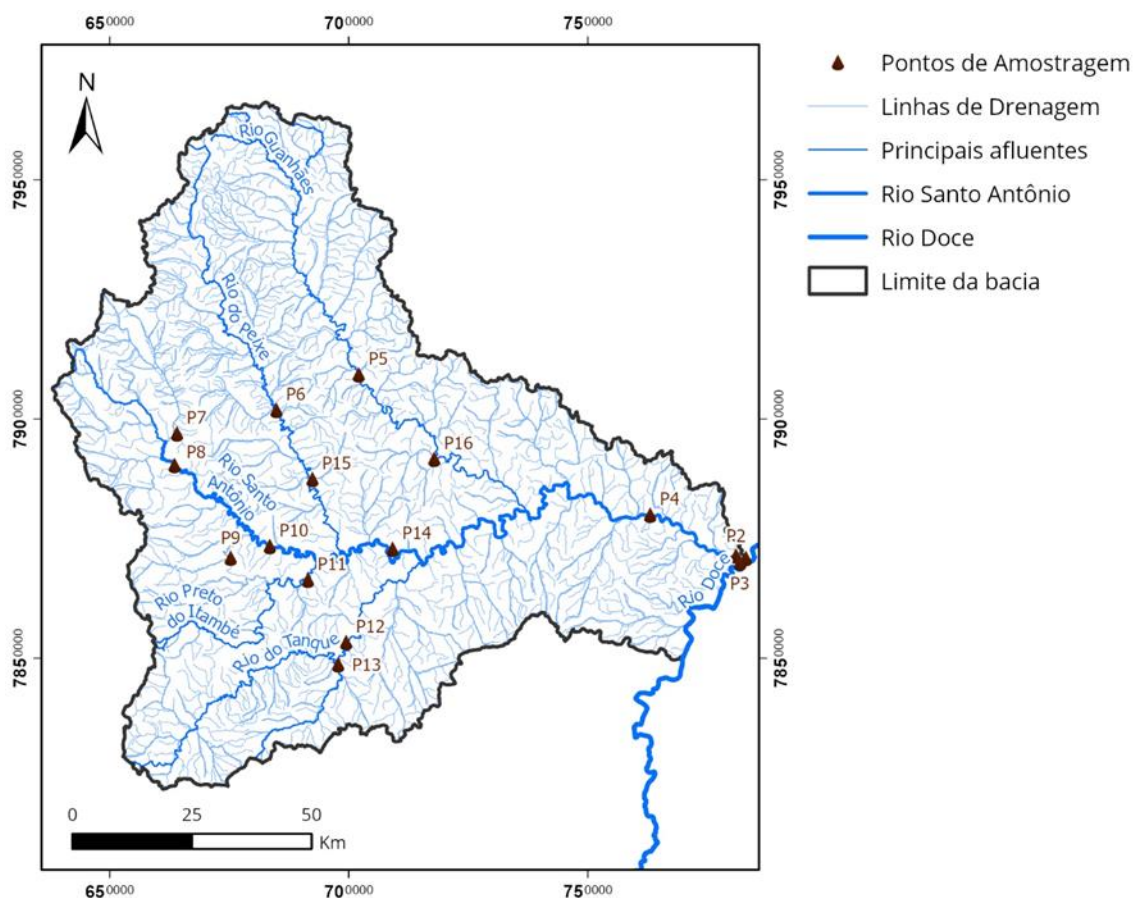


Figura 0 - Hidrografia da Bacia do Rio Santo Antônio. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do IDE-SISEMA/MG (2022).

Na Bacia do Rio Santo Antônio, a atividade predominante de uso e ocupação do solo é a agropecuária, conforme ilustrado na Figura 4. Além disso, destaca-se a presença de extensas áreas de vegetação florestal na região central da bacia, representando remanescentes da Mata Atlântica. As principais litologias presentes na Bacia Santo Antônio estão representadas no mapa da Figura 5 e resumidas na Tabela 1.

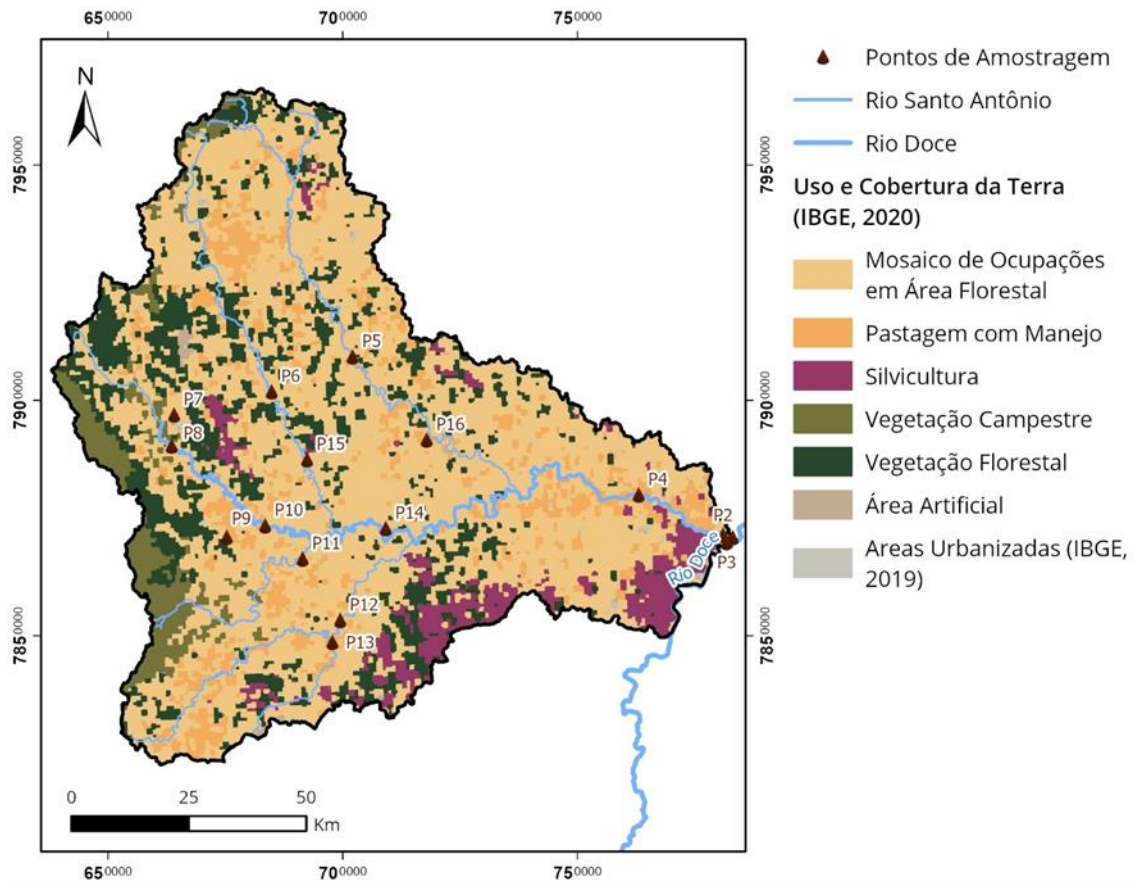


Figura 4 - Uso e Cobertura do solo na Bacia do Rio Santo Antônio. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do IBGE (2019) e IBGE (2020).

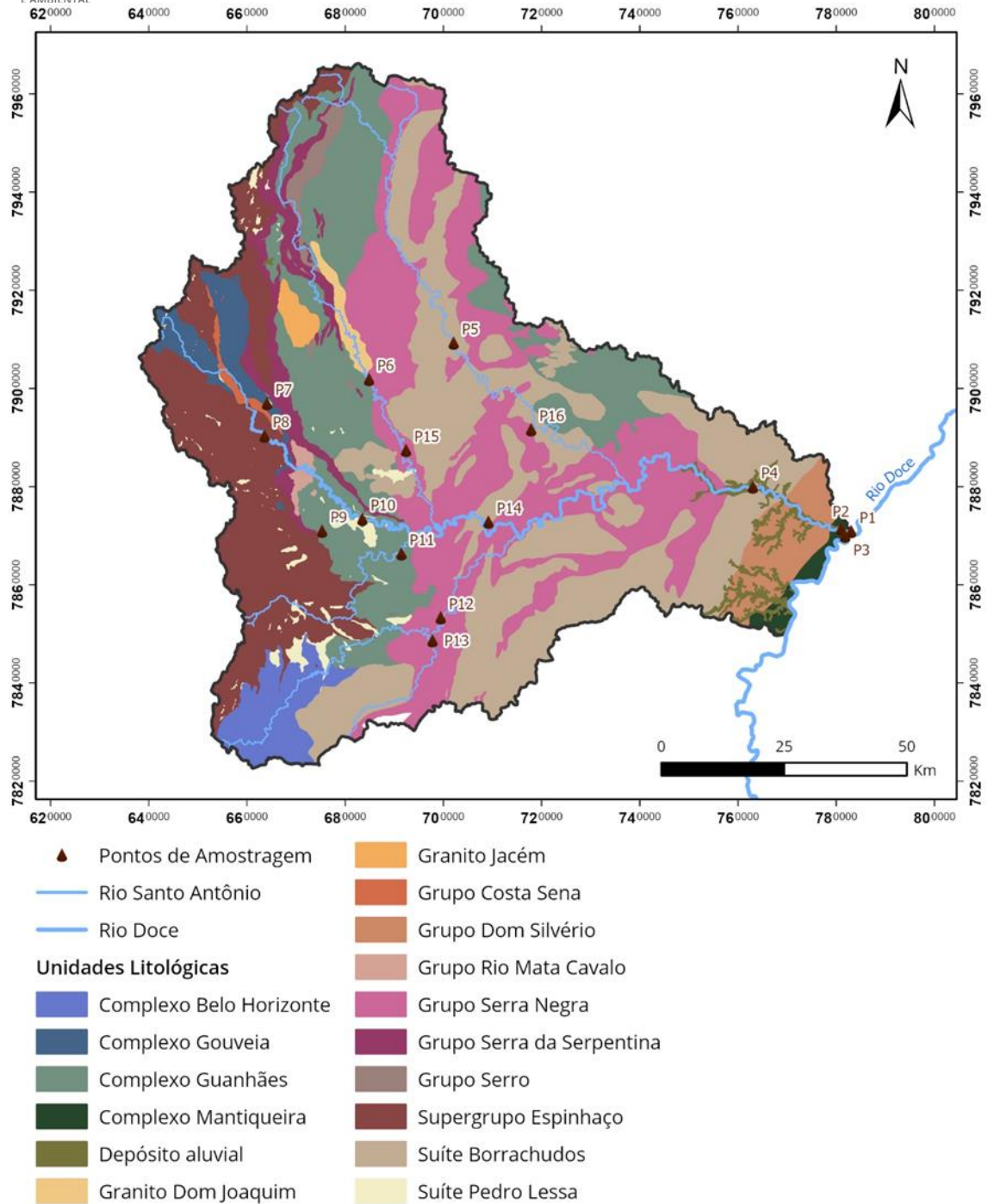


Figura 5 - Mapa de litologias na área da bacia do Rio Santo Antônio. Fonte: Elaborado pela autora com base em dados da CPRM / Codemig (2014).

Tabela 1 - Composição litológica da área da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio. Fonte: adaptado com base nos dados da CPRM/COMIG (2014).

UNIDADE ESTRATIGRÁFICA		LITOTIPOS	PERCENTUAL DE UNIDADES	
Suíte Borrachudos		Quartzo monzonito, álcali-feldspato granito, ortognaisse granítico alcalino	27,1	
Complexo Basal Arqueano	Complexo Belo Horizonte	Ortognaisses bandados tipo TTG, com intercalações de anfibolito e metaultramáfica	3,0	23,9
	Complexo Gouveia		2,1	
	Complexo Mantiqueira		0,7	
	Complexo Guanhães	Ortognaisse tonalítico a granítico	18,0	
Grupo Serra Negra		Formação ferrífera bandada predominante intercaladas em gnaiss bandado tipo TTG. Ocorrência eventual de quartzito puro, quartzito laminado argiloso e localmente ferruginoso, calcissilicática laminada e anfibolito e rochas metaultramáficas	22,5	
Supergrupo Espinhaço, Grupo Diamantina	Formação Sopa-Brumadinho	Metaconglomerado, quartzito, metapelito	13,9	
Grupo Dom Silvério		Xisto aluminoso, metamáfica, metaultramáfica, gondito, clacissilicática	3,0	
Grupo Serra da Serpentina	Formação Jacém	Quartzito com intercalações subordinadas de filito	2,7	
Suíte Pedro Lessa		Soleiras e diques máficos - metagabro e metadiabásio	2,3	
Grupo Serro		Rocha metaultramáfica e metamáfica tholeíticas. Quartzito, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto	1,3	
Granito Dom Joaquim		Granito	0,7	
Granito Jacém		Granito	0,6	
Grupo Rio Mata Cavalo		Rocha metaultramáfica e metamáfica tholeíticas. Quartzito, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto	0,5	
Grupo Costa Sena		Xisto predominante; metavulcânica máfica, formação ferrífera bandada, formações sulfetadas	0,4	
Depósito aluvial		Sedimentos clásticos inconsolidados	1,1	



Atualmente, as principais atividades antrópicas desenvolvidas na região incluem agricultura, criação de animais, indústria e mineração, conforme detalhado no Plano de Recursos Hídricos (PARH) Santo Antônio de 2010. O setor de serviços prevalece na região, contribuindo com 44% do Produto Interno Bruto (PIB), seguido pelo setor industrial, que representa 38%. No entanto, o tratamento de esgoto na bacia é bastante deficiente, com apenas cerca de 59,3% do esgoto produzido sendo coletado, conforme relatado no mesmo documento.

Embora seja a bacia mais preservada da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, o aumento populacional das cidades que compõe a bacia, o crescente desenvolvimento industrial na região, assim como o despejo de esgoto doméstico e industrial sem o tratamento adequado têm levado a uma degradação da qualidade da água dos mananciais.

Diante disso o estudo dos sedimentos de fundo se torna importante, a fim de se poder qualificar e quantificar a contaminação decorrida de ação antrópica ou anomalias ocasionadas por condições geológicas. Para tanto, a análise geoquímica se torna uma ferramenta indispensável uma vez que, permite estudar a distribuição e comportamento dos elementos químicos no meio ambiente assim como, determinar valores de background para uma dada região.

OBJETIVOS

Atualmente, as águas da bacia são principalmente destinadas para o uso doméstico, irrigação, dessedentação animal e atividade industrial. Dada a significativa relevância dessa bacia para a região e os desafios enfrentados pelos processos naturais, é crucial realizar estudos sobre a qualidade dos sedimentos. Além disso a investigação dos pontos de degradação e de poluição permitem a identificação das fontes de riscos ambientais, em especial à saúde humana.

A escassez de estudos ambientais na Bacia do Rio Santo Antônio, principalmente geoquímicos, também justifica a realização deste trabalho. Uma vez que, servirá de acervo para auxiliar estudos ambientais na região e poderá ser útil para um futuro gerenciamento e planejamento ambiental da bacia. Os dados obtidos neste estudo podem servir como instrumento comparativo para estudos realizados futuramente na Bacia do Rio Doce.

O objetivo deste estudo é contribuir para um diagnóstico ambiental através de análise geoquímica e mineralógica dos sedimentos de fundo da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio. Pretende-se examinar a influência das atividades antrópicas e formações geológicas nos resultados dos parâmetros ambientais e confrontar valores guias para a qualidade de sedimentos de fundo estabelecidos pelas legislações vigentes e pela literatura.

METODOLOGIA UTILIZADA

Com o objetivo de compreender o comportamento dos metais na bacia e analisar a influência tanto geológica quanto antrópica nos sedimentos da bacia foi realizada análises granulométrica, mineralógica e geoquímica.

Levantamento de dados

Para aquisição, manipulação e integração de informações da região estudada utilizou-se software ArcGis® 10.3 e bases cartográficas encontradas nos sites do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), do Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE), da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema).

Trabalho de campo e amostragem

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas através de uma campanha que ocorreu entre os dias 23 e 25 de setembro de 2019. Período que corresponde ao período de estiagem na região. Foram coletadas 16 amostras sendo, seis em pontos do rio principal, oito em pontos dos seus principais afluentes e duas em pontos do Rio Doce (Figura 6).

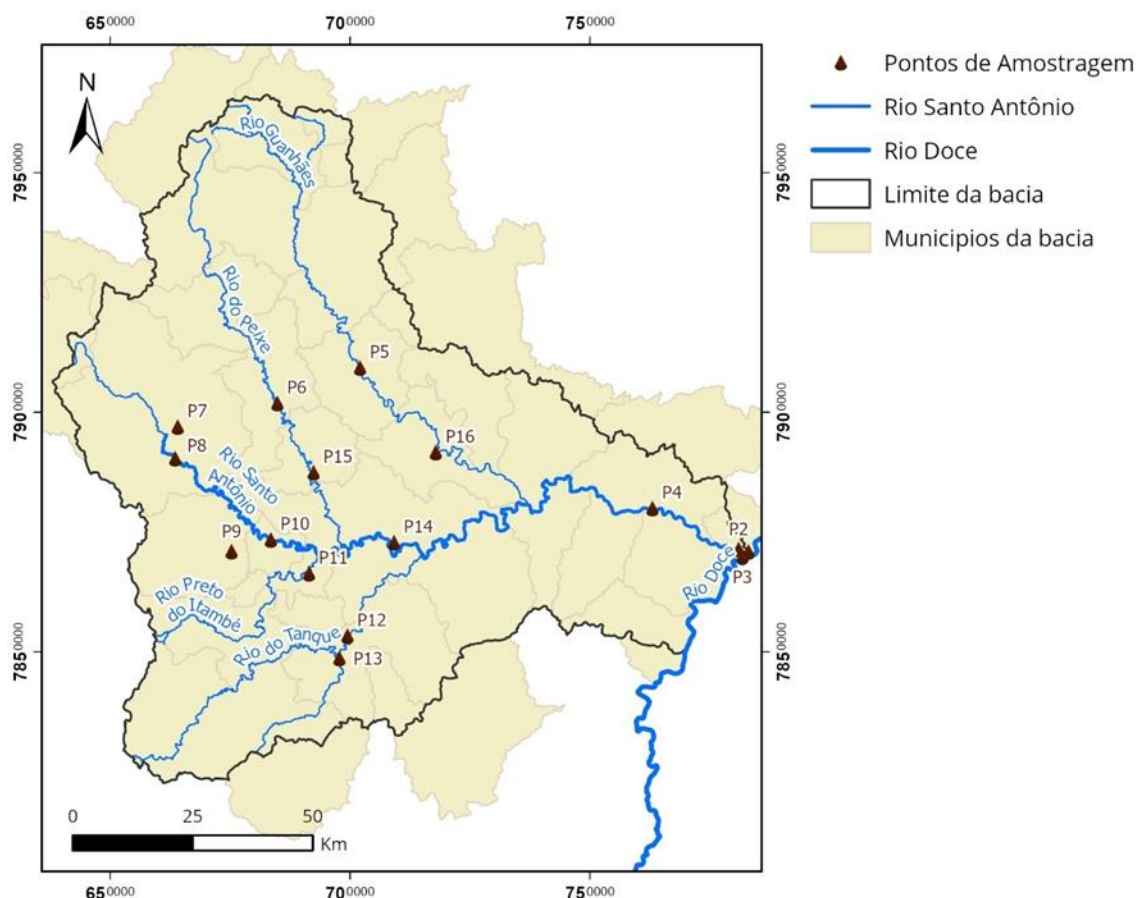


Figura 6 - Pontos de amostragem na Bacia do Rio Santo Antônio. Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do IBGE (2021) e IDE-SISEMA/MG (2022).

Para cada ponto amostral coletou-se aproximadamente dois quilos da camada superficial dos sedimentos acumulados no fundo do rio. Após a coleta, as amostras de sedimentos foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas para posterior secagem.

Preparação e análise granulométrica dos sedimentos

Após a secagem ao sol, as amostras foram homogêneas manualmente, quarteadas e finalmente separou-se dois quartis de cada amostra para peneiramento e análise granulométrica utilizando um conjunto de peneiras de diferentes malhas. Os resultados foram classificados na escala de Wentworth (1922) (Tabela 2).

Tabela 2 - Diâmetro de peneiras utilizadas na análise granulométrica. Fonte: Elaborado pela autora com base na classificação de Wentworth (1922).

ABNT / Mesh	Ø (mm)	Granulometria
5	4	Seixo
10	2	Grânulo
18	1	Areia Muito Grossa
35	0,5	Areia Grossa
60	0,25	Areia Média
120	0,125	Areia Fina
230	0,0625	Areia Muito Fina
Fundo	Fundo	Silte / Argila



Caracterização geoquímica e mineralógica

Análise geoquímica via ICP-OES

Após a análise granulométrica foi separada a fração mais fina das amostras (silte/argila) que foram levadas a uma estufa aquecida a 100°C durante duas horas para a completa evaporação da água restante. Cada amostra, então foi submetida ao método de digestão parcial proposto por Pueyo et al. (2001)

Análise por Difração de raios X

A composição mineralógica foi determinada por difração de raios X utilizando difratômetro Empyrean PANalytical, com radiação CuK α .

Tratamento dos dados

Para análise dos resultados provenientes da Difração de Raio X utilizou-se software High Score X'Pert Plus.

Para descobrir possíveis anomalias nos pontos estudados ao longo da bacia aplicou-se tratamento estatístico através de boxplots. Foram utilizados dados logtransformados a fim de se atenuar os efeitos de possíveis anomalias.

RESULTADOS OBTIDOS

Distribuição granulométrica

A análise granulométrica é um fator importante no estudo da distribuição de elementos nos sedimentos, uma vez que as concentrações dos metais reagem de maneira distinta em relação às diferentes granulometrias. Devido a maior área superficial, frações mais finas dos sedimentos específica possuem maior afinidade com os metais (Herut & Sandler 2006).

A distribuição granulométrica das amostras coletadas em 16 pontos da Bacia do Rio Santo Antônio está representada na Figura 7.

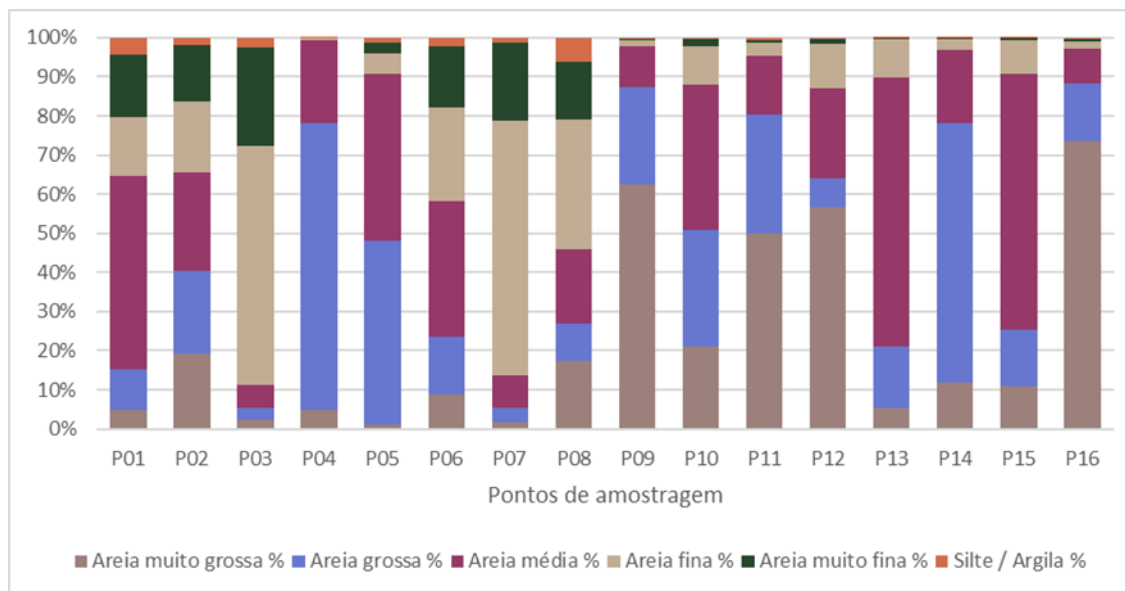


Figura 7 - Distribuição granulométrica dos sedimentos da Bacia do Rio Santo Antônio.

Observa-se que há predominância das frações mais grossas na grande maioria dos pontos amostrados. Pode se destacar também a maior ocorrência de sedimentos mais finos nos pontos P01, P02, P03, P06, P07 e P08, porém as frações areia fina e silte/argila não prevalecem em nenhuma das amostras.

Análise mineralógica

A composição mineralógica encontrada em cada um dos pontos amostrados ao longo da Bacia do Rio Santo Antônio se encontra listada na Tabela 3. Foram identificados 11 diferentes minerais nas amostras coletadas: quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita, hematita, sanidina, microclina, anfibólio, albita, anortoclásio e goethita.

Tabela 3 - Composição mineralógica dos sedimentos da Bacia do Rio Santo Antônio

Ponto de Amostragem	Análise Mineralógica
P01	quartzo, caulinita, gibbsita e hematita
P02	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita, hematita e sanidina
P03	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita, hematita e sanidina
P04	quartzo, caulinita, gibbsita, microclina, anortoclásio e anfibólio
P05	quartzo, caulinita, gibbsita e microclina
P06	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita e goethita
P07	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita e hematita
P08	quartzo, caulinita, gibbsita e muscovita
P09	quartzo, caulinita, gibbsita e muscovita
P10	quartzo, caulinita, gibbsita e muscovita
P11	quartzo, caulinita, gibbsita e sanidina
P12	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita, hematita, anortoclásio e albita
P13	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita, microclina e anfibólio
P14	quartzo, caulinita, gibbsita e muscovita
P15	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita e microclina
P16	quartzo, caulinita, gibbsita, muscovita e albita

Análise geoquímica

A fração granulométrica <0,063mm e os dados obtidos através da análise geoquímica dos sedimentos em ICP-OES estão disponíveis nas Tabela 4 e 5.

Tabela 4 - Resultados das análises ICP-EOS - elementos maiores

Amostra	Al mg/kg	Ca mg/kg	Fe mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	Ti mg/kg
P01	11135,8	1017,9	103327,4	662,11	733,87	92,19	525,64	609,04
P02	23319,83	948,44	47502,52	1381,25	1064,46	73,4	519,51	1192,39
P03	12030,17	768,31	105063,1	652,9	736,51	102,38	497,92	660,06
P04	6669,25	1143,18	12887,73	1193,77	763,65	285,75	111,28	772,63
P05	20566,11	1646,53	43681,02	1243,83	963,88	105	550,46	1269,66
P06	21654,93	881,11	44928,67	1344,7	1296,76	94,82	620,02	422,89
P07	13984,41	834,38	34744,87	598,54	529,04	112,4	2639,86	197,85
P08	15302,35	2105,32	26015,42	589,89	552,26	58,12	397,54	225,2
P09	14411,55	1108,04	28268,3	713,69	961,3	64	371,54	294,38
P10	16274,23	1573,96	40552,02	997,81	921,31	65,11	418,07	636,15
P11	15085,51	1895,32	22687,26	949,63	1111,78	53,53	347,47	485,38
P12	8923,36	1883,48	42797,23	930,56	991	130,69	467,93	600,94
P13	11789,45	1220,69	21848,35	2620,41	2082,61	175,25	319,24	759,55
P14	12071,1	945,46	14291,86	1051,24	562,19	103,75	174,08	364,11
P15	22168,38	1079,04	78603,83	1424,54	951,92	103,27	681,91	950,17
P16	23962,42	873,38	46442,38	1395,48	1345,34	82,25	637,09	411,92
LQ	24,5	4,28	7,24	12,24	3,04	3,49	6,93	10,75

LQ = Limite de Quantificação

Tabela 5 - Resultados das análises ICP-EOS - elementos traços

Amostra	As mg/kg	Ba mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
P01	12,86	90,63	<LQ	9,69	92,82	14,56	1193,67	20,1	20,73	91,82
P02	<LQ	111,09	<LQ	12,58	43,04	53,93	742,37	9,28	40,3	63,52
P03	34,69	89,75	<LQ	12,29	94,53	18,46	1048,66	21,77	14,63	64,16
P04	<LQ	58,09	<LQ	7,5	19,09	52,31	388,11	6,39	8,84	32,79
P05	<LQ	130,08	<LQ	14,35	65,85	51,03	912,94	13,77	35,26	68,77
P06	<LQ	117,75	<LQ	12,24	86,95	30,51	472,63	15,49	13,42	43,56
P07	<LQ	73,67	<LQ	4,14	55,29	21,84	240,6	8,99	19,01	47,31
P08	<LQ	52,57	<LQ	5,81	37,49	14,87	232,68	7,13	7,83	24,53
P09	<LQ	101,6	<LQ	9,31	61,94	12,7	1546,18	12,6	17,87	19,76
P10	<LQ	59,86	<LQ	7,71	67,88	23,72	396,48	9,97	15,39	38,75
P11	<LQ	80,35	0,72	11,11	26,64	16,4	855,96	7,13	14,68	23,88
P12	<LQ	74,71	<LQ	7,91	29,45	16,63	834,8	7,31	16,93	34,36
P13	<LQ	66,28	11,05	13,97	29,85	12,57	267,09	11,78	28,5	39
P14	<LQ	52,8	11,42	9,29	24,3	7,24	480,26	8,23	20,08	20,22
P15	<LQ	159,23	<LQ	20,9	39,05	14,15	1162,67	8,58	49,87	61,45
P16	<LQ	121,84	11,29	13,09	91,54	19,95	481,22	17,06	16,47	43,01
LQ	7,58	0,545	0,49	1,56	1,08	1,23	5,55	3,02	7,08	0,31

LQ = Limite de Quantificação

Avaliação de possíveis anomalias

Os diagramas da Figura 8 e Figura 9 mostram, respectivamente, a distribuição dos elementos maiores e menores da região estudada. Observa-se que foram detectadas anomalias nos resultados das análises químicas de três elementos maiores: Mg (P13), Na (P04) e P (P07). Ocorrendo anomalia positiva em todos os três elementos citados e ocorrência de anomalia negativa apenas em P (P14). Nenhum dos elementos traços avaliados apresentaram anomalias.

CONAMA 454

A Tabela 6 apresenta os valores máximos dos metais e As conforme a classificação. Sendo o nível 1 o limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota e o nível 2 o limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

Tabela 6 - Valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA no 454/2012 em mg/kg. Fonte: CONAMA (2012)

(mg/kg)	As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
Nível 1	5,9	0,6	35	35,7	37,3	0,17	18	123
Nível 2	17	3,5	91,3	197	90	0,49	35,9	315

A fim de se comparar os resultados obtidos através da análise geoquímica ICP-OES com os valores proposto na legislação confeccionou-se os gráficos da Figura 10.

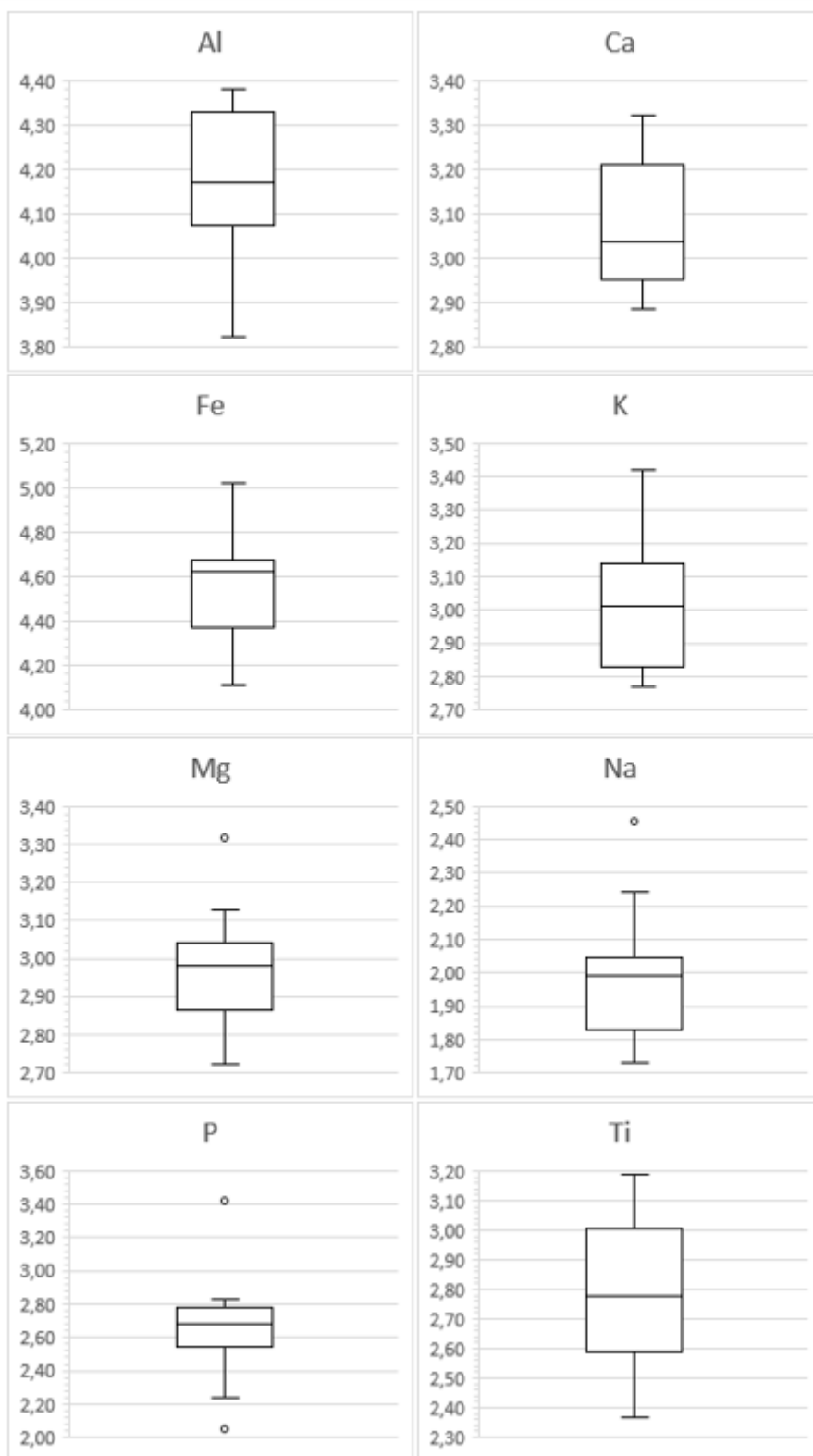


Figura 8 - Diagramas referente as análises químicas dos elementos metálicos maiores Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P e Ti presentes nos sedimentos da bacia do rio Santo Antônio.

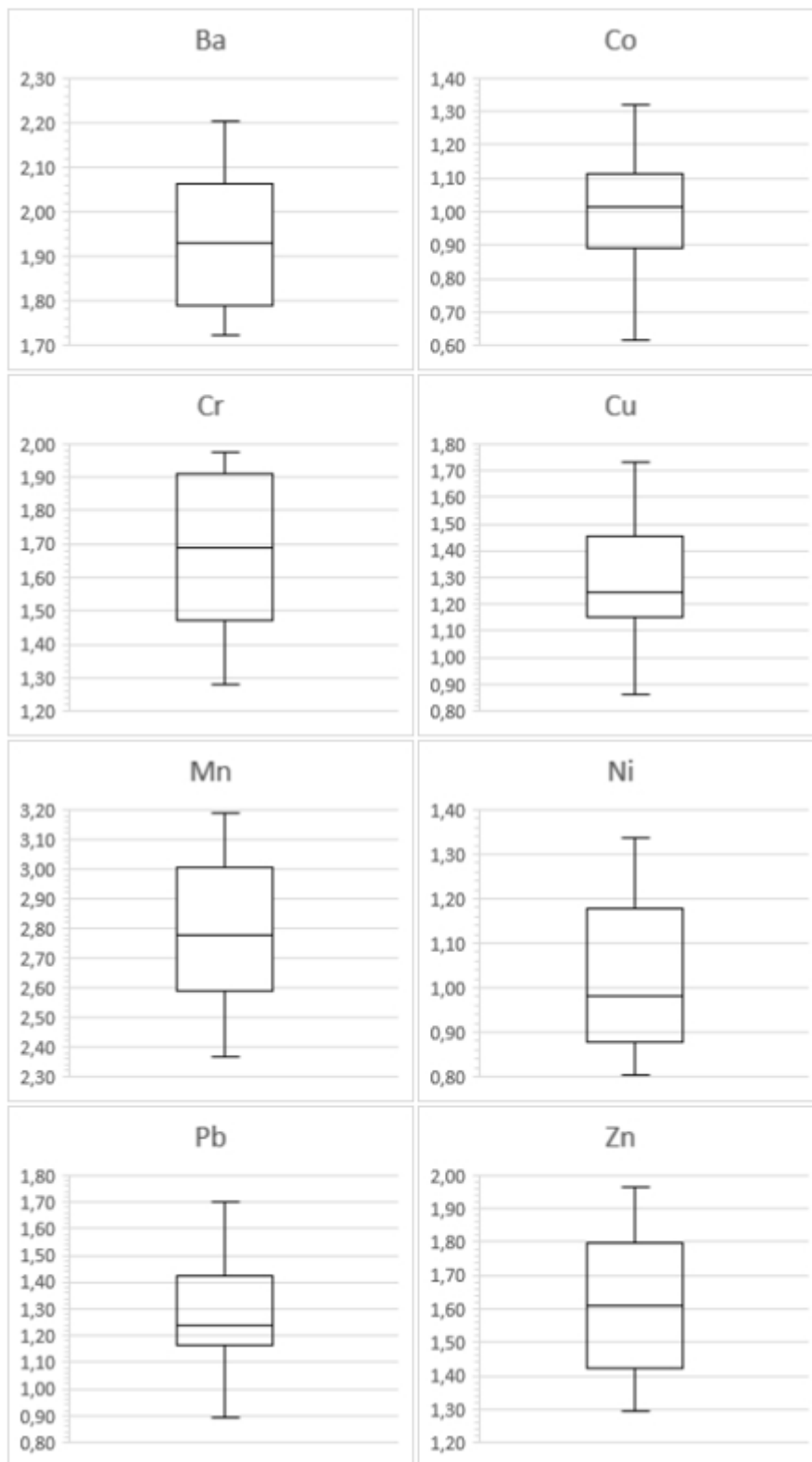


Figura 9 - Diagramas referente as análises químicas dos elementos metálicos traços Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn presentes nos sedimentos da bacia do rio Santo Antônio.



Figura 10 - Diagramas das concentrações de As, Cd, Pb, Cu, Cr, Ni e Zn ao longo da Bacia do Rio Santo Antônio e comparativo com CONAMA 454/2012.



ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a realização e análise dos resultados da distribuição granulométrica, caracterização mineralógica e geoquímica dos sedimentos provenientes da Bacia do Rio Santo Antônio foi possível entender a distribuição e concentração dos elementos químicos maiores e traços.

A análise granulométrica demonstrou a predominância de frações mais grossas nos sedimentos, o que pode implicar numa baixa absorção de metais potencialmente tóxicos. Além disso, verificou-se uma grande diversidade litológica na região estudada, com o Rio Santo Antônio e seus afluentes atravessando várias dessas unidades, logo a diversidade de elementos químicos nos sedimentos também é grande.

A análise mineralógica validada pelos resultados obtidos na análise geoquímica feita pelo ICP-OES evidenciam a influência geogênica como a principal fonte dos elementos químicos presentes nos sedimentos da bacia do rio Santo Antônio. Ressalta-se que as altas concentrações de ferro podem estar relacionadas com as formações ferríferas bandadas do grupo Serra Negra.

Os valores anômalos de Mg e Na possivelmente são geogênicos enquanto o de P pode ter causa antrópica. A maior concentração de Na no ponto P04 pode ser justificada pela ocorrência do mineral anortoclásio ((Na,K)AlSi₃O₈). Da mesma forma, maior teor de Mg no P13 pode estar associado ao Grupo Serra Negra, possivelmente devido as rochas metaultramáficas e as formações ferríferas bandadas, uma vez que as rochas metaultramáficas contêm altos teores de talco (Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂) e clorita ((Mg,Al,Fe)₁₂[(Si,Al)₈O₂₀](OH)₁₆).

Observou-se altas concentrações de As e Cr nos pontos P01 e P03, inclusive ultrapassando os níveis propostos pela CONAMA 454/2012. É possível correlacionar os altos teores ao rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. As é um elemento típico presente nas rochas que hospedam depósitos auríferos sulfetados do Quadrilátero Ferrífero e possivelmente o elemento estava nos sedimentos que foram depositados há muito tempo, mas que foram revolvidos pela lama proveniente da barragem e assim devolvidos novamente ao meio ambiente.

Também foi encontrado altos teores de Cd nos pontos P13, P14 e P16; Cr em P16 e P em P07, sendo ultrapassado os níveis propostos pela CONAMA em alguns destes também. É importante ressaltar a influência de todas estas amostras terem sido coletadas em zonas urbanas, podendo se associar a alguma contaminação antropogênica, possivelmente ao despejo de esgoto.

CONCLUSÕES

Os dados obtidos pela análise geoquímica, análise estatística em boxplot e comparação com os valores da resolução CONAMA 454/2012 indicam que os sedimentos da bacia apresentam baixas concentrações de metais potencialmente tóxicos à biota. Nos pontos onde alguns teores encontrados estavam elevados nota-se maior influência geogênica. Em minoria a influência antrópica, causada principalmente devido ao despejo de esgotos industriais e domésticos não tratados nos leitos e atividade de mineração.

Por fim, ressalta-se que a Bacia do Rio Santo Antônio apresenta um dos melhores estados de conservação dentre as Unidades que compõem a bacia hidrográfica do Rio Doce, a sua manutenção em boas condições é essencial para recuperação das águas do Rio Doce e preservação da Mata Atlântica na região. É de suma importância que os órgãos públicos ambientais acompanhem melhor os locais em que foram encontradas contaminações.

AGRADECIMENTO

Este estudo foi viabilizado pelo apoio da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PROAMB), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (PROPI). Agradecemos também ao Laboratório de Geoquímica Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto pela análise por ICP.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 454 de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Diário Oficial da União, nº 216, de 08 de novembro de 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=680>. Acesso em: 10 mar. 2023.
2. CPRM - Serviço Geológico do Brasil; CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. Mapa. 2014. Disponível em: <http://www.portatgeologia.com.br/index.php/mapa/#downloads-tab>. Acesso em: 10 mar. 2023.
3. HERUT, B.; SANDLER, A. Normalization methods for pollutants in marine sediments: review and recommendations for the Mediterranean. *Israel Oceanographic & Limnological Research*, v. 18, p. 1-23, 2006.
4. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas urbanizadas. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=destaques>. Acesso em: 10 mar. 2023.
5. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Limite dos Biomas. 2019. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 10 mar. 2023.
6. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 10 mar. 2023.
7. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Municipal. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 05 mar. 2023.
8. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 03 mar. 2023.
9. IDE-SISEMA/MG. Atlas. 2009. Disponível em: <https://institutopristino.org.br/atlas/municipios-de-minas-gerais/>. Acesso em: 10 mar. 2023.
10. IDE-SISEMA/MG. Principais trechos hidrográficos das Circunscrições Hidrográficas de Minas Gerais. 2022. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/ebb215b7-10a5-481b-8cb2-823b4cf3d5e4>. Acesso em: 05 mar. 2023.
11. PUEYO, M.; RAURET, G.; LUCK, D.; YLI-HALLA, M.; MUNTAU, H.; QUEVAUVILLER, P.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. F. The certification of the extractable contents (mass fractions) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following sequential extraction procedure. *Journal of Environment Monitoring*, v. 3, n. 2, p. 243-250, 2001.
12. WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.