

ELEMENTOS-TRAÇOS NA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE RONDÔNIA, AMAZÔNIA OCIDENTAL BRASILEIRA

TRACE ELEMENTS IN GROUNDWATER IN THE CENTRAL REGION OF THE STATE OF RONDÔNIA, WESTERN BRAZILIAN AMAZON

Josilena J. Laureano ¹, Elisabete Lourdes do Nascimento ², Cleycia Cardoso de Sales ³, Walkimar Aleixo da Costa Junior ⁴, Wanderley Rodrigues Bastos ⁵

RESUMO: Diante dos diversos fatores que afetam a oferta de água em quantidade e qualidade satisfatória, é crescente a utilização das águas subterrâneas como fonte de abastecimento doméstico. Portanto o objetivo do presente estudo foi avaliar as concentrações de elementos-traços na água subterrâneas de poços rasos em três municípios (Ouro Preto do Oeste, Ji-Paraná e Presidente Médici) em Rondônia, comparando os valores obtidos com os padrões estabelecidos pela Portaria (PRC n° 05/2017, alterada pela Portaria GM/MS n° 888/2021) e com a Resolução 396/CONAMA/2008. Foram selecionados 8 poços em cada município e realizadas duas coletas, período de águas baixas-AB (setembro/outubro 2023) e de águas altas-AA (fevereiro/2024). As análises foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer da Universidade Federal de Rondônia-UNIR, através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). As concentrações de elementos-traços analisadas foram: (Al, As, Cd, Cr, Mn, Pb, Zn, Ba, Co, Cr, Ag, Be, Mo, Sb, Sn, Sn, V, Ni). Foram encontrados 7 elementos-traços acima do valor máximo permitido pelas legislações, o Ba foi encontrado apenas em 1 poço, As em 2 poços (4,44%), Fe em 13,33% (6 poços), Mn em 15,55% (7 poços), Pb em 17,77% (8 poços), Al em 28,90% (13 poços), e Cd em 100% dos poços avaliados. Portanto conclui-se que a água subterrânea avaliada no presente estudo encontra-se imprópria para o consumo humano.

Palavras-chave: Cádmio; toxicidade; Carcinogênico.

ABSTRACT: Given the various factors that affect the supply of water in satisfactory quantity and quality, the use of groundwater as a source of domestic supply is increasing. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the concentrations of trace elements in groundwater from shallow wells in three municipalities (Ouro Preto do Oeste, Ji-Paraná and Presidente Médici) in Rondônia, comparing the values obtained with the standards established by the Ordinance (PRC No. 05/2017, amended by Ordinance GM/MS No. 888/2021) and Resolution 396/CONAMA/2008. Eight wells were selected in each municipality and two collections were carried out, the low water period-AB (September/October 2023) and the high water period-AA (February/2024). The analyzes were carried out at the Wolfgang C. Pfeiffer Environmental Biogeochemistry Laboratory at the Federal University of Rondônia-UNIR, using the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) technique. The concentrations of trace elements analyzed were: (Al, As, Cd, Cr, Mn, Pb, Zn, Ba, Co, Cr, Ag, Be, Mo, Sb, Sn, Sn, V, Ni). 7 trace elements were found above the maximum value allowed by legislation, Ba was found in only 1 well, As in 2 wells (4.44%), Fe in 13.33% (6 wells), Mn in 15.55 % (7 wells), Pb in 17.77% (8 wells), Al in 28.90% (13 wells), and Cd in 100% of the wells evaluated. Therefore, it is concluded that the groundwater evaluated in the present study is unsuitable for human consumption.

Keywords: Cadmium; toxicity; carcinogenic.

¹ Aluna do Curso (doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia PPG-BIONORTE), Universidade Federal de Rondônia-UNIR, josij.laureano@hotmail.com; ORCID: 0000-0001-8009-8738

² Prof^a. Dra. da Universidade Federal de Rondônia-UNIR; departamento de Engenharia Ambiental; elisabetenascimento@unir.br; ORCID: 0000-0003-2157-6415

³ Aluna do Curso (graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Rondônia-UNIR, departamento de Engenharia Ambiental, cleyciasales81@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0241-4788>

⁴ Técnico da Universidade Federal de Rondônia-UNIR; Departamento de Química; walkimarcosta@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8989-7966

⁵ Prof. Dr. da Universidade Federal de Rondônia-UNIR; Departamento de Biologia; bastoswr@unir.br; ORCID: 0000-0002-2105-9947

1 INTRODUÇÃO

A escassez e a baixa qualidade dos recursos hídricos tornaram-se um dos sérios problemas mundiais e vem aumentando em função da poluição e contaminação das águas, o crescimento da demanda, desenvolvimento industrial e agrícola (Ribeiro et al., 2019). Esses fatores aliados aos custos elevados dos sistemas de tratamento contribuem para que o abastecimento de água enfrente grandes dificuldades (Ribeiro et al., 2019).

A oferta de água em quantidade e qualidade adequada é fundamental para o desenvolvimento humano (ANA, 2021). Tanto que entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável a ODS 6-Água potável e saneamento constam metas que visam à universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário até o ano de 2030 (ANA, 2022).

Nesse contexto a água subterrânea, além de ser um bem econômico, é considerada mundialmente uma fonte imprescindível de abastecimento para consumo humano (Freitas et al., 2001). Hoje, muitos lugares (Brasil, China, Índia, México, Nigéria, Paquistão), apresentam um elevado nível de dependência das águas subterrâneas, o auto-abastecimento representa uma proporção significativa da água “realmente recebida” que variam de 20%-50% (Foster, 2020).

No Brasil 9º maior usuário de água subterrânea (Hirata et al., 2019). As taxas reais de uso são desconhecidas, pois a maioria dos usuários não são regularizados (ANA, 2022). Cerca de 40% dos municípios brasileiros são abastecidos por mananciais subterrâneos e 3% possuem abastecimento misto, totalizando 29,11 milhões de habitantes (ANA, 2021). Destaca-se a região Norte com 57% dos municípios e 27% da população urbana (3,88 milhões) abastecidas por manancial subterrâneo (ANA, 2021).

No estado de Rondônia dos 52 municípios, 10 são abastecidos por mananciais subterrâneos, e em 5 o abastecimento é misto (ANA, 2021). No entanto cerca de 60% da população do estado concentra-se em locais com índice de abastecimento inferior a 90% (ANA, 2021). Visando suprir esse déficit é comum a utilização de poços para o abastecimento doméstico (Nascimento (2022); Martins (2011), Pavanello (2018)).

No entanto, a contaminação dos aquíferos têm sido relatada cada vez mais nas últimas décadas (Hirata & Suhogusof, 2019). E ocorre em função do aumento das fontes potenciais de contaminação (Berrocal et al., 2013), como área de atividade industrial, destinação de resíduos, postos de combustível, cemitérios e saneamento inadequado (Hirata & Ferreira, 2001; Silva et al., 2017). Poderão passar décadas até que a poluição se torne aparente, assim, é extremamente importante reconhecer os sinais incipientes de poluição através da monitorização dos aquíferos pouco profundos e implementar medidas de proteção das águas subterrâneas (Foster, 2020).

Dentre os principais contaminantes estão as substâncias químicas como: nitratos, cloro, materiais radioativos, substâncias orgânicas, metais pesados (elementos-traços) e hidrocarbonetos (Tundisi & Tundisi, 2011).

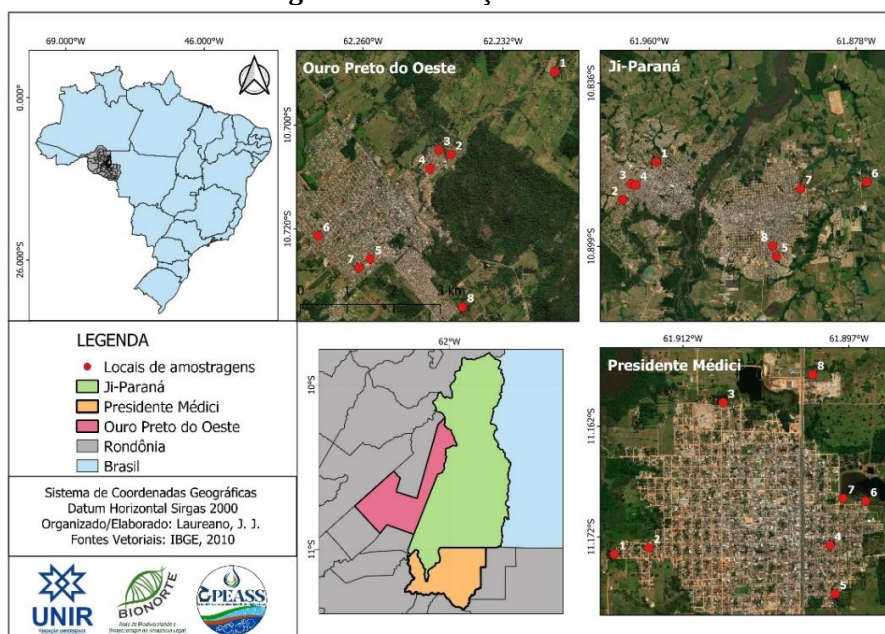
Os elementos-traços, estão presentes, sob diferentes formas químicas, nos principais compartimentos do ambiente (Mortatti et al., 2002). No Estado de Rondônia na água subterrânea foram relatados por Nascimento (2022), Ramos (2022), Martins (2011), Laureano et al. (2018), e Pavanello (2018), os autores encontraram concentrações Al, As, Pb, Fe, Ba e Mn acima do que a legislação brasileira considera seguro para o consumo humano.

Nesse sentido o objetivo do presente estudo foi investigar as concentrações de elementos traços na água subterrâneas de poços rasos nos municípios de Ouro Preto do Oeste, Ji-Paraná e Presidente Médici no estado de Rondônia, comparando os valores obtidos com os padrões estabelecidos pela Portaria (PRC nº05/2017, alterada pela Portaria GM/MS nº 888/2021) que dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano, e com a Resolução 396/CONAMA/2008, que dispõe sobre o enquadramento das águas subterrâneas, a fim de contribuir com o avanço do conhecimento científico nesta temática.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende 3 municípios situados na região central do Estado de Rondônia (Figura 1), no sudoeste da Amazônia, sendo eles o município de Ouro Preto do Oeste, possuindo 35.044 habitantes, Ji-Paraná, com população de 124.333 habitantes, e o município de Presidente Médici com 19.327 habitantes (IBGE, 2022).

Figura 1-Localização da área de estudo.



Fonte: Autores, (2024).

Foram selecionados 8 poços em cada município e realizadas duas coletas a fim de representar os períodos hidrológicos de águas baixas-AB (setembro/outubro 2023) e de águas altas-AA (fevereiro/2024), ressalta-se que na coleta do período de águas altas foram amostrados 7 poços em cada município, devido ao fato de não encontrar alguns participantes em casa no dia da coleta, e em 1 residência o poço havia secado. A coleta foi realizada diretamente do poço utilizando um coletor de profundidade específico para água de poços (CETESB, 2011). As amostras foram coletadas em garrafas de água mineral de 500 mL, lacradas no momento da coleta a água mineral foi descartada e a garrafa “rinsada” com a água do ponto de coleta, as amostras foram refrigeradas e transportadas para o laboratório de Limnologia e Microbiologia da Universidade Federal de Rondônia-UNIR, de Ji-Paraná.

As amostras brutas destinadas à análise dos elementos-traços foram acondicionadas em tubos *falcon* de 15 mL e acidificadas com 100 µL de ácido nítrico, mantidas refrigeradas e transportadas até o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer da Universidade Federal de Rondônia-UNIR, onde foram analisadas através da técnica de Espectrômetria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES Optima 8300/Perkim Elmer), com amostrador automático S10. Usando o *software* Perkin Elmer WinLab 32 para ICP versão 5.5.0.0174. A curva de calibração foi obtida nas seguintes concentrações: 20, 40, 80, 200, 400, 800, 1200 µg.L⁻¹. Dois controles em branco foram utilizados para controlar a qualidade analítica dos resultados. As concentrações de elementos-traços analisados foram: alumínio (Al), arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), manganês (Mn), chumbo (Pb), zinco (Zn), Bário (Ba), cobalto (Co), cobre (Cr), prata (Ag), berílio (Be), molibdênio (Mo), antimônio (Sb), estanho (Sn), estrôncio (Sn), vanádio (V), níquel (Ni).

3 RESULTADOS

Os elementos-traços são os elementos químicos que ocorrem na natureza, em pequenas concentrações inferior a 0,1% (Esteves, 2011). Também conhecidos como metais pesados, micronutrientes, elementos essenciais, etc (Esteves, 2011). O arsênio (As) é classificado como metalóide (semimetal) por apresentar propriedades metálicas e não metálicas (Csuros & Csuros, 2002).

Dos 17 elementos-traços avaliados foram detectadas concentrações de 12 na água subterrânea (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn). Na Tabela 1 estão resumidos os principais resultados (média, desvio padrão, mínimo e máximo) encontrados para os elementos-traços no município de Ouro Preto do Oeste no período representativo de águas baixas-AB e do período de águas altas-AA, e os valores permitidos nas legislações, a Portaria nº 888/2021

do Ministério da Saúde e a CONAMA n° 396/2008 estabelecem os mesmos valores máximos, exceto para os elementos cádmio, níquel e vanádio que diferem entre as legislações.

Tabela 1- Valores médios, desvio padrão, mínimos e máximos das concentrações de elementos-traços ($\mu\text{g.L}^{-1}$) encontrados em Ouro Preto do Oeste nos períodos avaliados.

	Águas baixas				Águas altas				Port. MS (888/2021)	CONAMA (396/2008)
	Méd	DP	Min	Max	Méd	DP	Min	Max		
Al	104,33	66,33	14,56	204,20	88,70	125,55	22,35	369,30	200	200
As	7,81	2,77	2,53	11,82	0,00	0,00	0,00	0,00	10	10
Ba	311,98	319,60	76,87	1.067,00	160,22	85,87	41,77	271,60	700	700
Cd	5,69	0,19	5,51	6,00	7,95	0,10	7,83	8,15	3	5
Cr	7,81	5,93	0,00	19,50	1,43	0,79	0,53	2,91	50	50
Cu	8,68	19,54	0,95	57,01	3,39	2,20	1,60	8,17	2000	2000
Fe	421,76	801,67	0,00	2.301,00	162,50	300,86	0,00	808,10	300	300
Mn	103,18	159,07	16,93	474,20	50,68	49,16	13,85	122,30	100	100
Ni	3,07	1,71	0,65	5,13	1,72	1,59	0,21	4,82	70	20
Pb	10,17	5,00	3,52	18,20	0,75	1,71	0,00	4,58	10	10
V	10,40	2,04	6,85	12,80	13,57	0,61	12,82	14,44		50
Zn	41,20	37,50	9,28	109,90	24,73	8,43	15,80	35,56	5000	5000

Fonte: Autores, (2024).

No município de Ouro Preto do Oeste (Tabela 1) os elementos-traços acima do valor máximo permitido no período de águas baixas foram Al, As e Ba em 12,5% dos poços avaliados (1 poço), com valores de 204,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 11,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 1.067 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente, superiores aos VMP de (200 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 700 $\mu\text{g.L}^{-1}$). O ferro e o manganês em 25% dos pontos (2 poços) esteve acima do VMP (300 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e 100 $\mu\text{g.L}^{-1}$) apresentando valor máximo de 2.301 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 474,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$. E o chumbo esteve acima de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ estabelecida em ambas as legislações em 37,50% (3 poços) com valor máximo de 18,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

No período de águas altas (AA) Al e Fe apresentaram valores acima de (200 $\mu\text{g.L}^{-1}$, 300 $\mu\text{g.L}^{-1}$) em apenas um poço, com valores de 369,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 808,10 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente (Tabela 1). O Mn foi detectado acima do VMP em 2 poços (28,57%) com valor máximo de 122,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$. O cádmio no município de Ouro Preto do Oeste em ambos os períodos esteve acima do VMP (3 $\mu\text{g.L}^{-1}$) estabelecido na Portaria n° 888 do MS/2021 em 100% dos poços avaliados com valor máximo de 8,15 $\mu\text{g.L}^{-1}$, a CONAMA 396/2008 permite o valor máximo de 5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de cádmio na água destinada ao consumo humano.

No município de Ji-Paraná (Tabela 2) os elementos-traços que estiveram em desconformidade no período de AB foram o Fe (1 poço) com valor de 1.333 $\mu\text{g.L}^{-1}$, Al e Mn em 37,5% dos poços (3 poços) com valores máximo de 407,60 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 215,50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente. No período de AA o Al e Fe apresentaram concentrações acima de 200 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 300 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em 1 poço, com valores de 204,90 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 1.072 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Tabela 2), já o manganês esteve acima do VMP (100 $\mu\text{g.L}^{-1}$) em 42,80% (3 poços) o valor máximo foi de 173,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Foram observadas concentrações de Cd acima do VMP em 100% dos poços em ambos os períodos avaliados (máx 8,20 $\mu\text{g.L}^{-1}$).

Tabela 2- Valores médios, desvio padrão, mínimos e máximos das concentrações de elementos-traços ($\mu\text{g.L}^{-1}$) encontrados em Ji-Paraná nos períodos avaliados.

	Águas baixas				Águas altas				Port. MS (888/2021)	CONAMA (396/2008)
	Méd	DP	Min	Max	Méd	DP	Min	Max		
Al	135,46	136,97	19,48	407,60	106,57	53,29	53,41	204,90	200	200
As	5,21	2,63	0,64	8,61	0,15	0,38	0,00	1,02	10	10
Ba	149,63	112,24	14,19	330,00	126,15	117,37	14,69	324,30	700	700
Cd	5,80	0,13	5,64	6,07	8,05	0,14	7,83	8,20	3	5
Cr	6,92	6,05	0,00	17,30	1,47	0,76	0,50	2,39	50	50
Cu	2,40	1,21	1,05	3,96	4,16	1,80	2,43	7,76	2000	2000
Fe	185,33	464,27	0,00	1.333,00	171,82	399,85	0,00	1.072,00	300	300
Mn	91,97	72,31	21,41	215,50	79,70	54,82	18,53	173,70	100	100
Ni	4,02	5,71	1,19	18,10	2,41	0,72	1,70	3,29	70	20
Pb	4,02	3,52	0,00	8,77	0,00	0,00	0,00	0,00	10	10
V	11,66	1,10	9,67	13,09	15,57	0,90	14,40	16,96		50
Zn	23,29	15,96	9,10	59,25	95,95	77,90	20,40	255,60	5000	5000

Fonte: Autores, (2024).

No município de Presidente Médici (Tabela 3) no período de AB estiveram acima do VMP em um poço As e Fe com valores de $13,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $300,70 \mu\text{g.L}^{-1}$, Mn em 37,5% (3 poços) o valor máximo encontrado no período foi de $995,6 \mu\text{g.L}^{-1}$, já o Al e o Pb foram encontrados em concentrações acima do VMP ($200 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $10 \mu\text{g.L}^{-1}$) em 62,50% dos poços avaliados (5 poços) com valores máximos de $863,20 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $38,28 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente.

Tabela 3- Valores médios, desvio padrão, mínimos e máximos das concentrações de elementos-traços ($\mu\text{g.L}^{-1}$) encontrados em Presidente Médici nos períodos avaliados.

	Águas baixas				Águas altas				Port MS (888/2021)	CONAM A (396/2008)
	Méd	DP	Min	Max	Méd	DP	Min	Max		
Al	371,99	299,69	50,94	863,20	171,11	176,08	23,68	511,10	200	200
As	7,06	3,18	3,34	13,05	0,58	1,38	0,00	3,71	10	10
Ba	174,78	134,17	39,45	386,10	140,20	92,34	46,70	302,70	700	700
Cd	5,81	0,17	5,60	6,07	8,07	0,16	7,84	8,29	3	5
Cr	10,31	5,61	0,17	16,30	1,74	0,74	1,02	3,03	50	50
Cu	3,31	1,24	1,17	4,93	2,74	0,62	1,97	3,84	2000	2000
Fe	92,24	117,31	0,00	300,70	0,17	0,32	0,00	0,82	300	300
Mn	204,95	325,44	14,95	995,60	171,96	233,61	43,60	686,30	100	100
Ni	4,38	2,56	1,59	7,78	2,48	1,14	0,67	3,86	70	20
Pb	16,09	11,58	2,56	38,28	0,14	0,37	0,00	0,98	10	10
V	11,31	1,24	8,65	12,52	13,84	1,05	12,21	15,10		50
Zn	35,57	17,97	19,76	67,45	47,33	28,44	22,75	107,10	5000	5000

Fonte: Autores, (2024).

No período de AA o Al e Mn apresentaram se acima do VMP em 28,5% dos poços avaliados (2 poços), com valores máximos de $511,10 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $686,30 \mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente. Assim como ocorreu em Ouro Preto do Oeste e em Ji-Paraná, em 100% dos poços avaliados em Presidente Médici, nos dois períodos apresentaram concentrações de Cd acima do VMP de $3 \mu\text{g.L}^{-1}$, o valor máximo ocorrido no município de $8,28 \mu\text{g.L}^{-1}$, cerca de 2,7x o VMP.

Ao todo foram encontrados nos 3 municípios 7 elementos traços acima do valor máximo permitido pela Portaria nº 888 do MS e CONAMA 396/2008 (Ba, As, Fe, Mn, Pb, Al, Cd).

Anteriormente outros estudos descreveram a presença de elementos-traços na água subterrânea em Rondônia. Em Ji-Paraná na área do lixão desativado Martins (2011) encontrou

valores de ferro acima do VMP em 15% das amostras avaliadas o valor máximo encontrado foi de 420,96 $\mu\text{g.L}^{-1}$, o chumbo apresentou contaminação pontual com valor de 12,69 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Nascimento (2022) em Ji-Paraná encontrou o Fe em desconformidade em 10% das amostras (máx. 387,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Também em Ji-Paraná Ramos (2022) encontrou concentrações de Al em desconformidade em 20% dos poços no período de chuva (máx. de 680,8 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e de seca 13,4% (máx. 506 $\mu\text{g.L}^{-1}$), as concentrações de Ba (1.131 $\mu\text{g.L}^{-1}$), Fe (3.492 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e Pb (13,22 $\mu\text{g.L}^{-1}$) ocorreram de maneira pontual.

No município de Presidente Médici Laureano et al. (2018) encontraram concentrações acima do VMP em 30% dos poços avaliados para Al (11,59 a 2.236 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e Mn (27,35 a 1.963 $\mu\text{g.L}^{-1}$), ocorreram em desconformidade de maneira pontual o Ba (872,70 $\mu\text{g.L}^{-1}$), As (26,34 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e Pb (36,07 $\mu\text{g.L}^{-1}$).

No município de Ouro Preto do Oeste Pavanello (2018), encontrou concentrações média de alumínio de 1.161,17 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período seco, e 3.295,50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso, e manganês no período seco de 360,16 $\mu\text{g.L}^{-1}$, e chuvoso de 259,36 $\mu\text{g.L}^{-1}$. O Pb apresentou desconformidade em 20% dos poços avaliados no período chuvoso (máx 97,07 $\mu\text{g.L}^{-1}$), já no período seco apenas um ponto apresentou concentração de 52,19 $\mu\text{g.L}^{-1}$, superior ao VMP (10 $\mu\text{g.L}^{-1}$). O As também apresentou contaminação pontual com valor de 227,40 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na seca e 171,90 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso.

Na presente pesquisa o Ba apresentou contaminação pontual com valor de 1.067 $\mu\text{g.L}^{-1}$, (VMP 700 $\mu\text{g.L}^{-1}$). Porém não deixa de ser preocupante visto que se consumido em excesso pode causar bloqueio nervoso, e aumento da pressão sanguínea por vasoconstrição (Santos, 2008). Elementos tóxicos e carcinogênicos, como Ba, Cd e o As podem induzir a doenças se houver uma ingestão continuada de água com excesso destas substâncias (Santos, 2008).

O arsênio apresentou concentrações acima do VMP em 4,44% dos poços (2 poços). O arsênio é um carcinogênico humano, associado com tumores de pele, pulmões e bexiga, e possivelmente de rim, fígado e próstata (Klaassen & Watkins, 2012). A intoxicação crônica por altas concentrações de Arsênio inorgânico de ocorrência natural em água potável é um grande problema de saúde em muitas partes do mundo (Klaassen & Watkins, 2012). Riscos aumentados de câncer de pulmão e bexiga e de lesões cutâneas foram associadas à ingestão de água potável em concentrações inferiores a 50 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (OMS, 2017). Segundo Baris et al. (2016) o consumo de água de poços privados, com concentrações de arsênio (<3,8-124,8 mg<) foi associado com o aumento do risco de câncer de bexiga nos Estados Unidos.

O chumbo é um metal tóxico detectável em praticamente todas as fases do ambiente inerte e em todos os sistemas biológicos ((Klaassen & Watkins, 2012). Podendo acumular-se

nos tecidos animais e humanos em níveis tóxicos (FERNICOLA, et al., 2003). Na presente pesquisa o chumbo foi detectado em concentrações acima do VMP ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$) em 17,77% (8 poços). A exposição ao chumbo está associada a efeitos no desenvolvimento neurológico, mortalidade por doenças cardiovasculares, comprometimento renal, hipertensão, fertilidade prejudicada e resultados adversos na gravidez (OMS, 2017). Além disso o chumbo é um carcinógeno do grupo 2B (possivelmente carcinogênico para seres humanos) que pode induzir tumores do sistema respiratório e digestório ((Klaassen & Watkins, 2012).

Com relação ao alumínio, este foi encontrado em 28,90% dos pontos amostrados (13 poços). Esses resultados podem ter origem natural, uma vez que no estado de Rondônia cerca de 58% dos solos são Latossolos, apresentam $\text{pH} < 5,5$, e pode ocorrer altos teores de alumínio (Schlindwein et al., 2012). Segundo a OMS a contribuição da água potável para a exposição oral total ao alumínio é inferior a 5% (OMS, 2017). No entanto estudos relatam relação positiva entre a exposição ao alumínio na água potável como fator de risco para o desenvolvimento/aceleração da doença de Alzheimer em humanos (OMS, 2017; Mirza et al., 2017). Além disso o alumínio pode provocar efeitos tóxicos em seres humanos nos rins, pulmão, ossos, sistema nervoso central e produzir efeitos no desenvolvimento (Klaassen & Watkins, 2012).

Devido a formação dos solos em Rondônia ser majoritariamente de Latossolos e Argissolos, e serem ácidos é comum a presença de ferro e manganês (Barbosa et al., 2011; Shinzato et al., 2010). O ferro nesse estudo esteve em desconformidade em 13,33% dos poços analisados (6 poços), e o manganês em 15,55% (7 poços). O manganês é um dos metais mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo geralmente com o ferro (OMS, 2017).

Elementos-traços como Fe, Mn, são essenciais aos seres vivos, em pequenas concentrações, mas em grandes concentrações, podem apresentar toxicidade (Esteves, 2011). O Fe pode ser tóxico para o sistema nervoso central, digestório, pulmões, fígado e no sangue, o Mn pode ser tóxico para o sistema nervoso central e os pulmões (Klaassen & Watkins, 2012).

O cádmio é um elemento relativamente raro na natureza encontra-se nos minerais de zinco de 0,1 a 0,3% (Santos, 2008). No entanto é um dos elementos mais tóxicos, tendo ação cumulativa sobre o organismo humano (FERNICOLA, et al., 2003, Santos, 2008). Os principais efeitos tóxicos a longo prazo são danos renais, no sistema nervoso central, fígado, doença pulmonares obstrutivas, osteoporose e doenças cardiovasculares ((Klaassen & Watkins, 2012).

A presença do cádmio foi observada em 100% dos poços avaliados acima do valor máximo permitido ($3 \mu\text{g.L}^{-1}$) pela Portaria MS 888/2021, que é mais restritiva que a CONAMA 396/2008 ($5 \mu\text{g.L}^{-1}$), em alguns casos a contaminação chega a ser cerca de 2,7x maior que o limite aceitável. Resultados como esse evidenciam que as águas dos poços avaliados não

apresentam condições satisfatórias para o abastecimento de água potável, podendo até comprometer a saúde da população que a consome devido a presença de substâncias tóxicas e potencialmente carcinogênica.

4 CONCLUSÃO

Ao todo foram analisados 45 poços (8 em cada município no período de AB, e 7 no período de AA) distribuídos em 3 municípios (Ouro Preto do Oeste, Ji-Paraná e Presidente Médici) no estado de Rondônia. E foram encontrados 7 elementos-traços acima do valor máximo permitido pela legislação, Ba (2,22%), As (4,44%), Fe (13,33%), Mn (15,55%), Pb (17,77%), Al (28,90%), e o Cd em 100% dos poços avaliados. Portanto conclui-se que a água subterrânea avaliada no presente estudo encontra-se imprópria para o consumo humano, devido a presença de elementos-traços acima do valor permitido pelas legislações brasileira.

Os resultados aqui expostos são de extrema relevância, a fim de subsidiar ações do poder público voltadas a solucionar o problema da contaminação uma vez que a mesma apresenta relação com a saúde humana com reflexo diretos na qualidade de vida da população que a consome. Ressalta-se ainda que de acordo com o Art. 4º da Portaria GM/MS nº 888/2021- toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Por fim recomenda-se que haja o monitoramento contínuo da qualidade da água subterrânea, e a instalação do sistema de distribuição de água tratada, devido as concentrações de elementos-traço encontradas na água e o seu potencial risco a saúde humana.

AGRADECIMENTOS

À CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo recurso financeiro para realização do evento. E a FAPERO – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Rondônia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. (2021). **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília-DF, 332p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. (2022). **As águas subterrâneas na política nacional de recursos hídricos**. Brasília-DF, 220p.

BARBOZA, E., MOLINE, E. F., SCHLINDWEIN, J. A., FARIAS, E. A. P., BRASILINO, M. F. (2011). Fertilidade dos solos em Rondônia . **Enciclopédia Biosfera**, vol 7 n (13). <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4146>

BARIS, D. WADDELL, R., FREEMAN, L.E. B., SCHWENN, M., COLT, J.S., AYOTTE, J.D., WARD, M.H., NUCKOLS, J., SCHNED, A., JACKSON, B., CLERKIN, C., ROTHMAN, N., MOORE, L.E., TAYLOR, A., ROBINSON, G., HOSAIN, G.M., ARMENTI, K.R., MCCOY, R., SAMANIC, C., HOOVER, R.N., FRAUMENI, J.F JR., JOHNSON, A., KARAGAS, M.R., SILVERMAN, D.T. (2016). Elevated Bladder Cancer in Northern New England: The Role of Drinking Water and Arsenic. **J Natl Cancer Inst.** 108(9):djw099. doi: 10.1093/jnci/djw099

BRASIL. (2021). Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde (MS). **Diário Oficial da União**, 07 maio de 2021.

BRASIL. Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da União**, n. 66, 7 abr, 2008, 66p.

BERROCAL, R. A., HYPOLITO, R., EZAKI. (2013) Comportamento de íons de metais pesados (Pb e Ni) e de compostos nitrogenados em área industrial impactada no município de Cubatão-SP. **Revista Águas Subterrâneas** (2013) 27 (1) p. 19-36
DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v27i1.25566>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB. (2011). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Organizadores: Carlos Jesus Brandão, et al. São Paulo: CETESB; Brasília: Agência Nacional de Águas-ANA. p. 326.

CSUROS, M., CSUROS, C. (2002). Environmental Sampling and Analysis for Metals (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420032345>

ESTEVES, F. A. (2011). **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Editora Interciência, v. 3 edição, Reimpressão: Rio de Janeiro, 2011.

FERNICOLA, N. A. G.G., BOHRER-MOREL, M. B. C., BAINY, A. C. D. Ecotoxicologia. In. AZEVEDO, F. A., MATTA, A. A. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. Editora RIMA, 2003, São Paulo, 340p.

FREITAS, M. B., BRILHANTE, O. M., ALMEIDA, L. M. (2001). Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cadernos de Saúde Pública. Rio de Janeiro**, v.17 (3): p. 651-660, (2001). doi/10.1590/S0102-311X2001000300019

FOSTER, S. (2020). Global Policy Overview of Groundwater in Urban Development—A Tale of 10 Cities! **Water**, 12, 456. <https://doi.org/10.3390/w12020456>

FOSTER, S.; HIRATA, R.; EICHHOLZ, M.; ALAM, M.-F. (2022) Urban Self-Supply from Groundwater—an Analysis of Management Aspects and Policy Needs. **Water** 2022, 14, 575. doi.org/10.3390/w14040575

GUIDELINES FOR DRINKING. (2017). Water quality: fourth edition incorporating the first addendum. ISBN 978-92-4-154995-0. **World Health Organization-WHO**. 631p.

HIRATA, R.; CONICELLI, B. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 2, p. 297-312, (2012). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0001-37652012005000037>.

HIRATA, C.A.R. & FERREIRA, L.M.R. Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, Vol. 31, pp.43-50, 2001.

HIRATA, R., SUHOGUSOFF, A. V. (2019). How much do we know about the groundwater quality and its impact on Brazilian society today? **Revista Acta Limnologica Brasiliensia**, 2019, vol. 31, e109 doi:10.1590/s2179-975x4419

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. (2019). **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE (2022). Cidades. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

KLAASSEN, C. D ., WATKINS, J. B. **Fundamentos em Toxicologia de Casarett e Doull**. 2. ed. -Porto Alegre: AMGH editora Ltda, artmed, 2012. p. 460.

LAUREANO, J. J., RAMOS, C. F., PAVANELLO, L. F. S., MENDONÇA, A., FERREIRA, R. F., COSTA JUNIOR, W. A., ROSA, A. L. D., GOMES, J. P. O., BASTOS, W. R., NASCIMENTO, E. L. (2018). Contaminação da água subterrânea por metais pesados na cidade de Presidente Médici, Rondônia. In: **XV Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia**, 2018, Aracaju, SE. XV Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia.

MARTINS, I. A. V. (2011). **Análise dos impactos ambientais decorrentes do lixão inativo do município de Ji-Paraná, sobre a qualidade das águas subterrâneas do seu entorno, bairro Boa Esperança**. Universidade Federal de Rondônia Departamento de Engenharia Ambiental. Monografia. 84p.

MIRZA, A., KING, A., TROAKES, C., EXLEY, C. (2017). Aluminium in brain tissue in familial Alzheimer's disease. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**. Volume 40, Pages 30-36, <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.12.001>.

MORTATTI, J., BERNARDES, M. C., PROBST, J. L., LELEYTER-REINERT, L. (2002). Composição química dos sedimentos fluviais em suspensão na bacia do rio Piracicaba: extração seletiva de elementos traço. **Geochimica Brasiliensis**. Vol 16 (2) p.123-141.

NASCIMENTO, E. L. (2022). **Ensaio de toxicidade e avaliação química da água subterrânea de áreas potencialmente contaminadas do Estado de Rondônia: uma abordagem para avaliação de risco**. Universidade de São Paulo-USP. (Relatório Final Pós-doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental-PPG-SEA. 76p.

PAVANELLO, L. F. S. (2018). **Qualidade da água subterrânea no município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia**. Ji-Paraná-RO, UNIR, 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia.

RAMOS, C. F. (2022). **Qualidade da água subterrânea da microbacia do Igarapé Dois de Abril** (Ji-Paraná/RO): proposta de plano de ação com enfoque ambiental e de saúde pública. Ji-Paraná-RO, UNIR, Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos), Universidade Federal de Rondônia, 2022.

RIBEIRO, P. G., PEREIRA, I., SANTOS, C. C. A., FRANCO, C. S., MARQUES, R. F. P. V. (2019). Qualidade da água subterrânea e tratamento simplificado para abastecimento humano do Instituto Eterna Misericórdia de Lavras- MG. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis, v.8, n.3, p. 566-581. doi: 10.19177/rgsa.v8e32019566-581

SANTOS, A. C. Qualidade das águas subterrâneas. In: FERNANDO A. C. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3º ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p.812.

SHINZATO, E., TEXEIRA, W. G., MENDES, A. M. (2010). Solos. In AMILCAR, A. **Geodiversidade do estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade**. – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Porto Velho. 337p.

SCHLINDWEIN, J. A., MARCOLAN, A. L., FIORELI-PERIRA, E. C., PEQUENO, P. L. L., MILITÃO, J. S. T. L. (2012). Solos de Rondônia: uso e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 1, n. 1.

SILVA, M. P.; SILVA, L. R.; LIESENFELD, K. A.; MARTINI, L.; KEMERICH, P. D. C.; FILHO, L. L. V. D.; FERNANDES, G. D. Vulnerabilidade do Aquífero nas Proximidades do Cemitério Municipal de Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ. Vol. 40 - 1 / 2017 p. 206-216

TUNDISI, J.G; TUNDISI, T.M. (2011). **Recursos Hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

UECHI, D. A., GABAS, S. G., LASTORIA, G. (2017). Análise de metais pesados no Sistema Aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul. **Revista de Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22 (01) (2017) DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016142430>