

Nitrato, Qualidade Microbiológica das Águas Subterrâneas e Falhas no Esgotamento Sanitário de Municípios do Oeste da Bahia, Brasil

Nitrate, Microbiological Quality of Groundwater and Sanitary Sewage Failures in Municipalities of Western Bahia, Brazil

Manuel Vitor Portugal Gonçalves^{1,2*}, Manoel Jerônimo Moreira Cruz², Rodrigo Alves Santos², Sérgio Augusto de Moraes Nascimento², Débora da Luz Porciúncula¹, Flávio Souza Batista²

RESUMO

Esta pesquisa pretendeu investigar os impactos ambientais negativos das falhas do esgotamento sanitário na qualidade química e microbiológica das águas subterrâneas de municípios do Oeste da Bahia, Brasil. Coletou-se amostras de águas subterrâneas de 65 poços dispostos nas rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, em períodos sazonais distintos e mensurou-se as variáveis físico-químicas *in situ*. Realizaram-se a leituras de ânions, de cátions (ICP-OES) e a quantificação de coliformes (NMP). As águas bicarbonatadas cálcicas (54%) e mistas cálcicas (17%) representaram o período chuvoso e águas mistas cálcicas (22%) e cloretadas cálcicas (12%) representaram as amostras da estiagem. Obteve-se restrições de potabilidade para as seguintes variáveis hidroquímicas: Ca^{2+} (73%), Al^{3+} (73%), N-NO_3^- (21%), Cd^{2+} (8%), Fe total (7%), DT (7%), STD (5%), Na^+ (4%), Cl^- (8%), Mn^{2+} (4%) e Ba^{2+} (2%). A quantificação de coliformes termotolerantes indicou a perda da qualidade de 26,83% das amostras de água subterrânea e de cisternas de captação de águas meteóricas. As restrições de potabilidade para o nitrato e de indicadores microbiológicos das águas dos municípios do Oeste da Bahia decorreram principalmente de falhas do esgotamento sanitário.

Palavras-chave: Hidrogeoquímica; Fossa Rudimentar; Saneamento; Coliformes; Dignidade Humana.

ABSTRACT

This research aimed to investigate the negative environmental impacts of sewage failures on the chemical and microbiological quality of groundwater in municipalities in Western Bahia, Brazil. Groundwater samples were collected from 65 wells arranged in the carbonate rocks of the Bambuí Group, in different seasonal periods, and the physical-chemical variables measured *in situ*. Readings of anions, of cations (ICP-OES) and quantification of coliforms (MPN) were performed. The calcium bicarbonate waters (54%) and calcium mixed waters (17%) represented the rainy season and calcium mixed waters (22%) and chlorinated calcium waters (12%) represented the dry season samples. Potability restrictions were obtained for the following hydrochemical variables: Ca^{2+} (73%), Al^{3+} (73%), N-NO_3^- (21%), Cd^{2+} (8%), Fe total (7%), TH (7%), TDS (5%), Na^+ (4%), Cl^- (8%), Mn^{2+} (4%) e Ba^{2+} (2%). The quantification of thermotolerant coliforms indicated the loss of quality in 26.83% of groundwater samples and meteoric water cisterns. The potability restrictions for nitrate and microbiological indicators in the waters of the municipalities of Western Bahia resulted mainly from sanitary sewage failures.

Keywords: Hydrogeochemistry; Rudimentary Trench; Sanitation; Coliforms; Human dignity.

¹ PPG Território, Ambiente e Sociedade, Universidade Católica do Salvador (UCSAL).

² PPG em Geologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA).

*E-mail: manuel.goncalves@pro.ucsal.br.

INTRODUÇÃO

Os gestores dos usos da água entendem que as águas superficiais e subterrâneas podem conter substâncias dissolvidas em níveis tóxicos de origem natural ou decorrente das atividades humanas, a julgar pela poluição das águas por nitrato (REBOUÇAS, 2006). Reybolds-Vargas, Fraile-Meino e Hirata (2006) consideram que o nitrato é dos poluentes mais estudados na água subterrânea, relacionando-o às fontes pontuais ou difusas.

Com isso, destacam-se, dentre as fontes de nitrato que poluem os aquíferos, o uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura, a pecuária, os usos da terra, o lançamento de efluentes líquidos domésticos e industriais e a deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011). Ademais, as falhas do saneamento e o uso fertilizantes agrícolas representam as mais relevantes fontes de nitrato para as águas (XU *et al.*, 2007; NESTLER *et al.*, 2011).

A agricultura intensiva e tecnificada, hoje praticada em escala planetária, para além dos evidentes benefícios, como a manutenção do suprimento alimentar, ocasiona problemas aos ecossistemas, a exemplo da poluição das águas por nitrato (RESENDE, 2002). Isto porque o nitrogênio é basilar ao metabolismo celular das plantas, sendo o insumo mais usado na adubação química e nos sistemas de cultivo intensivos (JADOSKI *et al.*, 2010). Malavolta e Moraes (2006) e Feitosa e Manoel Filho (2008) apontam que o nitrato de atividades agrícolas é o principal composto de nitrogênio que poluem as águas.

Destaca-se que a presença de altos níveis de nitrato nas águas de abastecimento público pode indicar a poluição decorrente das falhas no saneamento (GONÇALVES *et al.*, 2018). Varnier *et al.* (2010) ressaltam que os níveis do nitrato variam de 0,1 a 5,0 mg.L⁻¹ água subterrânea não poluída, mas que excedem 200 mg.L⁻¹ na água poluída em função de inadequações no saneamento. Por isso, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) preconiza o limite de potabilidade para o nitrato de 10 mg.L⁻¹.

Foster e Hirata (1988) destacam a importância poluição associadas às falhas no esgotamento sanitário, onde o líquido que percola pelas fossas sépticas e rudimentares para os solos e aquífero transporta nitrato e outros sais que poluem a água subterrânea, e um número expressivo de microrganismos entéricos, que podem contemplar patógenos. Cappi *et al.* (2011) e Martins Mendonça *et al.* (2017) compreendem que o acesso à água potável e ao saneamento reduzem a prevalência e a incidência de infecções de veiculação hídrica e o monitoramento da qualidade das águas auxilia na promoção da saúde.

Hespanhol (2006) e Castro, Heller e Morais (2015) ressaltam que a população, ou classe social, quando desprovidas do saneamento expõem-se à injustiça socioambiental,

às assimetrias sociais e às ameaças à saúde e a não efetividade da garantia dos direitos sociais. Paiva e Souza (2018) entendem que parte das internações hospitalares e das mortes por doenças infectocontagiosas e parasitárias de veiculação hídrica poderiam ser evitadas desde que se destine investimento em educação, saúde e saneamento básico.

Neste sentido, as lutas pela água na América Latina podem ser relacionadas a crise socioambiental e as falhas do saneamento, de acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPA, 2011). Esta estimou, igualmente, que 40 milhões de pessoas não dispõem de água potável, 117 milhões de pessoas não dispõem de água potável ou de esgotamento sanitário adequado na América Latina e que 34 milhões de pessoas residem sob condição de vida precária e que defecam diretamente sobre os solos e nos corpos hídricos.

De Carvalho e Adolfo (2012) consideram que o acesso à água potável e ao saneamento são direitos fundamentais para a garantia da proteção social e ambiental. O direito fundamental à água potável representa um direito subjetivo passível de ser exigível, porque se vincula aos princípios da dignidade humana e do mínimo existencial ambiental (PES, 2019). Sarlet (2010) esclarece que o princípio do mínimo existencial ambiental contempla a sobrevivência física e o mínimo existencial sociocultural.

Neste contexto, destaca-se a relevância de investigações das relações entre a qualidade química e microbiológica das águas superficiais e das águas do Aquífero Bambuí, cárstico-fissural, no Oeste da Bahia, ao uso da terra e ao saneamento. Velásquez *et al.* (2006), Costa (2011), Costa *et al.* (2013), Coutinho (2014), Gonçalves *et al.* (2018a), Gonçalves *et al.* (2019), Gonçalves *et al.* (2020a), Gonçalves *et al.* (2020b), Gonçalves *et al.* (2022a) e Gonçalves *et al.* (2020b) estudaram a relação entre saúde e hidroquímica do Aquífero Bambuí, na Bahia e Minas Gerais, com ênfase nos níveis tóxicos do flúor na água e os riscos à saúde bucal e sistêmica relacionados ao consumo *in natura* da água.

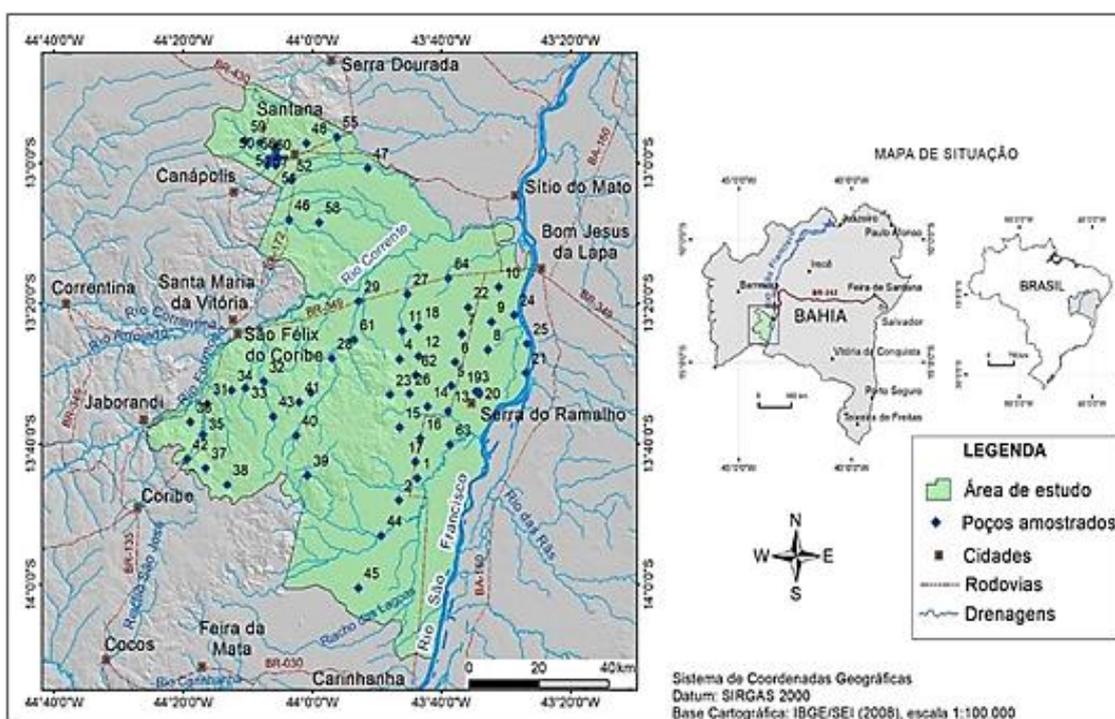
Gonçalves (2014), Carvalho (2018), Gonçalves *et al.* (2018b), Gonçalves *et al.* (2020), Batista *et al.* (2021) e Carvalho *et al.* (2022) realizaram estudos que tiveram como objeto a caracterização geoquímica e da qualidade das águas, e consideraram a poluição por nitrato das águas do Aquífero Bambuí, no Oeste da Bahia. Contudo, estas pesquisas não explicitam as interações entre a poluição por nitrato e a qualidade microbiológica da água do Aquífero Bambuí, na Bahia, e as desigualdades no acesso ao saneamento. Neste âmbito, esta pesquisa almejou investigar a hidrogeoquímica e os impactos ambientais das falhas do esgotamento sanitário na qualidade das águas subterrâneas dos municípios do Oeste da Bahia, Brasil, com ênfase na disposição espacial e poluição do nitrato.

ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, CLIMA E HIDROGEOLOGIA

A área de estudo contemplou os municípios de Carinhanha, Coribe, Santana, São Félix do Coribe e de Serra do Ramalho, situados no Oeste da Bahia, Brasil (Figura 1), que possuía em 2010, com base no Censo do IBGE (2010), uma população de 112.856 mil habitantes e um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 502.838.000. Os valores do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) nestes municípios do Oeste da Bahia indicavam um padrão de médio desenvolvimento humano, onde os valores do IDHM oscilavam, em 2010, no intervalo entre 0,576 (Carinhanha) a 0,669 (São Félix do Coribe).

A área pertence a província cárstica do Oeste da Bahia, Brasil, situada na faixa climática que varia entre subúmido a semiárido, com temperatura anual máxima de 31,7 °C e temperatura anual média de 25,6 °C (INMET, 2016). As precipitações distribuem-se de 900 a 1.010 mm/ano, com média de 949 mm/ano, em que o período de estiagem é bem definido entre os meses de maio e outubro e o período chuvoso entre novembro e abril e a aridez do clima acentua-se de oeste para leste, na direção do Rio São Francisco.

Figura 1 - Mapa de localização e situação da área de estudo, no Oeste da Bahia, Brasil.



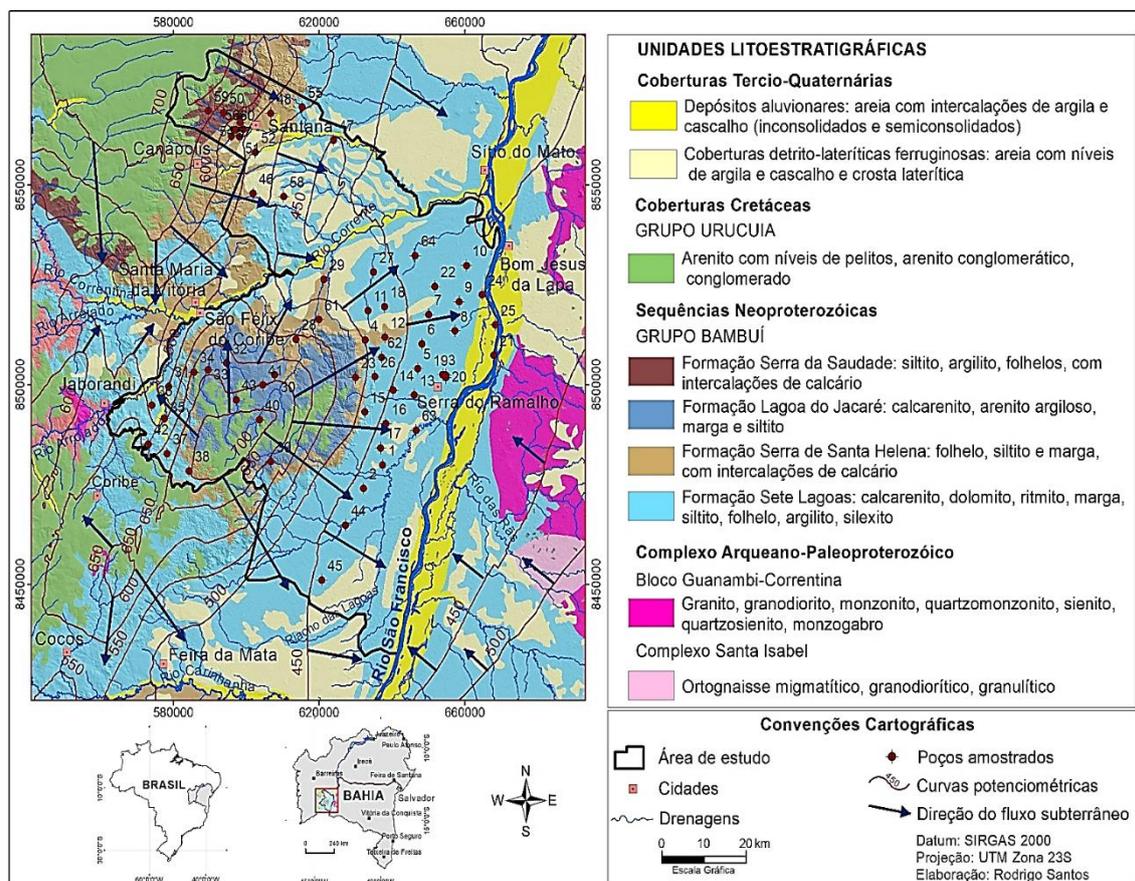
Fonte: Os autores, a partir das informações do IBGE/SEI (2008).

Na geologia local, observam-se afloramentos de rochas neoproterozóicas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, que se depositaram, segundo Misi *et al.* (2011), sobre o

embasamento gnáissico-migmatítico, de idade do Arqueano ao Paleoproterozóico. Estas rochas abrangem os calcários e os dolomitos que constituem as Formações Sete Lagoa e Lagoa do Jacaré, e os pelitos das Formações Serra de Santa Helena e Serra da Saudade (Figura 2). Estes domínios cársticos do Oeste da Bahia dispõem-se na megaprovíncia fluorítica, onde depósitos do mineral fluorita, ou a sua ocorrência de forma disseminada hospedam-se nas rochas do Grupo Bambuí (MISI *et al.*, 2000). Silva, Viglio e Quintarelli (2020) propuseram a megaprovíncia do flúor com ocorrência de flúor e risco de fluorose endêmica no médio curso do Rio São Francisco, que abrange a Bahia e Minas Gerais.

Os poços tubulares encontram-se dispostos nas rochas pelito-carbonáticas neoproterozóicas do Grupo Bambuí, que hospedam o Aquífero Bambuí, no Oeste da Bahia (Figura 2). Observa-se na hidrogeologia uma direção preferencial do fluxo das águas subterrâneas no sentido de oeste para leste da área de estudo, na direção do Rio São Francisco, considerado o nível de base regional, e a influência da Serra do Ramalho, um alto topográfico regional e relevante divisor de águas. Verifica-se, também, uma direção secundária de fluxo das águas de oeste a sudeste, que segue na direção do Rio Carinhanha.

Figura 2 - Mapa de distribuição das superfícies potenciométricas do Aquífero Bambuí, Bahia.



Fonte: Os autores (2022), a partir das informações do IBGE/SEI (2008).

As águas do Aquífero Bambuí complementam o abastecimento público no Oeste da Bahia, especialmente nas áreas periféricas, rurais e nos assentamentos, a exemplo das localidades de Mandiaçu, Mata Verde, Aldeia Pankaru e Taquari, no município de Serra do Ramalho, ou de Canabrava, Mocambo, Agrovila 23, em Carinhanha, ou de Campo Alegre e Mozondó, em São Félix do Coribe, ou de Descoberto, no município de Coribe, ou Caracol, Cedro, Gameleira, Lagoa das Pedras, Pedra Preta, no município de Santana. Nestas áreas, as populações residentes dispõem da captação e armazenamento das águas pluviais, uma alternativa ao abastecimento de água, contudo esta alternativa de acesso à água se mostra limitada em situação de estiagem prolongada e de seca meteorológica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Hidrogeoquímica e Qualidade da Água

Procedeu-se a coleta de amostras de água de 65 poços tubulares em dezembro de 2010 e novembro de 2011 (chuvoso) e julho de 2012 (estiagem) (Figura 2). Mensurou-se *in situ* as variáveis físico-químicas (pH, ORP, STD, CE) por sonda multiparâmetros (*Horiba U-50*) e tomou-se alíquotas em recipientes de polietileno (0,5 L; 1 L) e coletores estéreis, com tiosulfato de sódio, para as análises laboratoriais, segundo a APHA (1995). As alíquotas destinadas às análises de cátions (0,5 L) passaram por um filtro de acetato de celulose 0,45 µm e por adição de ácido nítrico até atingirem um pH < 2, e as alíquotas destinadas a leitura de ânions (1L) mantiveram-se *in natura* a uma temperatura de ± 4 °C.

A leitura dos cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Fe²⁺, Al³⁺, Mn²⁺, Ba²⁺) deu-se por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES 700 *Agilent Technologies*), em duplicatas, e 20% de triplicatas. A leitura de ânions deu-se por titrimetria (Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻) e espectrofotometria UV-VIS (*Varian*) (SO₄²⁻, N-NO₃⁻). Realizou-se o conjunto de análises nos laboratórios do Plasma e do Núcleo de Estudos Ambientais, no Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Análises Microbiológicas

A tomada de alíquotas de poços tubulares, cisternas de captação de água de chuvas e da Estação de Tratamento (ETA) para as análises microbiológicas contou com coletores plásticos estéreis, com tiosulfato de sódio, para quantificação dos coliformes totais e termotolerantes no Laboratório do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Adotou-se a quantificação do número mais provável (NMP) em 100 ml de água, com base

no caldo *Lauril Sulfato Triptose* (LST, *Acumedia*) no teste presuntivo ($\pm 35\text{ }^{\circ}\text{C}/48\text{ h}$), o caldo *Lactosado Bile Verde Brilhante* (LBVB, *Acumedia*) no teste confirmatório de coliformes totais ($\pm 35\text{ }^{\circ}\text{C}/48\text{ h}$) e o caldo *Escherichia coli* (EC, *Acumedia*) no teste confirmatório de coliformes termotolerantes (incubação a $44,5\text{ }^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$ em banho-maria).

Abordagem Estatística e Geoestatística

A análise estatística abrangeu análise descritiva, testes de normalidade (*Shapiro-Wilk*) e de comparações de dados paramétricos (*One-Way* - ANOVA) e não-paramétricos (*Kruskal-Wallis*), ao nível de significância de 0,5%. E, a análise geoestatística se baseou na técnica de interpolação por *krigagem* ordinária, com auxílio do programa ArcGis 10.3.

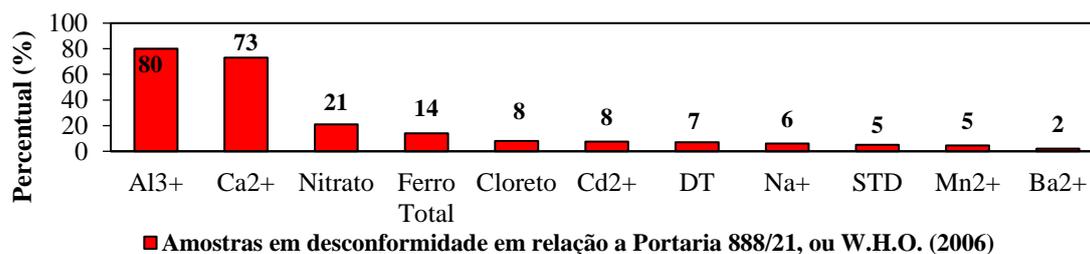
Realizou-se, ademais, a análise estatística de informações sobre o esgotamento sanitário e do índice de internações por diarreia por mil habitantes do último Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Procedeu-se a análise estatística de informações hidroquímicas de poços do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, uma seção do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), dispostos nos municípios de Bom Jesus da Lapa, Canápolis, Cocos, Feira da Mata, Santa Maria da Vitória, Serra Dourada e de Sítio do Mato. Este procedimento estatístico almeja uma melhor compreensão da magnitude do problema da poluição por nitrato das águas subterrâneas e de sua relação com o atendimento ao serviço de esgotamento sanitário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Hidrogeoquímica e Qualidade das Águas

Verificou-se restrições de potabilidade nas amostras de água subterrânea, com base no que dispõem a Portaria nº 888/21 (BRASIL, 2021) e a W.H.O (2011), que foram apresentadas, em ordem decrescente, a seguir, a seguir: Ca^{2+} ou de $\text{Al}^{3+} > \text{N-NO}_3^-$ (nitrato) $> \text{Cl}^-$ (cloreto) ou de $\text{Cd}^{2+} > \text{Fe Total}$, $\text{DT} > \text{STD} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ ou de Ba^{2+} (Figura 3).

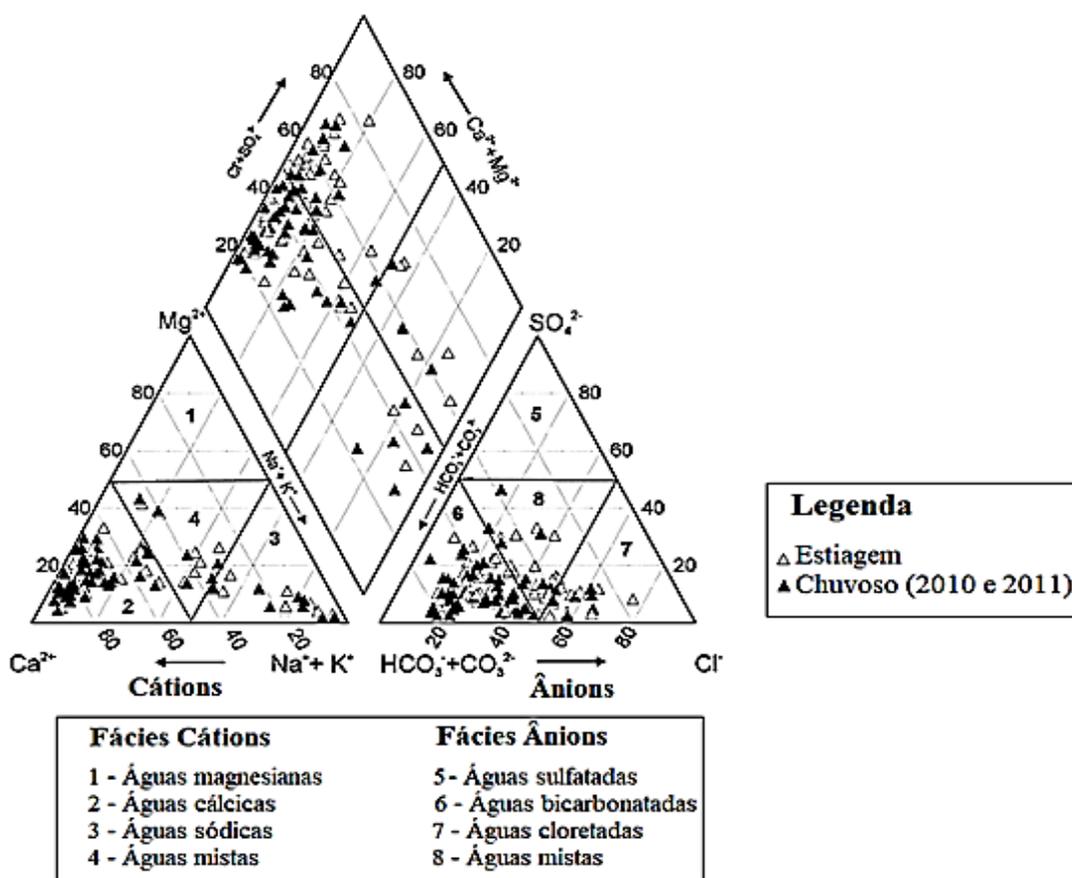
Figura 3 - Percentuais de amostras de água subterrânea que excederem o limite de potabilidade da Portaria 888/21 (BRASIL, 2021) ou a WHO (2011) para as variáveis hidroquímicas.



Fonte: Elaborado pelos autores, com base na pesquisa de campo.

Em relação a caracterização hidrogeoquímica, ressalta-se que o Diagrama de Piper permitiu a classificação do universo amostral, em que o conjunto das amostras do período chuvoso (2010 e 2011) foram reunidas nos tipos hidroquímicos das águas bicarbonatadas cálcicas (54%) e mistas cálcicas (17%). Enquanto que as amostras do período de estiagem (2012) pertenceram, especialmente, as classes das águas bicarbonatadas cálcicas (40%), das águas mistas cálcicas (22%) e das águas cloretadas cálcicas (12%) (Figura 4). Em adição, um percentual entre 26 e 29% das amostras pertenceram, em especial, aos tipos hidroquímicos das águas bicarbonatadas sódicas, cloretadas sódicas e das águas mistas.

Figura 4 - Diagrama de Piper (1944) para classificação das águas do Aquífero Bambuí, Bahia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Adotou-se a incerteza do balanço iônico de 10%, com base em Logan (1965), onde se observou que o conteúdo iônico das águas cálcicas foram apresentadas, em ordem decrescente, a seguir: $rCa^{2+} > rNa^+ > rMg^{2+} > rK^+$ e $rCO_3^{2-} - rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^{2-} > rNO_3^- > rF^-$ (Figura 4). Contudo, o conteúdo iônico das amostras das classes das águas sódicas apresentaram-se, em ordem decrescente, a seguir: $rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$.

Predominaram as águas alcalinas (88%) e as condições oxidantes (85%) nas amostras de água subterrâneas, onde as medianas do pH e do potencial de oxirredução

(ORP) nas amostras não diferiram sazonalmente, conforme o teste de *Kruskal-Wallis* ($p < 0,0001$) (Tabela 1). Contudo, verificou-se que as medianas das medidas dos STD das amostras diferiram sazonalmente, conforme o teste de *Kruskal-Wallis* ($p < 0,006$), mas as amostras de 2011 e 2012 não diferiram significativamente entre si ($p > 0,05$). Uma mesma conclusão pôde ser proposta para os valores das medianas da dureza total (DT) das amostras, uma vez que as medianas desta variável não diferiram sazonalmente ($p = 0,02$).

Tabela 1 - Resumo estatístico das medidas dos íons principais, nitrato e flureto nas águas do Aquífero Bambuí, Bahia, coletadas no período chuvoso (2010 e 2011) e na estiagem (2012).

a) Amostras de água subterrânea coletadas no período chuvoso de 2010 (n=44).

Estimadores Amostrais	mV			mg.L ⁻¹								
	pH	ORP	STD	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	F ⁻
Mínimo	6.60	-41.5	213.50	0.60	0.60	27.90	3.70	10.40	143.50	2.00	0.40	0.10
Máximo	8.10	93.00	1121.30	202.00	13.10	194.50	42.00	656.00	381.10	281.00	17.60	2.20
Média	7.20	43.90	450.40	31.40	2.50	110.90	16.80	105.80	253.80	49.10	5.97	0.60
Mediana	7.10	56.30	427.40	14.90	2.10	113.80	16.50	76.40	243.40	33.30	4.55	0.51
Desvio Padrão	0.40	43.30	166.80	6.80	0.30	6.60	1.40	19.60	10.30	8.40	4.80	0.50
Erro Padrão	0.10	6.80	26.40	6.80	0.30	6.60	1.40	19.60	10.30	8.40	0.80	0.10
Coefficiente de Correlação (%)	5.20	98.60	37.30	136.30	82.80	37.30	51.70	117.20	26.10	108.00	79.80	87.80
<i>Shapiro-Wilk</i> (valor de p)	0.004 ^B	0.01 _B	<0.01 ^B	0.20 ^A	0.01 ^B	0.27 ^A	0.02 _B	0.01 ^B	0.21 ^A	0.01 ^b	<0.01 ^B	0.01 ^B
Valor Máximo Permitido^C	6.5-9.5	-	1000.0	200.00	-	75.00	50.00	250.00	-	250.00	10.00	1.50

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Portaria MS n°. 888/21, ou W.H.O (2011).

b) Amostras coletadas no período chuvoso de 2011 (n=61).

Estimadores Amostrais	mV			mg.L ⁻¹								
	pH	ORP	STD	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	F ⁻
Mínimo	6.90	-181.0	186.00	1.90	0.40	5.90	1.20	12.10	82.40	8.10	0.10	0.10
Máximo	8.70	362.00	1407.3	245.40	5.30	220.50	40.70	460.00	427.10	236.20	15.00	5.80
Média	7.70	114.20	584.70	41.80	2.30	103.80	15.30	96.10	269.10	46.10	3.20	0.90
Mediana	7.70	138.00	533.50	19.50	2.10	108.50	14.10	79.20	276.50	34.60	2.10	0.50
Desvio Padrão	0.40	116.10	213.40	55.10	1.20	51.40	8.10	81.40	62.30	39.10	3.60	1.20
Erro Padrão	0.10	14.90	27.60	7.10	0.20	6.60	1.00	10.50	8.00	5.00	0.50	0.20
Coefficiente de Correlação (%)	5.70	101.70	36.50	131.90	51.40	49.50	52.80	84.70	23.20	84.80	110.20	133.0
<i>Shapiro-Wilk</i> (valor de p)	0.2 ^A	0.04	<0.01 ^B	<0.01 ^B	0.002 ^B	0.09 ^A	0.04 ^B	<0.01 ^B	0.09 ^A	<0.01 ^B	<0.01 ^B	<0.01 ^B
Valor Máximo Permitido^C	6.5-9.5	-	1000.0	200.00	-	75.00	50.00	250.00	-	250.00	10.00	1.50

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Portaria MS n°. 888/21, ou W.H.O (2011).

c) Amostras coletadas no período de estiagem de 2012 (n=61).

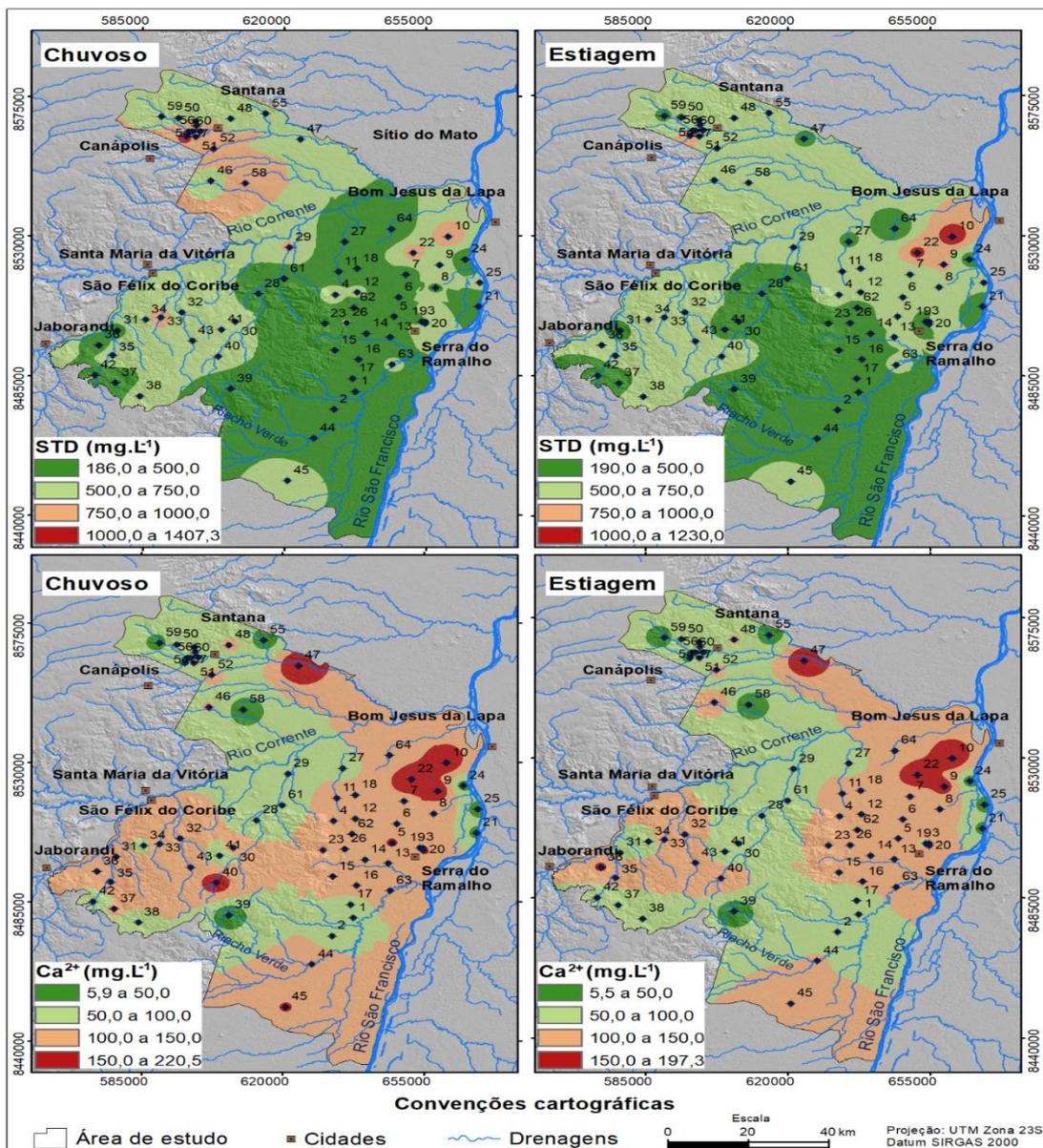
Estimadores Amostrais	mV			mg.L ⁻¹									
	pH	ORP	STD	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	F ⁻	
Mínimo	6.90	-	180.00	190.00	2.10	0.30	5.50	1.20	17.60	75.20	9.80	0.20	0.14
Máximo	8.90	238.00	1230.0	238.30	5.30	197.30	34.80	578.50	366.00	172.20	16.40	6.20	
Média	7.70	83.90	562.00	40.30	2.10	98.70	14.80	103.50	216.10	48.10	2.60	0.90	
Mediana	7.60	117.00	527.80	20.40	1.90	102.30	14.20	85.70	215.40	41.20	1.10	0.52	
Desvio Padrão	0.60	103.80	185.40	51.20	1.20	48.10	7.20	88.90	53.00	35.30	3.90	1.30	
Erro Padrão	0.50	13.30	23.90	6.60	0.20	6.20	0.90	11.50	6.80	4.60	0.50	0.20	
Coef. de Correlação (%)	6.60	123.70	33.00	127.10	56.50	49.80	48.80	84.80	24.50	73.40	149.30	134.00	
<i>Shapiro-Wilk</i> (valor de p)	<0.01 ^B	<0.01 ^B	<0.01 ^B	<0.01 ^B	0.01 ^B	0.15 ^A	0.04 _B	<0.01 ^B	0.64 ^A	<0.01 ^B	<0.01 ^B	<0.01 ^B	
Valor Máximo Permitido^C	6.5-9.5	-	1000.0	200.00	-	75.00	50.00	250.00	-	250.00	10.00	1.50	

^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana; ^C Portaria MS n°. 888/21, ou W.H.O (2011).

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nas análises laboratoriais.

O expressivo percentual de amostras com restrição de potabilidade para o cálcio (Tabela 1) pode ser explicado pela influência da interação entre as águas subterrâneas e dos minerais calcita e dolomita presentes nas rochas do Grupo Bambuí, onde a dissolução destas espécies minerais contribui para a hidrogeoquímica (Figura 5). Gonçalves (2014) observou que a variação espacial do cálcio, dureza total (DT) e dos STD nas águas do Aquífero Bambuí, na Bahia, acompanhou a variabilidade litológica e o posicionamento estrutural das unidades litológicas, que permitiu a proposição de uma classificação do Sistema Aquífero Bambuí nas unidades hidrogeológicas cárstica e pelito-carbonáticas.

Figura 5 - Mapa de distribuição espacial e sazonal dos níveis dos sólidos totais dissolvidos (STD) e de cálcio das amostras de água do Aquífero Bambuí, dos municípios do Oeste da Bahia, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores, a partir das informações do IBGE/SEI (2008).

Santos (2017), Gonçalves *et al.* (2022b) e Cunha *et al.* (2022) ressaltam que a forte dureza e a intensa mineralização das águas de meios cársticos refletem a influência do clima, da circulação da água no sistema aquífero e da dissolução dos minerais calcita e dolomita na hidrogeoquímica. Em adição, ressalta-se que a dureza da água não tem significado sanitário, embora cause inconvenientes econômicos e aos usos da água, porque dificulta a lavagem e o cozimento dos alimentos e devido a obstrução das tubulações (LIBÂNIO, 2016). A relevância destes inconvenientes aos usos da água decorrentes de altos valores da dureza total depende do conteúdo de cátions multivalentes na água, em especial quanto aos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , onde espera-se altos conteúdos destas espécies químicas nas águas do Aquífero Bambuí, em função da dissolução dos minerais carbonáticos que constituem as rochas encaixantes deste aquífero.

Elementos menores e Elementos-traço nas Águas subterrâneas

Em relação aos elementos menores e traços obtidos nas amostras de água subterrânea, observa-se que os níveis dos metais-traço Pb^{2+} e Cd^{2+} foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico para um percentual superior a 90% das amostras do período chuvoso de 2010 e da estiagem de 2012 (Tabela 2). Os níveis totais do Fe^{2+} variaram de 0,01 a 0,91 mg.L^{-1} e do Al^{3+} distribuíram-se de 0,01 a 0,69 mg.L^{-1} , relacionando-se as restrições de potabilidade de 73% das amostras, com base no que dispõe a Portaria 888/21, do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2021) (Figura 3).

Os elementos-traço Fe^{2+} e Al^{3+} integram o padrão organoléptico de potabilidade e causam inconvenientes aos usos da água, mas não possuem efeitos tóxicos comprovados (MENDES; OLIVEIRA, 2004). Espera-se que o ferro ocorra na forma ferrosa (Fe^{2+}), complexado aos carbonatos e a hidroxila nas condições alcalinas das águas do Aquífero Bambuí, podendo ser liberados a solução pela oxidação dos minerais pirita e calcopirita. Aponta-se, dentre as fontes potenciais de ferro para as águas subterrâneas, à oxidação e a corrosão das tubulações metálicas da rede de poços tubulares quando não conservadas.

Em relação as espécies químicas do alumínio nas águas do Aquífero Bambuí, destacam-se as espécies hidratadas. Ademais, nas águas com excesso do fluoreto espera-se encontrar o alumínio nas formas químicas de íons bivalente (AlF^{2+}) ou de íons trivalente (AlF^{3+}). Matías-Cervantes *et al.* (2018) ressaltam que a maior parte da ingestão do alumínio provém dos alimentos, por meio de formas diversas, cujo alumínio na água representa a forma mais biodisponível e melhor absorvida pelo intestino. Walton (2007) explica que o alumínio é um elemento-traço não essencial para a saúde, onde as supostas

situações de toxicidade se associam aos pacientes renais, podendo causar alterações ósseas e nervosas, ou representar um fator de risco ambiental ao mal Alzheimer.

Os níveis de bário (Ba^{2+}) nas amostras de água subterrânea podem advir do intemperismo químico da barita ($BaSO_4$) (Tabela 2). O bário é um metal alcalino terroso encontrado principalmente na barita, que forma compostos de baixa toxicidade devido a reduzida solubilidade dos sais de bário (LIMA, 2010). O intemperismo químico de minerais, como a barita, das rochas disponibiliza bário às águas, cujos teores do bário nas águas subterrâneas variam em função da solubilidade da barita (HEM, 1985).

Tabela 2 - Resumo estatístico das medidas dos cátions principais e elementos traço nas águas do Aquífero Bambuí, na Bahia, coletadas nos períodos chuvoso (2010 e 2011) e estiagem (2012).

a) Amostras de água subterrânea coletadas no período chuvoso de 2010 (n=44).

Estimadores Amostrais	pH	mg.L ⁻¹												
		Al ³⁺	Fe ²⁺	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Zn ⁴⁺	Cu ²⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Sr	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Tamanho (N)	40	43	32	42	19	16	10	8	5	43	40	40	40	40
Mínimo	6.60	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.003	0.003	0.001	0.01	27.90	3.70	0.60	0.60
Máximo	8.10	0.59	0.40	0.87	0.28	0.20	0.09	2.30	0.01	5.27	194.50	42.00	202.0	13.1
Média	7.20	0.34	0.08	0.08	0.04	0.03	0.02	0.29	0.01	1.00	110.90	16.80	31.4	2.50
Mediana	7.10	0.35	0.03	0.05	0.02	0.015	0.01	0.01	0.01	0.55	113.80	16.50	14.9	2.10
Desvio Padrão	0.40	0.13	0.11	0.13	0.06	0.05	0.03	0.81	0.004	1.18	6.60	1.40	6.80	0.30
Erro Padrão	0.10	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.29	0.002	0.18	6.60	1.40	6.80	0.30
Coef. de Correlação (%)	5.20	38.1	133.8	155.6	173.1	143.3	143.2	275.7	54.86	117.6	37.3	51.7	136.	82.8
Valor Máximo Permitido^A	6.5-9.5	0.20	0.30	0.70	0.10	5.00	2.0	0.005	0.01	-	75.00	50.00	200.0	-
LQM (CONAMA 396/08)^B	-	0.03	0.002	0.003	0.007	0.02	0.002	0.002	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.005

^A Portaria MS n°. 888/21, ou W.H.O (2011); ^B Limite de Quantificação do Método; ND: < LQM.

b) Amostras coletadas no período chuvoso de 2011 (n=61).

Estimadores Amostrais	pH	mg.L ⁻¹												
		Al ³⁺	Fe ²⁺	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Zn ⁴⁺	Cu ²⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Sr	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Tamanho (N)	61	59	41	60	17	37	41	30	20	59	61	61	61	61
Mínimo	6.60	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.003	0.002	0.001	0.05	5.90	1.20	1.90	0.40
Máximo	8.10	0.36	0.77	2.43	0.37	2.15	0.09	0.08	0.004	4.96	220.5	40.7	245.40	5.30
Média	7.20	0.22	0.08	0.13	0.06	0.08	0.02	0.01	0.002	0.81	103.8	15.3	41.80	2.30
Mediana	7.10	0.23	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01	0.005	0.002	0.44	108.5	14.1	19.50	2.10
Desvio Padrão	0.40	0.09	0.16	0.33	0.09	0.35	0.03	0.015	0.001	0.90	51.40	8.10	55.10	1.20
Erro Padrão	0.10	0.01	0.03	0.04	0.00	0.06	0.01	0.002	0.0002	0.12	6.60	1.00	7.10	0.20
Coef. de Correlação (%)	5.20	41.0	199.6	251.3	160.9	456.4	143.2	152.8	44.8	111.9	49.50	52.8	131.9	51.4
Valor Máximo Permitido^A	6.5-9.5	0.20	0.30	0.70	0.10	5.00	2.0	0.005	0.01	-	75.00	50.00	200.0	-
LQM (CONAMA 396/08)^B	-	0.03	0.002	0.003	0.007	0.02	0.002	0.002	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.005

^A Portaria MS n°. 888/21, ou W.H.O (2011); ^B Limite de Quantificação do Método; ND: < LQM.

c) Amostras coletadas no período chuvoso de 2012 (n=61).

Estimadores Amostrais	pH	mg.L ⁻¹												
		Al ³⁺	Fe ²⁺	Ba ²⁺	Mn ²⁺	Zn ⁴⁺	Cu ²⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Sr	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Tamanho (N)	61	59	28	59	17	37	41	30	20	59	61	61	61	61
Mínimo	6.60	0.02	0.001	0.007	0.001	0.01	0.002	0.001	ND	0.03	5.50	1.20	2.10	0.30
Máximo	8.10	0.69	0.91	0.70	0.39	3.29	0.09	0.17	ND	4.68	197.30	34.80	238.30	5.30
Média	7.20	0.23	0.12	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	ND	0.88	98.70	14.80	40.30	2.10
Mediana	7.10	0.23	0.03	0.08	0.02	0.02	0.007	0.007	ND	0.64	102.30	14.20	20.40	1.90
Desvio Padrão	0.40	0.10	0.23	0.11	0.09	0.05	0.56	0.03	ND	0.86	48.10	7.20	51.20	1.20
Erro Padrão	0.10	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.09	0.005	ND	0.11	6.20	0.90	6.60	0.20
Coef. de Correlação (%)	5.20	42.1	200.0	145.0	196.8	143.3	486.2	205.8	ND	97.3	49.80	48.80	127.10	56.50
Valor Máximo Permitido^A	6.5-9.5	0.20	0.30	0.70	0.10	5.00	2.0	0.005	0.01	-	75.00	50.00	200.0	-
LQM (CONAMA 396/08)^B	-	0.03	0.002	0.003	0.007	0.02	0.002	0.002	0.001	0.001	0.01	0.01	0.01	0.005

^A Portaria MS n°. 888/21, ou W.H.O (2011); ^B Limite de Quantificação do Método; ND: < LQM.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nas análises laboratoriais.

Esgotamento Sanitário, Nitrato nas Águas e Vigilância em Saúde

Os valores do IDH-M do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos municípios do Oeste da Bahia alcançaram um padrão médio de desenvolvimento em 2010, segundo o IBGE (2010) (Tabela 3). Sugerem que o poder público deve melhorar a educação, a distribuição de renda e expectativa de vida ao nascer no Oeste da Bahia.

Tabela 3 - Domicílios particulares permanentes com serviço de saneamento e indicação de internações por diarreia nos municípios do Oeste da Bahia, Brasil, conforme o IBGE (2010).

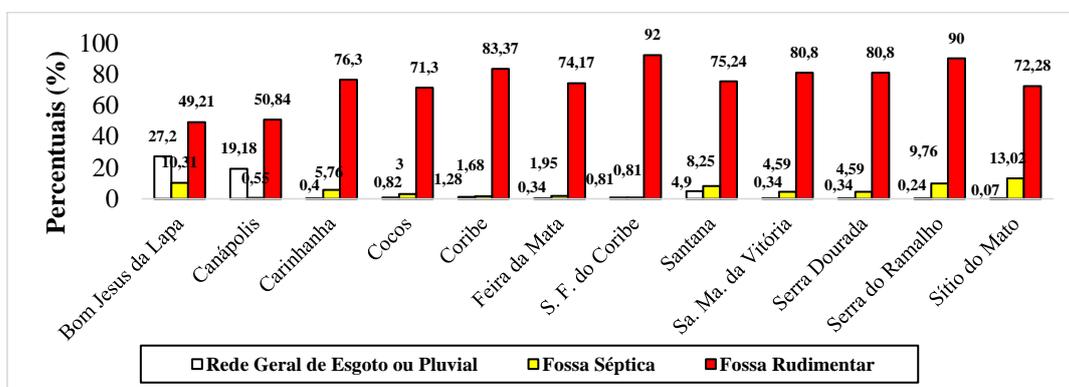
Município	População	Densidade (hab.km ²)	Produto Interno Bruto (x1000)	IDHM			Esgotamento Adequado (%)	Internações por diarreia por mil hab.
				1991	2000	2010		
BJ L	63.480	15.11	382.897.00	0.372	0.486	0.633	37.30	0.80
Canápolis	9.410	21.52	69.642.28	0.285	0.435	0.565	17.40	6.70
Carinhanha	29.118	10.37	97.879.00	0.250	0.382	0.576	5.80	6.83
Cocos	18.153	1.77	124.756.00	0.260	0.413	0.596	3.10	2.60
Coribe	14.307	5.77	72.402.00	0.314	0.397	0.600	3.40	1.50
F. da Mata	6.184	3.78	30.301.00	0.292	0.442	0.588	2.50	0.20
SFC	13.043	13.74	81.919.00	0.308	0.462	0.639	1.40	2.90
Santana	24.750	13.60	125.845.00	0.348	0.471	0.608	13.00	2.50
SMV	39.707	20.49	482.541.60	0.322	0.449	0.614	12.70	0.50
Se. Dourada	18.112	13.45	85.458.00	0.271	0.436	0.608	4.90	6.90
SR	31.638	12.20	124.793.00	0.233	0.413	0.595	2.50	2.40
Sítio do Mato	12.050	6.88	104.389.92	0.259	0.389	0.564	13.00	1.90
Mínimo	6.184	1.77	30.301.00	0.233	0.382	0.564	1.40	0.20
Máximo	39.707	21.52	482.541.60	0.372	0.486	0.639	37.30	6.90
Média	23.33	11.56	148.735.00	0.293	0.431	0.599	9.75	2.98
Mediana	18.133	12.83	101.134.46	0.259	0.436	0.598	5.35	2.45
Desvio Padrão	16.07	6.16	137.10	0.04	0.03	0.02	10.21	2.46
Erro Padrão	4.64	1.79	39.58	0.01	0.01	0.01	2.95	0.71
CV (%)	68.89	53.32	92.18	14.20	7.67	3.86	104.68	82.82

CV: Coeficiente de Variação; **BJL**: Bom Jesus da Lapa; **SFC**: São Félix do Coribe; **SMV**: Santa Maria da Vitória; **SR**: Serra do Ramalho; **SM**: Sítio do Mato.

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010).

Verificou-se altos percentuais de domicílios particulares permanentes urbanos e rurais que utilizam fossas rudimentares ou que não dispõem de banheiro ou sanitário nos municípios do Oeste da Bahia, reportando-se as precárias condições sanitárias (Tabelas 3 e 4). Os municípios de São Félix do Coribe e Serra do Ramalho foram os menos atendidos pelo esgotamento adequado e os que mais utilizavam as fossas rudimentares (Figura 7).

Figura 7 - Síntese dos dados do saneamento de Salvador e dos municípios do Oeste da Bahia.



Fonte: Elaborado a partir dos dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010).

A baixa cobertura do esgotamento adequado de domicílios particulares permanentes urbanos e rurais representa uma ameaça de poluição ambiental e à saúde no Oeste da Bahia, cujos municípios de Carinhanha, Canápolis e Serra Dourada revelaram as maiores demandas de internações por diarreia (Tabelas 1 e 2). Os acometimentos da saúde refletem as múltiplas determinações da saúde, a julgar pelos usos da terra, injustiças sociais, das falhas do saneamento e das condições de moradia (AYACH *et al.*, 2012).

Tabela 4 - Domicílios particulares permanentes urbanos e rurais que apresentavam em 2010 banheiro e esgotamento sanitário adequado ou inadequado nos municípios do Oeste da Bahia.

Município	Total de domicílios	Não tinham banheiro/sanitário	Existência de banheiro ou sanitário e Esgotamento sanitário			
			Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa do tipo séptica	Fossa do tipo rudimentar	Vala, Rio, lago, mar e outros
Bom Jesus da Lapa	16.344	1350 (8.30%)	4.445 (27%)	1.686 (10.30)	8.043 (46.63%)	479 (4.77%)
Canápolis	2.555	707 (27.67%)	490 (19.18%)	14 (0.55%)	1299 (50.84%)	45 (1.76%)
Carinhanha	7.294	1.172 (16.1%)	29 (0.40%)	420 (5.76%)	5.569 (76.3%)	104 (1.44%)
Cocos	4.885	1.115 (22.8%)	40 (0.82%)	147 (3.00%)	3.481 (71.30%)	102 (2.08%)
Coribe	4.228	494 (11.68%)	54 (1.28%)	71 (1.68%)	3525 (83.37%)	84 (1.99%)
Feira da Mata	1.742	360 (20.67%)	6 (0.34%)	34 (1.95%)	1292 (74.17%)	50 (2.87%)
S. Félix do Coribe	3.683	196 (5.32%)	30 (0.81%)	30 (0.81%)	3.390 (92.0%)	37 (1.06%)
Santana	6.956	673 (9.67%)	341 (4.90%)	574 (8.25%)	5234 (75.24%)	134 (1.97%)
Sa. Ma. da Vitória	11.126	1.423 (12.8%)	401 (3.60%)	1082 (9.72%)	8034 (72.21%)	186 (1.67%)
Serra Dourada	4.990	524 (10.5%)	17 (0.34%)	229 (4.59%)	4032 (80.80%)	188 (3.77%)
Serra do Ramalho	8.272	458 (5.5%)	20 (0.24%)	178 (2.2%)	7.445 (90.03%)	171 (2.03%)
Sítio do Mato	2.958	313 (10.58%)	2 (0.07%)	385 (13.02%)	2138 (72.28%)	120 (4.05%)

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nas informações censitárias do IBGE (2010).

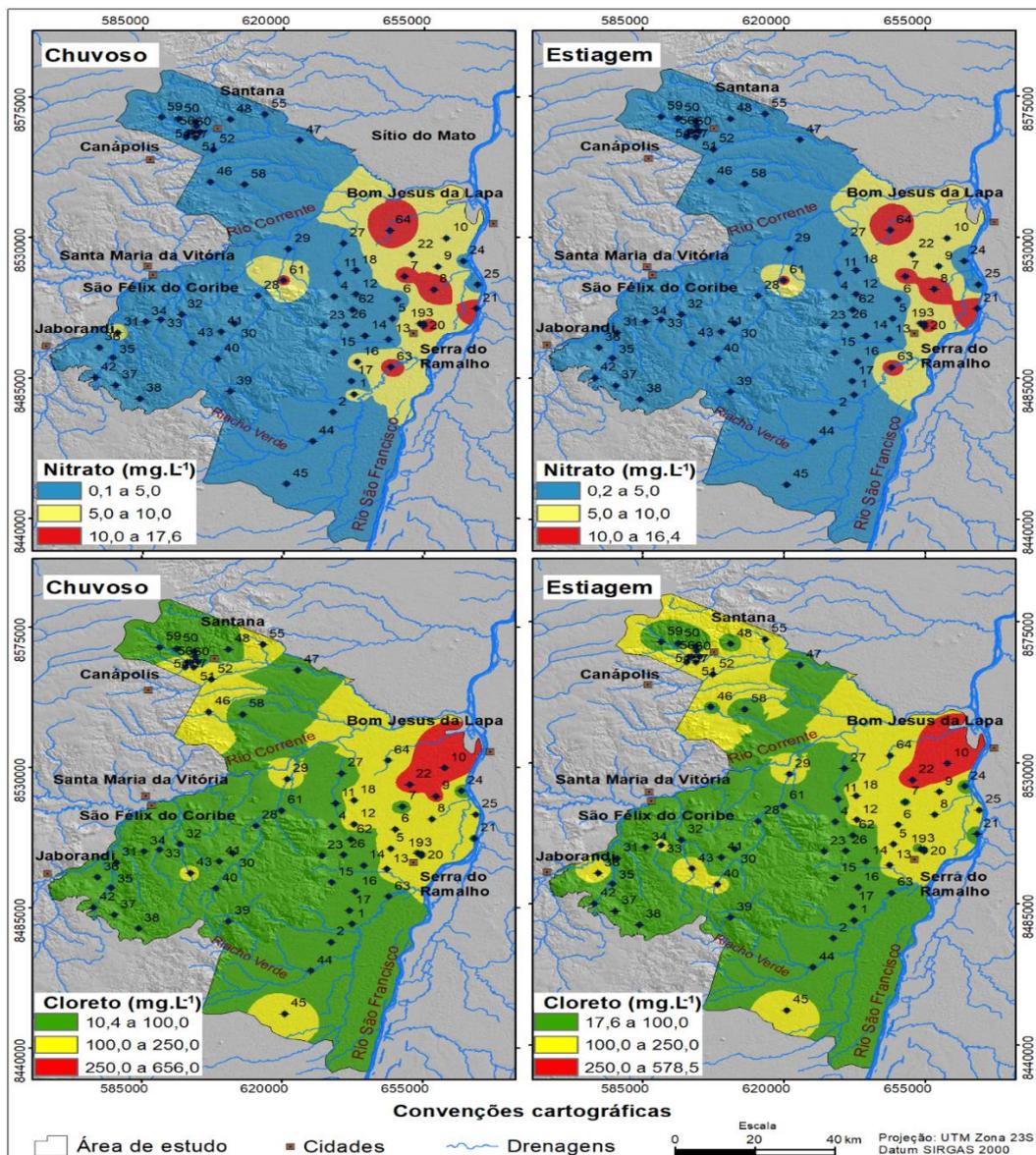
Gonçalves *et al.* (2022c) obtiveram uma cobertura do esgotamento adequado superior a 50% para a maioria dos municípios da Região Metropolitana de Salvador (RMS), variando de 80,5% a 92,8% em Lauro de Freitas, Pojuca, Madre de Deus e Salvador. Logo, existe uma maior atendimento do serviço de esgotamento adequado nos municípios da RMS do que quando comparado aos municípios do Oeste da Bahia.

Ressalta-se que a utilização de fossas rudimentares e o despejo de efluentes domésticos *in natura* nos corpos hídricos e no solo contribuem para a poluição das águas subterrâneas por nitrato (Figura 3), cuja disposição espacial dos níveis do nitrato pôde ser apresentada devidamente na Figura 8. Batista *et al.* (2021) explicam que a utilização de fossas rudimentares e o despejo de efluentes líquidos *in natura* nos corpos hídricos são práticas sanitárias precárias, que comprometem a qualidade da água e ameaçam a saúde.

Outrossim, a variação espacial dos níveis do cloreto nas águas subterrâneas na área de estudo acompanhou, no geral, a distribuição espacial das variáveis cálcio e STD (Figuras 5 e 8), onde os níveis de cloreto nas amostras de água refletem, além das falhas do saneamento e os usos da terra, especialmente a disposição espacial dos poços tubulares ao longo do fluxo subterrâneo, as condições de recarga do aquífero por águas meteóricas e a influência do clima que varia de semi-úmido a semiárido na área de estudo (Figura 2).

Os níveis do nitrato (N-NO_3^-) variaram de 0,1 a 17,60 mg.L^{-1} , nas amostras, seguindo uma distribuição não gaussiana ($p < 0,001$) (Tabela 1), cujas medianas não diferiram sazonalmente, com base no teste de *Kruskal-Wallis* ($p < 0,0001$). Nesta pesquisa, considera-se que os níveis do nitrato quando superiores a 5,0 mg.L^{-1} em uma amostra de água já seriam sugestivos da poluição, com base em Mendes e Oliveira (2004), e, por isso, a poluição por nitrato alcançou 21% das amostras (Figura 3). Com isso, na análise espacial da distribuição dos níveis do nitrato nas águas subterrâneas foram sinalizados os intervalos de valores do nitrato que reúnem as amostras com restrição de potabilidade: i) de 5,0 a 10,0 mg.L^{-1} (em amarelo); ii) $> 10,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (em vermelho) (Figura 8).

Figura 8 - Mapa de distribuição espacial e sazonal dos níveis das variáveis hidroquímicas nitrato e cloreto nas amostras de água do Aquífero Bambuí, coletadas nos municípios do Oeste da Bahia.



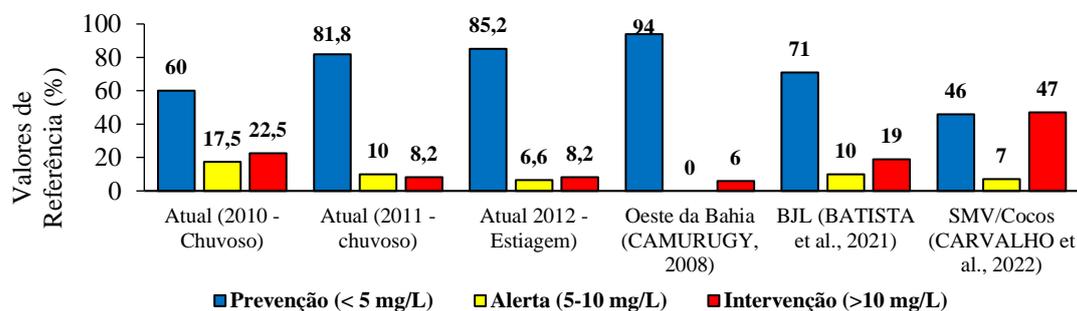
Fonte: Elaborado pelos autores, a partir das informações do IBGE/SEI (2008).

Verificou-se, além disso, que a variação espacial dos níveis do cloreto nas águas subterrâneas diferiu da disposição espacial da poluição das águas por nitrato (Figuras 5 e 8). Ressalta-se a relevância das falhas do esgotamento sanitário na poluição das águas subterrâneas por nitrato nas localidades da Agrovila 15 no município de Santana, das localidades de Campo Alegre, Faz. Santana e Serra Solta em São Félix do Coribe e das localidades da Agrovila 1, Agrovila 3, Agrovila 4, Agrovila 5, Agrovila 6, Agrovila 10, Agrovila 13, Agrovila 9 (Sede), Sítio Aroeira, Boa Vista no município de Serra do Ramalho.

Ressalta-se que os usos da terra e a agricultura associada a aplicação excessiva de agrotóxicos, que contêm compostos nitrogenados, devem ser levados em consideração. Destacam-se o cultivo de hortaliças e fruticultura irrigadas, com aplicação de agrotóxicos, observadas nos municípios de Serra do Ramalho e São Félix do Coribe. Ressalta-se a localidade do Projeto CSB, no município de São Félix do Coribe, onde observou-se na pesquisa de campo a presença de embalagens de agrotóxicos, muitas vazias, e de equipamentos para a aplicação dos agrotóxicos dispostos em um armazém improvisado.

As amostras foram classificadas quanto aos teores de nitrato, de acordo ao que dispõe a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2005) (Figura 9). Desta forma, com base nos níveis do N-NO_3^- , as amostras foram classificadas nas categorias de Alerta ($< 5 \text{ mg.L}^{-1}$ de N-NO_3^-) e dos Valores de Intervenção $> 10,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de N-NO_3^-), que abrangeram, respectivamente, 40% das amostras de água 2010 (chuvoso) e 18,2% das amostras de 2011 (chuvoso) e mais 15% das amostras de 2012 (na estiagem).

Figura 9 - Valores de referência recomendados por Mendes e Oliveira (2004) e pela CETESB (2005) e classificação com base nos níveis de nitrato das águas subterrâneas do Aquífero Bambuí.



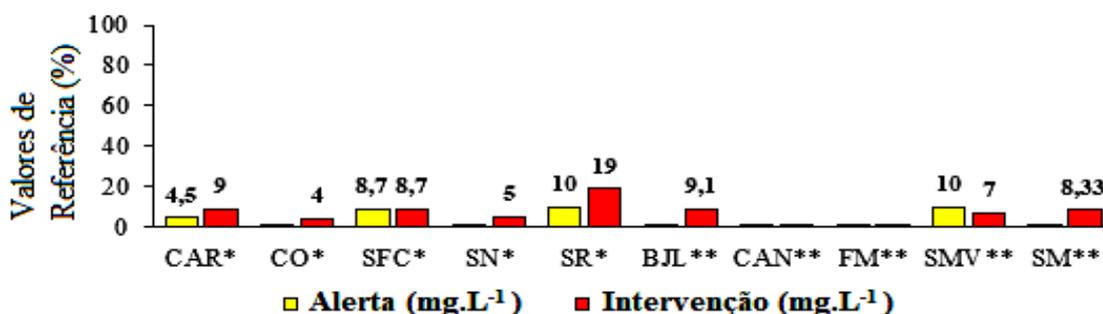
BJL: Bom Jesus da Lapa; SMV: Santa Maria da Vitória.

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos dados da pesquisa de campo e de estudos anteriores.

Em adição, as amostras foram classificadas quanto aos teores de nitrato, com base no que dispõe a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2005). Desta

forma, a classificação das águas se deu com base nos níveis do nitrato por município (Figura 10), em consideração a relevância desta esfera de poder para a elaboração de políticas públicas, coerente com a escala da síntese do esgotamento sanitário (Tabela 5).

Figura 10 - Valores de referência de Mendes e Oliveira (2004) e da CETESB (2005) e classificação dos níveis de nitrato das águas subterrâneas de municípios do Oeste da Bahia.



*Área de Estudo – Síntese dos dados hidrogequímicos das análises laboratoriais e dos dados do SIAGAS/CPRM e das pesquisas de Camurugy (2008) e Carvalho (2018): CA – Carinhanha (n:30); CO – Coribe (n:55); SFC - São Félix do Coribe (n:34); SN – Santana (n:50); SR - Serra do Ramalho (n:80).

**Municípios Vizinhos Área de Estudo – Síntese dos hidrogequímicos do SIAGAS/ CPRM e de Camurugy (2008) e Carvalho (2018): CAN – Canápolis (n:22); BJJ - Bom Jesus da Lapa (n:20); FM - Feira da Mata (n:21); SMV - Santa Maria da Vitória (n:29); SD - Se; SM - Sítio do Mato (n:12).

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir das análises de estudos anteriores e do SIAGAS.

Observa-se a presença de níveis do nitrato nas águas subterrâneas que excederem o limite de potabilidade nos municípios da área de estudo (Tabela 5), em especial de Carinhanha (13,5% das amostras), São Félix do Coribe (17% das amostras) e Serra do Ramalho (29% das amostras), ou dos vizinhos municipais da área de estudo, principalmente no município de Santa Maria da Vitória (17% das amostras) (Figura 10).

Tabela 5 – Sumário estatístico dos resultados analíticos do nitrogênio como nitrato (N-NO₃⁻), em mg.L⁻¹, presentes nas amostras de água subterrânea dos municípios do Oeste da Bahia, Brasil.

Município/Estimador Amostral	Tamanho (N)	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Desvio Padrão	Erro Padrão	CV (%) ^A	S-W (valor de p)
Presente Estudo - Oeste da Bahia									
Carinhanha ^{C, D}	30	0.01	7.40	1.16	0.30	2.07	0.53	178.65	<0.001 ^B
Coribe ^{C, F}	55	0.17	16.90	1.76	0.80	3.09	0.44	175.61	<0.001 ^B
São Félix do Coribe	34	0.30	17.60	2.59	0.46	0.77	4.02	154.92	<0.001 ^B
Santana	50	0.03	5.40	0.58	0.46	0.66	0.09	112.99	<0.001 ^B
Serra do Ramalho	80	0.10	17.20	4.95	2.60	5.18	0.76	104.56	<0.001 ^B
SIAGAS/CPRM - Oeste da Bahia									
Bom Jesus da Lapa ^D	52	0.01	51.48	1.70	0.13	7.61	1.06	446.96	<0.001 ^B
Canápolis ^D	29	0.01	2.27	0.38	0.17	0.59	0.11	155.41	<0.001 ^B
Cocos ^D	20	0.01	10.4	1.22	0.31	2.34	0.52	191.284	<0.001 ^B
Feira da Mata ^C	25	0.01	3.40	0.63	0.24	0.79	0.16	125.31	<0.001 ^B
Santa Maria da Vitória ^D	37	0.00	14.60	1.85	0.50	3.38	0.56	183.14	<0.001 ^B
Serra Dourada ^D	27	0.01	3.24	0.93	0.88	0.61	0.12	64.93	<0.001 ^B
Sítio do Mato ^D	12	0.02	15.20	2.54	1.20	7.09	1.18	161.06	<0.001 ^B
Estudos Anteriores									
Aquífero Bambuí, Oeste da Bahia	16	0.01	15.20	2.45	1.55	3.62	0.90	145.24	<0.001 ^B
Aquífero Bambuí, Oeste da Bahia	13	0.40	55.90	12.92	10.40	14.58	4.04	112.87	0.002 ^B

CV: coeficiente de variação; ^A Distribuição gaussiana; ^B Distribuição não gaussiana;

^C Atual; ^D Camurugy (2008); ^E Carvalho (2018); ^F SIAGAS/CPRM.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise de coliformes termotolerantes indicou a perda da qualidade para 26,83% das amostras de água (Tabela 6). Além disso, os níveis do nitrato e a quantificação de coliformes termotolerantes excederam o limite de potabilidade da Portaria 888/2021 (BRASIL, 2021) na amostra da Agrovila 22, no município de Serra do Ramalho.

Tabela 6 - Resultados das análises de indicadores físico-químicos e microbiológicos das amostras de águas pluviais, superficiais e subterrâneas coletadas na campanha amostral de 2011 (chuvoso).

Localidade	Município	Fonte	UNT		mg.L ⁻¹					NMP.100ml ⁻¹	
			Turb.	STD	F ⁻	Cl ⁻	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes
Agrovila 1	SR	Poço	4.30	1170	0.78	460.0	ND	1.20	6.60	< 2.00	< 2.00
Agrovila 3	SR	Poço	0.00	671.5	0.57	251.0	ND	1.50	8.50	10.00	2.00
Agrovila 5	SR	Poço	0.90	663.0	0.52	139.4	ND	1.40	15.00	4.00	2.00
Agrovila 6	SR	Poço	6.50	532.0	0.27	80.00	ND	0.02	11.13	10.00	2.00
Agrovila 8	SR	Poço	3.10	635.7	0.79	132.0	ND	0.06	0.56	< 2.00	< 2.00
Agrovila 9	SR	Poço	9.20	624.0	0.72	143.7	ND	0.11	13.00	8.00	4.00
Sítio Aroeira	SR	Poço	5.60	921.0	0.38	315.0	ND	0.13	11.30	2.00	< 2.00
Agrovila 18	SR	Poço	2.20	544.7	0.55	140.0	0.24	0.07	2.23	< 2.00	< 2.00
Agrovila 10	SR	Poço	2.90	606.0	0.19	132.0	ND	0.05	3.74	< 2.00	< 2.00
Agrovila 12	SR	Poço	0.00	409.0	0.23	45.00	0.42	0.06	1.87	2.00	< 2.00
Mata Verde	SR	Poço	0.00	338.7	0.20	30.00	0.11	0.07	1.87	8.00	2.00
Agrov. 13 II	SR	Poço	0.00	298.0	1.74	33.00	0.28	ND	1.94	< 2.00	< 2.00
Agrovila 14	SR	Poço	0.00	415.0	0.28	45.00	0.11	0.03	2.17	2.00	< 2.00
Taquari	SR	Poço	0.00	449.0	0.94	35.00	0.15	0.07	1.90	2.00	2.00
Agrovila 20	SR	Poço	0.00	478.0	1.79	34.00	0.02	0.06	2.67	10.00	2.00
Faz. Roberto	SR	Poço	0.00	584.8	0.60	94.60	0.02	ND	3.90	< 2.00	< 2.00
Agrovila 21	SR	Poço	0.00	568.0	0.35	80.00	0.12	ND	9.30	2.00	2.00
Agrovila 22	SR	Poço	0.00	523.0	0.31	65.90	0.12	0.20	12.50	1600	300.00
Mandiaçu	SR	Poço	0.00	525.0	1.51	50.00	0.11	0.04	0.16	< 2.00	< 2.00
Capão Preto	SR	Poço	0.04	535.0	1.83	160.0	1.58	ND	0.01	< 2.00	< 2.00
Agrovila 15	CA	Poço	0.00	366.0	0.18	35.00	0.02	ND	2.56	4.00	2.00
Agrovila 16	CA	Poço	0.00	313.0	0.16	25.00	0.56	ND	1.52	2.00	< 2.00
Agrovila 23	CA	Poço	0.00	443.0	0.26	24.50	0.52	ND	1.26	2.00	< 2.00
Barreiro	CO	Poço	0.00	475.0	0.40	42.60	0.02	ND	2.50	< 2.00	< 2.00
Monte Alegre	CO	Poço	0.00	622.6	0.50	123.0	0.78	0.20	3.80	2.00	< 2.00
Ranchinho	CO	Poço	0.00	186.0	0.24	34.10	0.30	0.00	2.11	2.00	< 2.00
Várzea da C.	FM	Poço	0.00	432.0	0.29	45.00	ND	0.01	1.20	2.00	< 2.00
Itapicuru	FM	Poço	3.30	501.0	0.43	79.35	ND	0.08	0.70	2.00	< 2.00
Aldeia I	FM	Poço	0.00	597.0	0.49	66.32	ND	0.06	3.40	< 2.00	< 2.00
Sanharol II	FM	Poço	5.70	482.0	1.31	36.46	ND	0.07	0.10	< 2.00	< 2.00
Caraibas II	FM	Poço	7.40	555.0	1.10	66.84	ND	0.14	0.60	2.00	< 2.00
Mozondó	SFC	Poço	0.00	540.7	0.50	55.30	ND	0.02	4.20	< 2.00	< 2.00
Faz.Nova	SFC	Poço	0.00	507.0	0.71	56.90	ND	0.01	0.78	< 2.00	< 2.00
Boa Sorte	SFC	Poço	0.10	526.0	1.51	12.10	ND	0.02	5.05	< 2.00	< 2.00
Brejinhos	SN	Poço	3.20	712.0	1.10	71.90	ND	0.03	1.40	< 2.00	< 2.00
Salgado	SN	Poço	2.00	481.0	0.20	39.40	ND	0.05	0.40	< 2.00	< 2.00
Utinga	SN	Poço	0.10	750.0	0.50	17.40	ND	0.02	0.30	< 2.00	< 2.00
Gameleira	SN	Poço	0.10	713.3	0.52	115.2	ND	0.02	5.20	2.00	< 2.00
Pedra Preta I	SN	Poço	1.30	730.0	5.10	109.0	ND	0.23	2.30	< 2.00	< 2.00
Posto (Gasolina)	SMV	Poço	0.00	510.0	0.20	75.00	0.23	ND	13.38	8.00	2.00
ETA-Bruta	Descob.	Poço	0.00	545.0	0.83	45.00	0.12	0.01	2.46	2.00	< 2.00
ETA-Trat.	(CO)	Poço	0.00	250.0	0.24	40.00	0.30	ND	2.11	< 2.00	< 2.00
Monte Alegre	CO	Cisterna: água subt.	4.50	561.0	1.12	59.10	0.78	0.17	1.40	2.00	< 2.00
Faz. Nova	SFC	Lagoa	21.60	69.00	0.02	8.00	1.92	0.03	1.94	4.00	< 2.00
Agrovilas 12	SR	Lagoa	33.90	76.00	-	7.00	1.66	-	-	4.00	< 2.00
Agrovila 09	SR	Meteórica	0.00	23.00	0.03	3.00	0.28	0.01	0.04	< 2.00	< 2.00
Mozondó	SFC	Cisterna	0.00	25.00	0.31	4.00	0.92	ND	0.01	2.00	< 2.00
Mozondó	SFC	Cisterna	0.00	53.00	0.27	4.00	1.28	0.01	0.02	< 2.00	< 2.00
Mata Verde I	SR	Cisterna	0.00	22.00	0.07	4.00	ND	1.28	0.02	>1600	280.00
Mata Verde II	SR	Cisterna	0.00	73.00	0.24	3.00	ND	0.92	0.01	1600	300.00
ETA-Bruta	SR	R. S. F.	167.0	40.70	0.10	1.30	0.02	1.10	6.10	9.00	4.00
ETA-Trat.	SR	R. S. F.	16.00	56.16	0.10	0.80	0.01	1.30	2.65	< 2.00	< 2.00
Portaria 888/21 (Brasil, 2021)			5.00	1000	0.80	250.0	1.50	1.00	10.00	< 2.00	< 2.0

CA: Carinhanha; CO: Coribe; FM: Feira da Mata; SFC: São Félix do Coribe; SR: Serra do Ramalho; ETA: Estação de tratamento de água, de responsabilidade do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir dos resultados das análises laboratoriais.

Com isso, diante do que foi exposto, revelou-se que as falhas no atendimento e a não universalização do esgotamento sanitário representam riscos de poluição das águas e ameaças a saúde dos sujeitos sociais nos municípios do Oeste da Bahia. Dawson e Sartory (2000), Moraes e Jordão (2002) e Leão *et al.* (2018) explicam que a ingestão de água com restrição de potabilidade em relação aos coliformes termotolerantes ameaça à saúde.

Santos (2017) e Hirata *et al.* (2020) destacam que a presença de altos níveis do nitrato nas águas polui os ecossistemas aquáticos, cujo consumo destas águas *in natura* representa um fator de risco de exposição as infecções de veiculação hídrica. Além disso, a ingestão de águas com níveis elevados do nitrato contribui para prevalência de agravos à saúde, a exemplo da metahemoglobinemia que pode levar ao óbito de crianças com até seis meses de idade (BAIRD; CANN, 2011). Nos adultos, o nitrato após ser ingerido é reduzido a espécie nitrito no intestino, reage com aminas secundárias e origina os compostos carcinogênicos nitrosamidas e nitrosaminas (MENDES; OLIVEIRA, 2004).

Aponta-se, ademais, a eficiência do tratamento primário com hipoclorito na melhoria da qualidade microbiológica da água e do sulfato de alumínio na redução da turbidez na Estação de Tratamento (ETA) do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) dos municípios de Serra do Ramalho, Coribe e Santa Maria da Vitória, no Oeste da Bahia (Tabela 6). O SAAE efetua procedimentos técnicos de redução da dureza, ou amaciamento, da água subterrânea da localidade de Descoberto, no município de Coribe.

Verificou-se que a perda da qualidade microbiológica atingiu parte das águas das cisternas de captação de águas meteóricas, principalmente no Assentamento do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) de Mata Verde, em Serra do Ramalho. Propõe-se a oferta de educação ambiental e higiênico-sanitária para a melhoria do manejo das águas armazenadas nas cisternas de captação de águas meteóricas.

Assinala-se que os gestores dos usos da água nos municípios do Oeste da Bahia, e/ou no cenário estadual, devem preocupar-se com a vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Bambuí, cárstico-fissural, à poluição e contaminação microbiológica das águas. Gasser *et al.* (2018) concluíram a partir do estudo do Aquífero Salitre, na Bahia, que a gestão das águas de aquífero cárstico-fissural deve considerar a vulnerabilidade intrínseca para a prevenção da poluição hídrica, porque são reservatórios naturalmente vulneráveis.

Portanto, a emergência da poluição das águas subterrâneas de municípios do Oeste da Bahia demanda por políticas públicas municipais e estadual de saneamento e a

efetividade de direitos fundamentais à água potável, à saúde e ao saneamento, em respeito aos princípios do mínimo existencial ambiental e sociocultural e da dignidade humana.

CONCLUSÕES

Verificou-se que as águas bicarbonatadas cálcicas (54%) e mistas cálcicas (17%) foram as mais representativas nas amostras do período chuvoso (2010 e 2011) e as águas mistas cálcicas (22%) e as águas cloretadas cálcicas (12%) representaram as amostras do período de estiagem (2012). Além disso, um percentual entre 26 e 29% das amostras pertenceram às águas bicarbonatadas sódicas, coletadas sódicas e das águas mistas.

Obteve-se restrições de potabilidade para as seguintes variáveis hidroquímicas Ca^{2+} (73%), Al^{3+} (73%), N-NO_3^- (21%), Cd^{2+} (8%), Fe total (7%), DT (7%), STD (5%), Na^+ (4%), Cl^- (8%), Mn^{2+} (4%) e Ba^{2+} (2%). Outrossim, a quantificação dos coliformes termotolerantes indicou a perda da qualidade microbiológica de 26,83% das amostras de água subterrânea e de cisternas de armazenamento de águas meteóricas, onde as falhas no esgotamento sanitário representam riscos de poluição das águas e ameaçam a saúde.

As análises do nitrato e a quantificação dos coliformes termotolerantes destacaram a influência das falhas do saneamento na perda da qualidade das águas subterrâneas dos municípios do Oeste da Bahia. Demonstrou-se que as falhas do esgotamento sanitário representam riscos de poluição das águas e ameaçam a saúde dos sujeitos sociais. Com isso, demanda-se por monitoramento do nitrato e pelo uso de indicadores microbiológicos de qualidade nas águas subterrâneas, melhoria do saneamento e por educação ambiental e higiênico-sanitárias voltadas no manejo das cisternas de captação de águas meteóricas.

Concluiu-se que a realização de pesquisas interdisciplinares que compreendam a saúde nas suas relações com o ambiente e com a sociedade podem contribuir para melhor compreensão das interações entre o saneamento e a qualidade da água no Oeste da Bahia. Ademais, os resultados desvelam a demanda por políticas públicas de acesso aos direitos fundamentais ao saneamento, à água potável, ao ambiente salubre e à saúde, em respeito aos princípios do mínimo existencial ambiental e sociocultural e da dignidade humana.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Grupo Geoquímica das Interfaces (UFBA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de doutorado e pelo financiamento do Projeto Hidrogeoquímica dos Aquíferos Cársticos de Irecê e Serra do Ramalho, Bahia, no Edital Universal do CNPq nº 14/2011.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington, USA: D.C. APHA. 1995.
- AYACH, L. R.; DE LIMA GUIMARÃES, S. T.; CAPPI, N.; AYACH, C. Saúde, saneamento e percepção de riscos ambientais urbanos. **Caderno de Geografia**, v. 22, n. 37, p. 47-64, 2012.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BATISTA, F. S., CRUZ, M. J. M.; GONÇALVES, M. V.P.; RAMOS JUNIOR, A. B. D. S.; SANTOS, R. A.; PORCIÚNCULA, D. C. L.; ALENCAR, C. M. A.; ANDRADE, J.J. S.; RODRIGUES, A. Condições sociais de saúde, saneamento e qualidade da água subterrânea de municípios do Oeste da Bahia (BR). *In*: SALES, F. O. (Org.). **Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra**. Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação GM/MS nº. 888/21, de 4 de Maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 07 de maio de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 27.05.2022.
- CAMURUGY, E. B. **Uso da hidroquímica e isótopos estáveis (δD e $\delta^{18}O$) no estudo da qualidade e origem das águas subterrâneas do aquífero cárstico da região oeste do Estado da Bahia**. Monografia (Graduação), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil, 2009.
- CAPPI, N.; AYACH, L. R.; DOS SANTOS, T. M. B.; DE LIMA GUIMARÃES, S. T. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 16, n. 3, p. 77-92, 2012.
- CARVALHO, J. V. **Hidrogeoquímica e Isótopos Estáveis das Águas Subterrâneas do Aquífero Bambuí (Bahia, Brasil)**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2018. 53 f. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/28608>. Acesso em: 27.08.2022.
- CARVALHO, J. V.; NASCIMENTO, S. A. M.; GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M. Hidrogeoquímica das águas subterrâneas dos domínios Santa Maria da Vitória/Cocos, (NE Bahia, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v.36, p.e-22006, 2022.
- CASTRO, J. E.; HELLER, L.; MORAIS, M. P. **O direito à água como política pública na América Latina**. Brasília: Ipea, 2015.
- COSTA, D. A. **Controle lito-estrutural e estratigráfico na hidrogeoquímica e nas concentrações de fluoreto no Sistema Aquífero Cárstico - Fissural do Grupo Bambuí, norte de Minas Gerais**. 131 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-8JNPEM>. Acesso em: 27.05.2022.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2005). Disponível em <: <http://www.agsolve.com.br/pdf/artigos/novatabelacetesb2005.pdf> >. Acesso agosto de 2017.

Decisão de diretoria nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de São Paulo - Poder Executivo, SP, 3 de dezembro de 2005, seção 1, v.115, n.227, p.22-23.

COSTA, S. M.; ABREU, M. H. N. G.; VARGAS, A. M. D.; VASCONCELOS, M.; FERREIRA, E.; CASTILHO, L. S. Cárie dentária e fluorose endêmica em distritos rurais de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.16, p.1021- 1028, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-790X201300040002>

COUTINHO, C. A. M. **A fluorose dentária na região cárstica do município de Santana-BA: definição de áreas de risco para consumo humano das águas subterrâneas com base nos dados hidroquímicos e epidemiológicos.** 106 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Acesso em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/21533>. Disponível em: 27.05.2022.

CRUZ, M. J. M.; COUTINHO, C. A. M.; GONÇALVES, M.V.P. The Dental fluorosis on Santana karst region, Bahia State, Brazil. **Journal of Geography**, v.3, n. 2, p. 51-67, 2015. <http://dx.doi.org/10.15640/jges.v3n2a3>

CUNHA, M. P. da; GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. Contribuição ao entendimento dos processos naturais de dissolução de rochas carbonáticas na Bacia Sedimentar de Irecê, Bahia, NE do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v.36, n. e-22002. <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.202236002>

DAWSON, D. J.; SARTORY, D. P. Microbiological safety of water. **British Medical Bulletin**, v. 56, n. 1, p. 74-83, 2000.

DE CARVALHO, S. A.; ADOLFO, L. G.S. O direito fundamental ao saneamento básico como garantia do mínimo existencial social e ambiental. **Revista Brasileira de Direito**, v. 8, n. 2, p. 6-37, 2012.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL-FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed., rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; LABHIH, 2008. p.812 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.** Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

GASSER, R. S.; CRUZ, M. J. M.; GONÇALVES, M. V. P. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca a contaminação do aquífero cárstico Salitre no município de Cafarnaum, Bahia. **Águas Subterrâneas**, v.32, n.1, p.70-78, 2018.

GONÇALVES, M. V. P. **Flúor no Aquífero Bambuí no Sudoeste da Bahia (Brasil).** Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/21531>. Acesso em: 27.05.2022.

GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; SANTOS, R. A.; JUNIOR, A. B. D. S. R.; COUTINHO, C. A. M. Flúor na água do aquífero Bambuí no oeste da Bahia (Brasil). **Brazilian Journal of aquatic Science and technology**, v.22, n.1, p.10-21, 2018a.

GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; ALENCAR, C. M. M.; SANTOS, R. A.; RAMOS JUNIOR, A. B. S. et al. Geoquímica e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Ramalho, Bahia (BR). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.1, p. 159-172, 2018b. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018167893>.

GONÇALVES, M. V. P.; SANTOS, R. A.; JUNIOR, A. B. D. S. R.; COUTINHO, C. A. M.; CRUZ, M. J. M.; DA CUNHA, M. P. Flúor na água subterrânea de Feira da Mata e Santana (BA): comparação dos teores do fluoreto e saúde. **Geochimica Brasiliensis**, v. 33, n. 2, p. 175-175, 2019. <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2019332175>

GONÇALVES, M. P.; SANTOS, R. A.; RAMOS JUNIOR, A. B. S.; BATISTA, F. S.; SILVA, A. C. M.; CRUZ, M. J. M.; COSTA, A. B. Caracterização isotópica e qualidade das águas subterrâneas no município de Serra do Ramalho, Bahia (Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v.34, p.1, n.38-58, 2020a. <http://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2020341038>

GONÇALVES, M.V.P.; SANTOS, R. A.; COUTINHO, C.A.M; CRUZ, M. J. M. **Fluoride levels in the groundwater and prevalence of dental fluorosis in the municipality of Santana, um region karstic of West Bahia, Brazil**. In Groundwater Hydrology. IntechOpen. 2020b. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85007>

GONÇALVES, M. V. P.; COUTINHO, C. A. M.; CRUZ, M. J. M.; SANTOS, R. A.; PORCIÚNCULA, D.C. L.; RAMOS JÚNIOR, A. B. S. Geosciences, distribution of fluoride in groundwater and prevalence of endemic dental fluorosis in the municipality of Santana, Bahia (BR). **International Journal of Health Science**, v. 2, n. 22, p.1-23, 2022a. <http://doi.org/10.22533/at.ed.1592222230041>

GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; SANTOS, R. A.; ALENCAR, C. M. M.; DA PORCIÚNCULA, D. C. L.; RAMOS JUNIOR, A. B. S. Comportamento sazonal dos níveis do fluoreto nas águas subterrâneas (2010 a 2012) e riscos à saúde bucal em Serra do Ramalho, Bahia (BR). **Concilium**, v.22, n.4, p.44-63, 2022b. <http://doi.org/10.53660/CLM-291-306>

GONÇALVES, M. V. P.; PORCIÚNCULA, D.C. L.; ALENCAR, C. M. M.; TINÔCO, M.S.; CRUZ, M. J. M.; BATISTA, F. S.; RAMOS, V. M. L.; ARAÚJO, T. G. S.; MOREIRA, G. A.V.; RODRIGUES, A. C. Desigualdades Sócio-Espaciais na Região Metropolitana de Salvador, Bahia (BR): saneamento e qualidade da água subterrânea nos municípios de Itaparica e Vera cruz. In: PANIAGUA, C. E. S. (Org.). **Meio ambiente: preservação, saúde e sobrevivência 3**. Ponta Grossa - PR: Atena, 2022c. <https://doi.org/10.22533/at.ed.76322200517>
HELLER, L.; CASTRO, J. E. Política pública de saneamento: apontamentos teórico-conceituais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 284-295, 2007.

HEM, J.D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3. ed. Alexandria: USGS, 1985. Report 2000254.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 269-323.

HIRATA, R.; CAGNON, F.; BERNICE, A.; MALDANER, C. H.; GALVÃO, P.; MARQUES, C.; TERADA, R.; VARNIER, C.; RYAN, C.; BERTOLO, R. Nitrate Contamination in Brazilian Urban Aquifers: A Tenacious Problem. **Water**, v. 12, n. 2709, p.1-20, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DE BAHIA (SEI). **Cartas Plani-Altimétricas do Estado da Bahia**. Escala 1:100.000. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados do Censo demográfico**. Diário Oficial da União de 24/11/2010, Brasília. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Balanço hídrico e dados climatológicos. **Mapa Climatológico de Precipitação Pluviométrica Acumulada Anual (1931-1990), 2011 e 2012**. Disponível em: < www.inmet.gov.br >. Acesso em: 10 mar. 2016.

JADOSKI, S.O.; SAITO, L.R.; PRADO, C. de.; LOPES, E.C.; SALES, L.L.S.R. Characteristics of the Nitrate leaching in intensive farming áreas. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 1, 2010.

LEÃO, R. C.; GONÇALVES, Á. C.; SANTOS, C. T.B.; ANDRADE, A. A.; SILVA, M. C. S.; SILVA, M. B. O. Ocorrência de enteroparasitos e coliformes termotolerantes nas mãos de manipuladores de alimentos de um hospital de ensino. **Cadernos Saúde Coletiva**, n.26, v.2, p.211-215, 2018.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4ª ed. Átomo, 2016.

LIMA, A. S. **Composição e origem das águas minerais naturais**: exemplo de Caldas da Saúde. Almedina: Coimbra, 2010.

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água**. U.S. Agency for International Development, Recife, 1965. 75p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. de. **O Nitrogênio na Agricultura Brasileira**. CETEM: Série Estudos e Documentos, 2006.

MATÍAS-CERVANTES, C. A., LÓPEZ-LEÓN, S., MATÍAS-PÉREZ, D., GARCÍA-MONTALVO, I. A. El aluminio empleado en el tratamiento de aguas residuales y su posible relación con enfermedad de Alzheimer. **Journal of Negative and No Positive Results**, v.3, p. 139-143, 2018.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da água para o consumo humano**. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas, 2004. 640 p.

MENDONÇA, M. H. M.; ROSENO, S. A. M.; CACHOEIRA, T. R. L.; SILVA, Á. F. S.; JÁCOME, P. R. L. D. A.; JÁCOME, A. T. Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, p. 468-475, 2017.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, n. 36, v.3, p. 370-374, 2002

MISI, A.; IYER, S. S., COELHO, C. E. S.; TASSINARI, C. C. G.; FRANCA-ROCHA, W. J. S.; GOMES, A. S.; CUNHA, I. A.; TOULKERIDIS, T.; SANCHES, A. L. A metalogenic evolution model for the lead-zinc deposits of the Meso and Neoproterozoic sedimentary basins of the São Francisco Cráton, Bahia and Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.30, n.2, p.302-305, 2000. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000302302305>

MISI, A.; KAUFMAN, A. J.; AZMY, K.; DARDENNE, M. A.; SIAL, A. N.; DE OLIVEIRA, T. F. Neoproterozoic successions of the Sao Francisco Craton, Brazil: the Bambui, Una, Vazante and Vaza Barris/Miaba groups and their glaciogenic deposits. **Geological Society Memoirs (London)**, v.36, n.1, p.509-522, 2011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1144/M36.48>

NESTLER, A.; BERGLUND, M.; ACCOE, F. DUTA, S.; XUE, D.; BOECKX, P.; TAYLOR, P. Isotopes for improved management of nitrate pollution in aqueous resources: review of surface water field studies. **Environ Sci Pollut Res**, v.18, p.519–533, 2011.

OPS – ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **Agua y saneamiento: evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública.** Washington: OPS, 2011.

PAIVA, R. F. D. P. D. S.; SOUZA, M. F. D. P. D. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, n.34, v. 1, p. e00017316, 2018.

PES, J. H. F. Direito fundamental de acesso à água e o mínimo existencial ambiental. **Revista de Direito da Cidade**, v. 11, n. 4, p. 275-301, 2019.

PIPER, Arthur M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 25, n. 6, p. 914-928, 1944.
<https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>

REBOUÇAS. **Importância da Água Subterrânea.** In: Feitosa *et al.* (Org). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ª Ed. CPRM, 2008. 13-29 p.
RESENDE, A.V. de. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato.** Brasília: EMBRAPA Cerrados, 2002. 29 p. (Documentos, 57)

REYNOLDS-VARGAS, J.; FRAILE-MERINO, J.; HIRATA, R. Trends in nitrate concentrations and determination of their origin using stable isotopes (¹⁸O and ¹⁵N) in groundwater of the western Central Valley, Costa Rica. **Ambio: A Journal of the Human Environment**, v. 35, n. 5, p. 229–236, 2006.

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica dos Domínios Cársticos de Irecê, Bahia-Brasil.** 2017. 82 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 2017. Acesso em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/25830>. Disponível em: 22.05.2022.

SARLET, I. W. M. **A eficácia dos direitos fundamentais.** 10 ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2010.

SILVA, C. R.; VIGLIO, E.; QUINTARELLI, J. M. Geochemical megaprovince of fluorine and endemic fluorosis in the middle São Francisco river, Minas Gerais-Bahia, Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, v. 3, n. 3, p. 211-224, 2020.
<http://dx.doi.org/10.29396/jgsb.2020.v3.n3.5>

VARNIER, C.; IRITANI, M. A; VIOTTI, M.; ODA, G. H.; FERREIRA, L. M. R. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**, v.31, n.1-2, p.1-21, 2010.

VELÁSQUEZ, L. N. M.; FANTINEL, L. M.; FERREIRA, E. F.; CASTILHO, L. S.; UHLEIN, A.; VARGAS, A. M. D.; ARANHA, P. R. A. Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais. In: SILVA, C. R.; FIGUEIREDO, B. R.; DE CAPITANI, E. M.; CUNHA, F. G. (Org). **Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente.** Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, p.110-117, 2006.

XU, Y.; BAKER, L. A.; JOHNSON, P. C. Trends in Ground Water Nitrate Contamination in the Phoenix, Arizona Region. **Ground Water Monitoring & Remediation**, v. 27, n. 2, p. 49-56, 2007.

WALTON, J. R. An aluminum-based rat model for Alzheimer's disease exhibits oxidative damage, inhibition of PP2A activity, hyperphosphorylated tau, and granulovacuolar degeneration. **Journal of inorganic biochemistry**, v.101, p.1275-1284, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (W.H.O). **Guidelines for drinking-water quality.**
Geneva, Word Health Organization. Geneva: World Health Organization, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (W.H.O). **Guidelines for Drinking Water Quality.**
Geneva: Word Health Organization, 2011.

Recebido em: 10/08/2022

Aprovado em: 12/09/2022

Publicado em: 24/09/2022