

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS APLICADA NA AVALIAÇÃO GEOQUÍMICA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO AQUIFERO BAMBUÍ (BA): SIGNIFICADOS DOS TEORES DO FLÚOR À SAÚDE HUMANA

Manuel Vitor P. Gonçalves^{1*}, Antônio Bomfim S. Ramos Junior¹, Rodrigo A. Santos¹, Manuel Jerônimo M. Cruz²

1. Pesquisador do Grupo Geoquímica das Interfaces da Universidade Federal da Bahia - UFBA

2. Professor da Pós-Graduação em Geologia e Grupo Geoquímica das Interfaces da UFBA

Resumo

Esta pesquisa pretendeu investigar a influência de fatores geoquímicos na distribuição dos teores do flúor nas águas do Aquífero Bambuí, Oeste da Bahia. Foram coletadas águas de poços perfurados nas rochas do Grupo Bambuí, nos anos de 2010, 2011 (chuvoso) e 2012 (estiagem). As fácies bicarbonatadas cálcicas (51%), mistas cálcicas (20%) e cloretadas cálcicas (12%) foram as mais representativas, havendo uma relação entre as fácies sódicas e os altos teores do fluoreto, e os maiores valores das razões AT/DT e rNa^+/rCa^{2+} . Os níveis do fluoreto excederam o limite ótimo ($0,8 \text{ mg.L}^{-1}$) em 28% das amostras, variando de $0,1$ a $6,2 \text{ mg.L}^{-1}$, média de $0,96 \text{ mg.L}^{-1}$ e mediana de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$. A análise multivariada indicou que o acréscimo em flúor acompanha o aumento do pH e sódio e a redução dos teores do cálcio, demonstrando que a solubilidade da calcita controla a dissolução da fluorita, contribuindo para a melhor compreensão da distribuição dos teores do flúor e à promoção da saúde.

Palavras-chave: Recursos Hídricos, Geologia Médica, Análise Multivariada.

Apoio financeiro: Contou com o apoio do CNPq, pelas bolsas de doutorado e pelo financiamento do Projeto Hidrogeoquímica dos Aquíferos Cársticos de Irecê e Serra do Ramalho, Bahia (Edital Universal nº 14/2011).

Introdução

O consumo de águas subterrâneas com teores elevados de flúor e sua relação com a prevalência de fluorose endêmica tem sido um tema dos temas da geologia médica mais estudado no mundo (KOMATI; FIGUEIREDO, 2013). Desta forma, a Portaria de Consolidação nº. 5/17, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) e a Organização Mundial da Saúde (W.H.O.) (2006) preconizam um valor máximo de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ do íon fluoreto dissolvido na água potável. Mendes e Oliveira (2004) advertem que a dose ótima do fluoreto na água potável precisa ser reajustada, admitindo-se que o consumo de água varia em função da temperatura média anual do ar.

Rigo et al. (2014) apontam que a ingestão continuada de águas com níveis ótimas de fluoreto na dieta humana representa um fator de proteção contra cárie ou fluorose dentária. Parreiras et al. (2009) e Gallará et al. (2011) definem a fluorose dentária como uma alteração na formação do esmalte dentário, hipomineralização, a qual decorre da ingestão excessiva e prolongada do fluoreto, que tem repercussões estética e morfofuncionais.

Nas rochas, a fluorita é o mineral de flúor mais comum na natureza, que também ocorre em anfibólios, micas, fluorapatita, topázio e criolita, de modo que o intemperismo químico destes minerais de flúor o libera para a atmosfera, solos, águas, poeiras e à biota (NASEEM et al., 2010). As águas subterrâneas podem conter íons fluoreto desde níveis traços até teores extremos, e mesmo superiores a 1000 mg.L^{-1} (APAMBIRE et al., 1997).

Esta pesquisa centra-se na investigação hidrogeoquímica do Aquífero Bambuí, hospedado nas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, Bahia, que têm relevância para o abastecimento público. Neste aquífero, Velásquez et al. (2006) e Cruz, Coutinho e Gonçalves (2015) estudaram respectivamente a fluorose dentária no Norte de Minas Gerais e Oeste da Bahia, de modo que a prevalência e severidade foram atribuídas a ingestão de águas ricas em flúor. Esta pesquisa pretendeu investigar a influência de fatores geoquímicos na distribuição dos teores do flúor no Aquífero Bambuí, Bahia, com especial ênfase nos seus significados à saúde humana.

Metodologia

Esta pesquisa abrangeu os poços tubulares perfurados em municípios do Oeste da Bahia (Figura 1), com área de 10.622 km^2 , população de 112.123 mil habitantes e Produto Interno Bruto de 569.253 (IBGE, 2010).

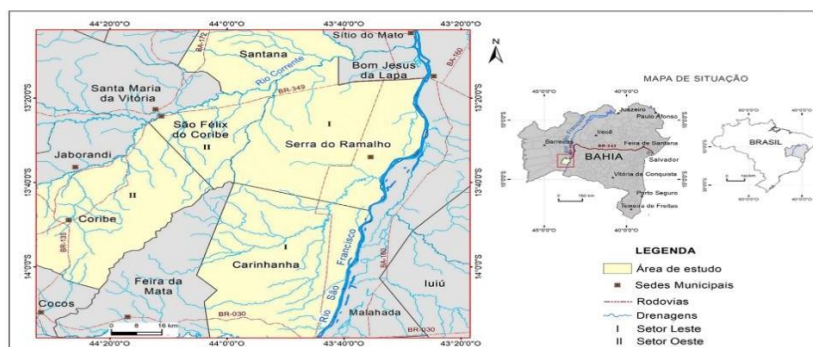


Figura 1 - Mapa de localização e situação do sítio de estudo, da Bahia.

Possui clima subúmido a semiárido, com temperaturas máxima e média anual de $31,7 \text{ }^\circ\text{C}$ e $25,6 \text{ }^\circ\text{C}$ e precipitação de 900 a 1.010 mm/ano . Na geologia regional, as rochas neoproterozóicas pelito-carbonáticas do

Grupo Bambuí se depositaram sobre o embasamento gnáissico-migmatítico do Arqueano-Paleoproterozóico (MISI et al., 2007). Na geologia local, destacam-se os calcários, dolomitos e os pelitos do Grupo Bambuí, que hospedam Aquífero Bambuí, cuja direção do fluxo segue de oeste para leste, na direção do rio São Francisco.

Foram coletadas amostras de águas de 61 poços tubulares perfurados nas rochas do Aquífero Bambuí, em dezembro de 2010, novembro de 2011 (chuvoso) e julho de 2012 (estiagem). Foram mensuradas, *in situ*, as variáveis físico-químicas, com uma sonda multiparâmetros e tomadas alíquotas para as análises laboratoriais, de acordo com a APHA (1995). As alíquotas de 0,5 L seguiriam para as análises de cátions e passaram por adição de ácido nítrico até pH < 2 e filtro de acetato de celulose 0,45 µm. As alíquotas de 1 L foram destinadas para as análises dos ânions, permanecendo *in natura*. Todas as alíquotas foram mantidas refrigeradas ($\pm 4^\circ\text{C}$).

As análises hidroquímicas foram realizadas no Laboratório do Plasma, Instituto de Geociências da UFBA. A leitura de cátions deu-se por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), em duplicatas, com 20% de triplicatas; e as análises dos ânions por titrimetria (HCO_3^- ; Cl^-), espectrofotometria (SO_4^{2-} ; NO_3^-) e colorimetria (SPANDS) (F^-), com auxílio do fluorímetro. O limite ótimo do fluoreto (C) (0,8 mg.L⁻¹) foi calculado segundo Galagan e Vermillion (1957), em função da temperatura média anual do ar regional (T). Foi utilizado o programa PHREEQC (PARKHURST; APPELO, 2013) para o cálculo do índice de saturação (IS).

A análise estatística abrangeu o teste de normalidade (*Shapiro-Wilk*), testes de comparações múltiplas (*ANOVA* e *Kruskal-Wallis*), com um nível de confiança de 95%, e a Análise de Componentes Principais (ACP). Nesta análise multivariada, a correlação entre os *loadings* de uma variável original será considerada forte para valores próximos a ± 1 , sendo considerada significativa para valores superiores a 0,5 (HU et al., 2013).

Resultados e Discussão

Hidroquímica e Qualidade da Água

A Figura 2 aponta as restrições locais de potabilidade preconizado pela Portaria de Consolidação nº 5/17 (BRASIL, 2017), ou pela W.H.O (2006), para as variáveis hidroquímicas. Os altos teores do cálcio e magnésio contribuem para dureza de carbonatos, cujas medidas em uma amostra de água não têm significado sanitário, mas causam inconveniência econômica por promover a redução da formação de espuma. Os teores do nitrato nas amostras de água revelam que caberia o monitoramento desta variável e melhorias higiênico-sanitárias.

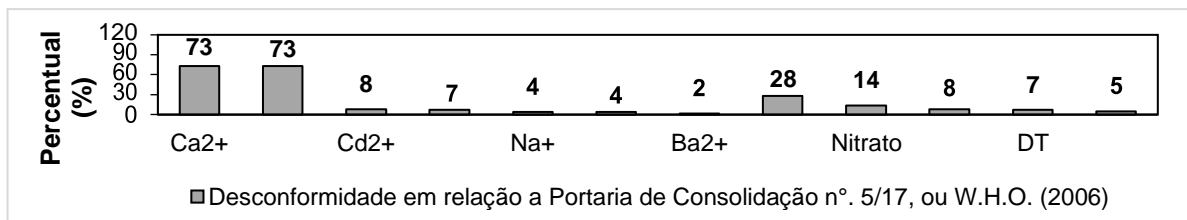


Figura 2 - Distribuição dos percentuais de amostras que excederam o limite de potabilidade das variáveis hidroquímicas.

As águas subterrâneas no sítio de estudo foram discriminadas pelos teores do fluoreto, nas zonas hidroquímicas, sendo uma carbonática, ou *Zona A*, e outra pelito-carbonática, a *Zona B* (Tabela 1). Na *Zona A*, ocorrem teores do flúor de 0,08 a 0,79 mg.L⁻¹, enquanto que na *Zona B* os valores variaram de 0,8 a 6,2 mg.L⁻¹.

Tabela 1 - Sumário estatístico dos valores do fluoreto em relação às variáveis hidroquímicas e razões geoquímicas distribuídas no modelo conceitual das zonas hidroquímicas carbonáticas (*Zona A*) e pelito-carbonáticas (*Zona B*).

Variáveis Hidroquímicas	Zona Hidroquímica A.1 (Fácies HCO_3^- - Ca^{2+} ; HCO_3^- - mistas)									Zona Hidroquímica A.2 (Fácies mistas)			Zona Hidroquímica B (HCO_3^- - Na^+ , Cl^- - Na^+)		
	< 0,2 mg.L ⁻¹ de F ⁻ (n = 11)			0,2 - 0,4 mg.L ⁻¹ de F ⁻ (n = 41)			0,4 - 0,6 mg.L ⁻¹ de F ⁻ (n = 24)			0,6 - 0,8 mg.L ⁻¹ de F ⁻ (n = 15)			> 0,8 mg.L ⁻¹ de F ⁻ (n = 31)		
	Min.	Máx.	Med.	Min.	Máx.	Med.	Min.	Máx.	Med.	Min.	Máx.	Med.	Min.	Máx.	Med.
F ⁻	0.08	0.19	0.16	0.20	0.39	0.27	0.40	0.56	0.51	0.60	0.79	0.69	0.81	6.20	1.95
pH	6.87	8.50	7.80	6.90	8.63	7.55	7.04	8.15	7.52	6.87	8.66	7.47	7.15	8.93	7.96
CE	443.00	1129.2	648.00	286.0	1450.0	815.00	625.00	1920.00	639.00	539.0	1060.0	748.00	458.00	2165.00	836.00
Na ⁺	2.13	35.96	4.03	2.37	34.47	12.37	9.46	88.79	23.61	1.89	107.84	19.15	9.40	245.40	67.81
Ca ²⁺	52.91	121.11	101.90	18.22	220.50	120.60	60.13	196.19	124.55	28.30	185.55	98.14	5.45	205.40	31.56
DT	154.61	360.33	294.94	89.68	609.34	351.87	224.11	593.89	380.08	138.07	601.48	323.38	25.04	682.36	145.45
AT _{Bic} /DT	0.59	1.01	0.79	0.41	1.08	0.73	0.35	1.15	0.67	0.45	1.06	0.73	0.35	11.98	1.25
r HCO_3^- /r Ca^{2+}	0.60	0.95	0.75	0.37	1.48	0.71	0.35	1.50	0.66	0.48	1.69	1.21	0.37	16.69	1.72
r Na^+ /r Ca^{2+}	0.02	0.32	0.04	0.02	0.53	0.08	0.08	1.19	0.16	0.02	1.80	0.09	0.07	11.98	1.62
r $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ -r HCO_3^-	0.55	3.31	2.09	0.44	8.07	2.86	0.27	8.49	3.71	0.35	7.57	2.59	-6.07	9.59	-0.33
r Cl^- - r $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ /r Cl^-	0.52	3.93	0.77	0.07	8.79	1.78	-1.68	16.14	2.91	-1.23	3.76	1.34	-7.29	9.14	1.10
IS Calcita	-0.11	-0.88	-2.68	-0.20	-1.05	-2.74	-0.21	-1.02	-1.70	-0.16	-0.98	-1.79	-0.06	-4.60	-1.78
IS Dolomita	1.31	2.16	-1.38	1.44	2.46	-1.61	1.14	2.02	-0.67	0.90	1.82	-1.01	1.08	2.12	0.43
IS Fluorita	0.37	0.15	-2.38	0.53	0.48	-1.94	0.47	0.34	-1.47	0.33	0.36	-1.57	0.46	0.85	-0.80

As águas da *Zona Hidroquímica A* possuem altos teores do cálcio e baixos valores do fluoreto e sódio, de modo que a média e mediana da razão geoquímica r HCO_3^- /r Ca^{2+} foram inferiores a 1,5 (Tabela 1). De acordo com Roisenberg et al. (2003), os valores desta razão geoquímica inferiores a 1,5 condizem com condições de dissolução da calcita e subsaturação da solução, a circulação das águas no aquífero e da interação água-rocha. Verifica-se um paralelismo entre os íons sódio e cloreto no intervalo de 0,4 a 0,6 mg.L⁻¹, refletindo a contribuição das chuvas; bem como entre os íons cálcio e bicarbonato, atribuída a dissolução de minerais carbonáticos nas rochas do Grupo Bambuí. Neste intervalo, os teores dos íons cálcio ainda não controlam a solubilidade da fluorita.

Na *Zona Hidroquímica B*, as águas subterrâneas mostram-se ricas em flúor e sódio, mas empobrecidas em cálcio, com valores médio e mediano da razão $r\text{HCO}_3^-/r\text{Ca}^{2+}$ superiores a 1,5 (Tabela 1), indicando que o intemperismo das rochas pelíticas e a lixiviação de minerais hospedados nestas fornece HCO_3^- e Na^+ à solução. Os valores mais altos das razões geoquímicas AT/DT , $r\text{Na}^+/r\text{Ca}^{2+}$ permitem a proposição de que o acréscimo de sódio na solução promove o aumento da alcalinidade nesta, condições que favorecem a solubilidade da fluorita.

Análise Multivariada e Hidrogeoquímica do Flúor

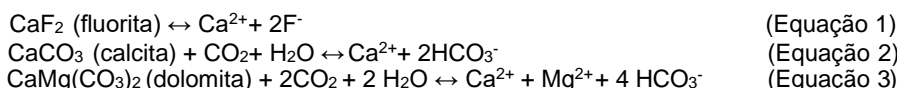
A Análise de Componentes Principais (ACP) abrangeu 13 variáveis mensuradas nas águas subterrâneas e demonstra que as componentes CP1, CP2, CP3 e CP4 descrevem 80% da variância total, cujas componentes CP1 e CP2 estão fortemente associadas ao fluoreto (Tabela 2). As componentes CP1 e CP2 explicaram 55%, 61% e 62% da variabilidade, existindo um comportamento distinto na amostra de 2010, atribuído a menor abrangência espacial e domínio das unidades aquíferas carbonáticas. Estas componentes apontam a relevância do clima e da interação água-rocha para a mineralização das águas, cujos íons principais são disponibilizados à solução pelo intemperismo químico da calcita, dolomita e fluorita nas rochas que hospedam o Aquífero Bambuí.

Tabela 2 - Matriz de correlação entre as componentes principais e variáveis hidroquímicas das amostras.

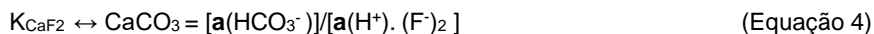
Variáveis	Amostra de 2010 (chuvoso)				Amostra de 2011 (chuvoso)				Amostra de 2012 (estiagem)			
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP4
pH	-0.49	0.59	0.01	0.14	-0.55	-0.43	-0.09	-0.24	-0.71	0.27	0.26	-0.09
ORP	0.24	-0.79	-0.07	-0.27	0.66	-0.15	-0.24	-0.17	0.63	-0.39	0.12	-0.27
CE	0.76	0.41	-0.04	0.38	-0.41	0.86	-0.19	0.07	0.40	0.87	0.15	0.10
Na ⁺	0.30	0.64	0.47	-0.45	-0.93	0.23	-0.02	-0.05	-0.55	0.77	-0.09	-0.02
K ⁺	0.47	0.34	0.42	-0.61	-0.45	0.52	0.27	-0.45	-0.01	0.72	-0.10	-0.44
Ca ²⁺	0.68	-0.66	0.09	0.02	0.74	0.59	-0.06	0.17	0.93	-0.03	0.10	0.24
Mg ²⁺	0.72	0.12	-0.27	-0.12	0.41	0.48	0.54	-0.20	0.67	0.16	-0.38	-0.28
Cl ⁻	0.52	-0.22	0.56	0.13	-0.04	0.81	-0.44	-0.06	0.40	0.73	0.43	0.03
HCO ₃ ⁻	0.53	-0.11	-0.70	-0.25	-0.14	0.43	0.44	0.66	0.25	0.30	-0.61	0.57
SO ₄ ²⁻	0.70	0.49	-0.09	0.22	0.16	0.40	0.52	-0.59	0.47	0.32	-0.42	-0.5
NO ₃ ⁻	-0.02	-0.27	0.71	0.24	0.31	0.28	-0.68	-0.26	0.26	0.00	0.74	-0.02
F ⁻	0.17	0.54	-0.17	-0.23	-0.92	0.16	-0.01	0.07	-0.63	0.68	-0.11	0.14
DT	0.82	-0.49	0.04	0.00	0.74	0.63	0.07	0.10	0.96	0.00	0.01	0.15
Autovalores	4.52	3.23	1.85	1.22	5.52	2.60	1.80	1.22	5.47	2.57	1.76	1.10
Variância Total (%)	32.00	22.80	13.00	8.70	31.20	29.30	11.60	8.96	33.20	29.00	11.40	7.50
Acumulada (%)	32.00	54.80	67.80	76.50	31.20	60.50	72.10	81.10	33.20	62.20	73.70	81.10

As componentes CP1 e CP2 revelam o paralelismo entre as variáveis pH, STD, Na⁺ e os íons F⁻; bem como aponta o comportamento hidrogeoquímico distinto entre os *loadings* das variáveis Ca²⁺, DT e íons fluoreto, sendo atribuído ao controle que a saturação da solução em calcita exerce sobre a solubilidade da fluorita nas águas do Aquífero Bambuí (Equações 1 a 3). A saturação da solução em calcita controla a solubilidade da fluorita, devido ao efeito de íon comum e da maior abundância da fase mineral calcita na água (APAMBIRE et al., 1997).

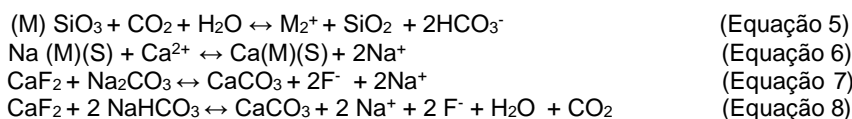
A dissolução dos minerais calcita e dolomita das rochas do Grupo Bambuí, pela ação do CO₂, fornece íons Ca²⁺ e Mg²⁺ para as águas subterrâneas (Equações 2 e 3). Nas condições alcalinas das amostras prevalece a reação inversa, que precipita a calcita. Também, a dissolução da fluorita pode ocorrer na solução saturada em calcita, nas águas alcalinas e sob influência de altas temperaturas do ar, com coprecipitação de Ca²⁺ e HCO₃⁻.



Handa (1975) propôs um modelo para compreender a hidroquímica do flúor de aquíferos cristalinos, em que K e a são respectivamente a constante de solubilidade e a atividade iônica (Equação 4). Este modelo elucidada a correlação entre os íons F⁻, Ca²⁺ e HCO₃⁻, se as condições de pH forem relativamente constante, cujas reações de troca de base e precipitação da calcita adicionam HCO₃⁻ à solução, e elevam a solubilidade da fluorita. Propõem-se que o modelo hidrogeoquímico do flúor descrito por Handa (1975) e Rao (2011) possa ser aplicado, após adaptado para os meios cársticos, na pesquisa da hidrogeoquímica do flúor no Aquífero Bambuí, na Bahia.



Os íons Ca²⁺ e Na⁺ têm comportamentos diversos no Aquífero Bambuí, oscilando conforme a distribuição de unidades aquíferas carbonáticas (*Zona A*) e pelito-carbonáticas (*Zona B*). O intemperismo químico e a lixiviação de carbonatos impuros e plagioclásios adicionam íons Na⁺ litogênico e HCO₃⁻ e elevam o pH da água, ao passo que as reações de troca de bases removem Ca²⁺, influenciando a solubilidade da fluorita. As Equações 5 a 8 mostram os argilominerais (M), após a alteração de carbonatos impuros e dos pelitos do Grupo Bambuí.



Conclusões

As amostras de água subterrânea, no contexto do Aquífero Bambuí, foram predominantemente oxidantes e alcalinas, sendo mais representativas as fácies hidroquímicas bicarbonatadas cálcicas (51%), mistas cálcicas (20%) e cloretadas cálcicas (12%), havendo uma nítida relação entre as fácies sódicas e os altos teores do flúor.

Ocorreram restrições locais de potabilidade para as variáveis hidroquímicas Ca^{2+} (73%), Al^{3+} (73%), Cd^{2+} (8%), ferro total (7%), Na^+ (4%), Cl^- (8%), Mg^{2+} (4%), Ba^{2+} (2%), fluoreto (28%), nitrato (14%), STD (5%) e DT (7%).

A análise multivariada apontou que as diferenças na mineralização, razões geoquímicas, nos índices de saturação das fases minerais modelizadas e teores do fluoreto diferiram nas *Zona Hidroquímica A* e *B*. Também, indicou que o acréscimo em flúor na solução acompanha o aumento do pH e sódio e a redução dos teores do cálcio, demonstrando que a solubilidade da calcita controla a dissolução da fluorita. Na *Zona Hidroquímica B*, as águas mostram-se enriquecidas em flúor e sódio, indicando que o intemperismo químico das rochas pelíticas e a lixiviação de minerais hospedados nestas forneceriam íons bicarbonatos e sódio litogênico para a solução.

A compreensão da distribuição dos níveis de flúor nas águas do Aquífero Bambuí, no Oeste da Bahia, servirá à gestão recursos hídricos, respeitando os critérios de qualidade e os usos múltiplos da água, e para a promoção da saúde pública. Deve-se priorizar o monitoramento da qualidade da água subterrânea, com ênfase nos teores do fluoreto, e a vigilância epidemiológica da fluorose dentária e outros agravos à saúde pública.

Referências bibliográficas

APHA. (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater, 19nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, USA: DC.

APAMBIRE, W.B.; BOYLE, D.R.; MICHEL, F. A. Geochemistry, genesis, and health implications of fluoriferous groundwaters in the upper Regions of Ghana. **Environmental Geology**, n.33, p.13-24, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017: Dispõe sobre Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília: **Diário Oficial da União**.

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.

GALAGAN, D.J.; VERMILION, J.R. Determining optimum fluoride concentrations. **Pulic health reports**, v.72, n.6, p.491-493, 1957.

GALLARÁ, R. V.; PIAZZA, L.; PIÑAS, M.; EUGENIA, M. Endemic fluorosis in Northern and Northwestern rural areas in the Province of Cordoba, Argentina. **Revista de Salud Pública**, v. XV, n. 1, p. 40-48, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/Salvador/BA/panorama>. Acessado em: 22 ago. 2019.

HANDA, B.K. Geochemistry and genesis of fluoride-containing ground waters in India. **Ground Water**, v.13, n.3, p.275-280, 1975.

HU, S.; TING, L.; JING, C. Principal component analysis of fluoride geochemistry of groundwater in Shanxi and Inner Mongolia, China. **Journal of Geochemical Exploration**, v.135, p.124–129, 2013.

KOMATI, S.H.; FIGUEIREDO, B.R. Flúor em água e prevalência de fluorose em Amparo (SP). **Geociências (São Paulo)**, v.32, n.3, p.547-559, 2013.

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

MISI, A.; KAUFMAN, A.J.; VEIZER, J.; POWIS, K.; AZMYE, K.; BOGGIANIF, P.C.; GAUCHER, C.; TEIXEIRA, J.B.G.; Sanches, A. L.; IYERI, S. Chemostratigraphic Correlation of Neoproterozoic successions in South America. **Chemical Geology**, v.237, n. 1-2, p.161-185, 2007.

NASEEM, S.; RAFIQUE, T.; BASHIR, E.; BHANGER, M. I.; LAGHARI, A.; USMANI, T. H. Lithological influences on occurrence of high-fluoride groundwater in Nagar Parkar Area, Thar Desert, Pakistan. **Chemosphere**, v.78, n.11, p.1313–1321, 2010.

PARREIRAS, P.M.; SILVA, A.P.A.; ZOCRATTO, K.B.F. Fluorose dentária: percepção dos portadores e seus responsáveis. **Revista da Faculdade de Odontologia**, v.14, n.1, p.18-22, 2009.

PARKHURST, D. L.; APPELO, C. A. J. **Description of input and examples for PHREEQC version 3-A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S.** Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. Disponível em: < <http://pubs.usgs.gov/tm/06/a43>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

RAO, S.N. High-fluoride Groundwater. **Environmental Monitoring Assessment**, v.176, n.1-4, p. 637– 375, 2011.

RIGO, L.; SABADIN, C.S.; WIETHOLTER, P.; SOLDA, C.; FLORES, R. A. Prevalência de fluorose dentária em crianças de uma escola municipal de Passo Fundo/RS. **Full Dent. Sci.**, v.5, n.19, p.472-476, 2014.

ROISENBERG, C.; VIERO, A. P.; ROISENBERG, A.; SCHWARZBACH, M. S.; MORANTE, I. C. Caracterização geoquímica e gênese dos principais íons das águas Subterrâneas de Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 4, p.137-147, 2003.

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. da et al. (Org). **Geologia Médica no Brasil**. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, n.6, p.110-117, 2006.

W.H.O. - World Health Organization (2006). Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization. Geneva: World Health Organization.