

# Flúor nas águas subterrâneas dos municípios de Feira da Mata e Santana (BA): comparação dos teores do fluoreto e seu significado na saúde da população

Manuel Vitor Portugal Gonçalves<sup>1\*</sup>  
Rodrigo Alves Santos<sup>1</sup>  
Antônio Bomfim Da Silva Ramos Junior<sup>1</sup>  
Carlos Alberto Machado Coutinho<sup>1</sup>  
Manoel Jerônimo Moreira Cruz<sup>1</sup>  
Mônica Pringsheim Da Cunha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grupo Geoquímica das Interfaces  
Instituto de Geociências  
Universidade Federal da Bahia (UFBA).  
Rua Barão de Geremoabo S/N, Campus Ondina  
Salvador BA Brasil.  
CEP 40170-115

<sup>2</sup> Instituto Federal da Bahia (IFBA).  
Av. Araújo Pinho, nº39  
Canela  
Salvador BA Brasil  
CEP: 40.110-150

\*Autor correspondente  
hidrovitor81@gmail.com

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo investigar a composição química das águas subterrâneas dos municípios de Feira da Mata e de Santana, no oeste da Bahia, com ênfase na distribuição das concentrações do flúor. Foram coletadas águas em quinze poços perfurados nas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, no ano de 2012. As variáveis físico-químicas foram mensuradas *in situ*, por meio de sonda multiparâmetros. As análises dos cátions deram-se por ICP-OES e dos ânions por titrimetria, espectrofotometria e colorimetria (SPANSO) (F<sup>-</sup>). No município de Feira da Mata, ocorreram águas bicarbonatadas cálcicas (87%) e bicarbonatadas sódicas (13%), em que os níveis do fluoreto excederam o limite de potabilidade do fluoreto para 13% dos poços. No município de Santana, foram representativas as águas bicarbonatadas cálcicas ou mistas cálcicas (63%) e bicarbonatadas sódicas (23%), em que os níveis do fluoreto excederam o limite de potabilidade para 40% dos poços. A distribuição dos níveis de flúor nas águas subterrâneas dos municípios de Feira da Mata e Santana indica que o monitoramento da qualidade dessas e a vigilância epidemiológica da cárie ou fluorose dentária devam ser priorizados.

**Palavras-Chave:** Geologia Médica; Aquífero Bambuí; Flúor em água.

## ABSTRACT

This research aimed to investigate the chemical composition of the groundwater of the municipalities of Feira da Mata and Santana, in western Bahia, with an emphasis on the distribution of fluoride concentrations. Water was collected in fifteen wells drilled in the pellet-carbonate rocks of the Bambuí Group in the year 2012. The physicochemical variables were measured *in situ* by means of a multiparameter probe. The analysis of cations given up by ICP-OES and anions by titrimetry, spectrophotometry and colorimetry (SPANSO) (F<sup>-</sup>). In the municipality of Feira da Mata, bicarbonated calcium (87%) and sodium bicarbonate (13%) occurred, in which the fluoride levels exceeded the fluoride potability limit for 13% of the wells. In the municipality of Santana, bicarbonated calcium or mixed calcium (63%) and sodium bicarbonate (23%) waters were representative, in which the fluoride levels exceeded the potability limit for 40% of the wells. The distribution of fluoride levels in the groundwater of the municipalities of Feira da Mata and Santana indicates that the quality monitoring of these and the epidemiological surveillance of dental caries or fluorosis should be prioritized.

**Keywords:** Medical Geology; Fluorite; Bambuí Aquifer; Fluor in water.

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão da qualidade da água deve ser universal e alvo da atenção de autoridades sanitária e de saúde pública, porque a dignidade humana depende do acesso dos grupos sociais a água potável. As águas naturais, a exemplo da água subterrânea, podem conter íons dissolvidos, a exemplo do fluoreto, em níveis naturais em quantidades adversas à saúde humana (Vikas *et al.*, 2013; Raju, 2017).

No âmbito da geologia médica, a relação flúor-saúde tem relevância mundial, pela importância da ingestão de água com níveis tóxicos de flúor quanto via de exposição (Komati & Figueiredo, 2013). Nas rochas, a fluorita é o mineral de flúor mais comum na natureza, que também ocorre em anfíbios, micas, fluorapatita, topázio e criolita, cujo intemperismo químico das rochas que hospedam minerais de flúor o libera à atmosfera, solos, água, poeira e à biota (Gupta *et al.*, 2005; Naseem *et al.*, 2010).

O flúor ocorre em águas naturais como fluoreto, variando desde teores traços até 2.800 mg.L<sup>-1</sup> (Apambire *et al.*, 1997). Edmunds & Smedley (2005) e Gallará *et al.* (2011) relacionam a ingestão de água com nível ótimo de flúor a uma mediada de proteção contra cárie ou fluorose dentária. A Portaria nº 2914/11 (Brasil, 2011) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 1996) recomendam o limite máximo de 1,5 mg.L<sup>-1</sup> para a água potável. Este limite de potabilidade deve ser ajustado de acordo com a temperatura

## 2. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Os municípios de Feira da Mata e de Santana se inserem no oeste da Bahia (Figura 1). Feira da Mata possui área de 1.176,1 km<sup>2</sup>, população de 6.184 habitantes e Produto Interno Bruto (PIB) na ordem de 29.951 mil reais. Santana apresenta 1.820,20 km<sup>2</sup> de extensão, população de 24.750 habitantes e PIB de 130.550 mil reais (IBGE, 2010). Estes municípios apresentam classificação climática variando de subúmido a semiárido, temperatura média anual de 24,3 °C e precipitações médias de 800 a 1.010 mm/ano, concentrada entre novembro e abril, com estiagem entre maio a outubro (INMET, 2016).

média do ar local (Mendes & Oliveira, 2004). As mudanças na constituição do esmalte, que causam manchas ou perda de sua estrutura, como a fluorose dentária, causam problemas estéticos, funcionais e psicológicos (Rigo *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2015; Raju, 2017).

Velásquez *et al.* (2006); Coutinho (2014) realizaram estudo epidemiológico da prevalência da fluorose dentária, aos 12 anos de idade, em São Francisco, norte de Minas Gerais, e Santana, oeste da Bahia, cujo limite de potabilidade local foi de 0,8 mg.L<sup>-1</sup>. Verificaram que estes sítios de estudo representavam áreas endêmicas de fluorose dentária, sendo que a prevalência e a severidade estariam correlacionadas ao consumo de águas com níveis naturais e tóxicos de flúor do Aquífero Bambuí.

A rede de poços perfurados nas litofácies carbonáticas do Grupo Bambuí complementa o abastecimento público nos municípios Feira da Mata e Santana, situados no oeste da Bahia (Figura 1). Cruz *et al.* (2015) caracterizaram o município de Santana como área endêmica de fluorose dentária. Neste contexto, emerge a relevância científico-social e epidemiológica dessa pesquisa, devido à similaridade entre a geologia e clima dos municípios de Feira da Mata e Santana. O objetivo principal deste estudo é investigar a composição química das águas subterrâneas dos municípios de Feira da Mata e de Santana, no oeste da Bahia, com especial ênfase na distribuição das concentrações do flúor.

Na geologia regional, as rochas neoproterozóicas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí se destacam e depositam-se sobre o embasamento gnáissico-migmatítico, Arqueano-Paleoproterozóico (Misi *et al.*, 2011). Nos municípios de Feira da Mata e Santana afloram, localmente, dolomitos da Fm. Sete Lagoas, ou da Fm. Lagoa do Jacaré, e os pelitos (siltitos, folhelhos, argilitos, ardósias) com calcários subordinados, da Fm. Serra de Santa Helena ou da Fm. Serra da Saudade. Também, podem ser encontradas coberturas detríticas e aluviais Tércio-quadernários e arenitos cretáceos do Grupo Uruçuia.

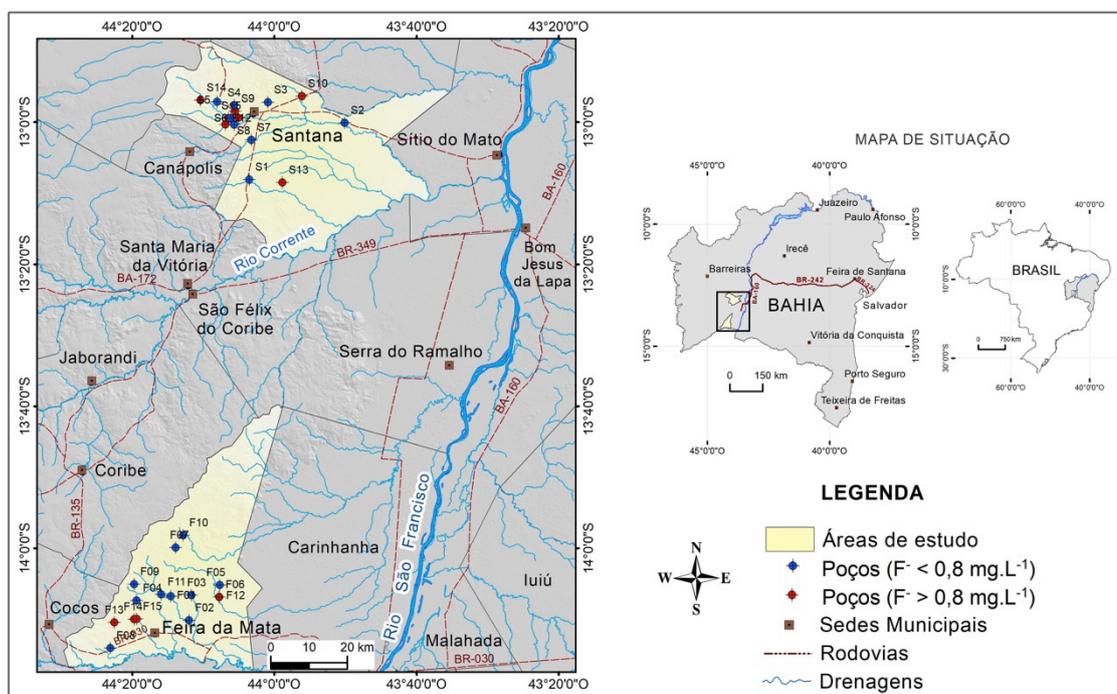


Figura 1

Mapa de localização e situação dos municípios de Feira da Mata e Santana. Fonte: IBGE/SEI (2008).

Os poços tubulares perfurados em Feira da Mata e Santana (Figura 1) cortam as litofácies do Grupo Bambuí, que hospedam o Aquífero Bambuí, cujas águas complementam o abastecimento público. Além disso, área de estudo insere-se no subdomínio hidrogeológico cárstico do oeste do rio São Francisco, na Bahia,

sendo caracterizado pela precipitação média anual superior a 800 mm/ano. Negrão (2007) dividiu os aquíferos cársticos da Bahia em dois subdomínios: uma subunidade situada em áreas de precipitação média inferior a 800 mm/ano e a outra em área de precipitação média superior a 800 mm/ano (Tabela 1).

Tabela 1 - Características dos aquíferos Urucuaia e Domínio Cárstico do Oeste do rio São Francisco (BA).

Parâmetros	Urucuaia (n = 147) <sup>A</sup>			Cárstico-Fissural (regime de precipitações)						Serra do Ramalho (n= 40) <sup>B</sup>		
	Mín.	Máx.	Média	< 800mm/ano (n = 2.111) <sup>A</sup>			> 800mm/ano (n = 1.168) <sup>A</sup>			Mín.	Máx.	Média
				Mín.	Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média			
Profundidade (m)	10.00	355.00	110.00	13.00	204.00	93.17	11.00	218.00	96.98	43.00	150.00	86.47
Vazão (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	1.00	520.00	43.50	0.00	203.00	9.04	0.00	79.20	9.93	0,84	30.00	11.69
STD (mg.L <sup>-1</sup> )	10.00	1.000.00	163.90	86.00	18.586.00	1.324.14	42.00	4.474.00	660.00	213.00	1.121.00	450.00
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	1.00	250.00	37.44	3.00	7.950.00	324.36	1.00	1.498.00	86.73	10.40	656.00	105.80
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> N)	0.02	1.90	0.52	ND	96.74	10.73	ND	97.47	2.50	0.35	17.60	6.96
DT (mg.L <sup>-1</sup> )	1.00	403.00	85.00	30.00	8.900.00	792.41	9.00	2.121.00	369.66	102.65	659.30	346.20

<sup>A</sup>Negrão (2007); <sup>B</sup> Região da Serra do Ramalho (BA) (Gonçalves, 2014); STD: sólidos totais dissolvidos; DT: dureza total.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram amostradas águas de 15 poços tubulares perfurados nas rochas do Aquífero Bambuí, no mês de julho de 2012 (estiagem) (Figura 1). Foram mensuradas, *in situ*, as variáveis físico-químicas (sólidos totais dissolvidos-STD, condutividade elétrica-CE e potencial hidrogeniônico-pH) através de sonda multiparâmetros (*Horiba U-50*) e tomadas alíquotas para as análises laboratoriais. Estas foram armazenadas em recipientes de polietileno (0,5L e 1L), segundo as orientações da APHA (1995). As alíquotas de 0,5 L passaram por adição de ácido nítrico até pH <

2 e filtro de acetato de celulose 0,45 µm para as análises de cátions. As alíquotas de 1 L permaneceram *in natura*, para análises dos ânions.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório do Plasma, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Os cátions foram determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES 700 *Agilent Technologies*), em duplicatas. A leitura dos ânions foi realizada pelos métodos titrimétrico (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>), espectrofotométrico UV-VIS

(*Varian*) ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) e colorimetria (F) (SPANDS), com auxílio de um fluorímetro (LS 4000). Este método, dependente da reação entre o ânion fluoreto e o corante vermelho de zircônio, em espera-se que parte do corante se dissocie e forme um complexo incolor ( $\text{ZrF}_6^{2-}$ ), cuja atividade do fluoreto é inversamente proporcional a cor do complexo produzido. Tem-se que a quantificação do íon fluoreto pode ser realizada pela medida do grau de descoloração da solução que contém o corante (SPADNS).

A análise estatística contemplou testes diversos, como o teste de normalidade (*Shapiro-Wilk*), testes de comparações

múltiplas paramétrico (*Teste t*), ou não-paramétricos (*Mann-Whitney*), com nível de significância de 0,05%, e a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA). Foram utilizadas o sumário estatístico e as saídas gráficas dos seguintes programas: STATISTICA 7.0 (box-plot, PCA), BioEstat 5.3 (análise descritiva e Teste de *Shapiro-Wilk*) e Instat 3 (Testes de comparações múltiplas). Nesta, a correlação entre os *loadings* de uma variável original, ou seja, a sua contribuição, será forte para valores próximo a  $\pm 1$ , e significativa para valores superiores a 0,5 (Hu *et al.*, 2013).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

A aplicação dos testes de comparações múltiplas admitiu o uso do modelo paramétrico para as variáveis com distribuição gaussiana (*teste de T Student*) e do modelo não paramétrico para as variáveis que revelaram distribuição não gaussiana ou para outro arranjo, híbrido (*Mann-Whitney*) (Tabelas 2-3). O teste de *Mann-Whitney* mostrou que existe diferença estatística significativa entre as medianas das variáveis CE ( $p=0,01$ ), STD ( $p=0,01$ ),  $\text{Na}^+$  ( $p=0,001$ ),  $\text{HCO}_3^-$  ( $p<0,0001$ ),

$\text{Cl}^-$  ( $p=0,004$ ) e  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $p=0,049$ ) entre as amostras de águas subterrâneas de Feira da Mata e Santana. Entretanto, as medianas das variáveis pH ( $p=0,74$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $p=0,49$ ) e  $\text{NO}_3^-$  ( $p=0,7$ ) não diferiram entre os municípios. O teste *t de Student* indicou não haver diferença significativa entre as médias do  $\text{Ca}^{2+}$  ( $p=0,09$ ), mas as médias das variáveis  $\text{K}^+$  ( $p=0,001$ ) e DT ( $p=0,04$ ) diferiram significativamente entre estes sítios de estudo.

**Tabela 2** - Resultado das análises de parâmetros hidroquímicas e isótopos ambientais das amostras de água subterrânea coletada na campanha de 2012, no município de Feira da Mata (BA).

Poço	Localidade	$\mu\text{S.cm}^{-1}$					$\text{mg.L}^{-1}$							
		pH	CE	STD	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	Cl	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	DT	F
Portaria 2.914/2011; WHO (2003)		6.5-9.5	-	1000.00	200.00	-	75.00	50.00	250.00	-	250.00	10.00	500.00	1.50
	Mínimo	7.20	387.70	252.00	7.20	0.60	36.40	7.30	31.90	253.70	5.90	0.01	117.50	0.20
	Máximo	8.90	1021.50	644.00	185.70	2.50	154.40	22.90	116.10	355.40	75.70	3.40	464.30	4.50
	Média	7.81	732.80	471.87	34.28	1.34	107.47	13.04	65.18	292.23	23.37	0.81	332.54	0.97
	Mediana	7.70	753.00	486.00	16.00	1.40	112.90	11.60	65.30	295.80	20.70	0.60	349.80	0.50
	Desvio Padrão	0.47	174.94	110.29	51.64	0.49	32.53	4.58	24.71	29.20	16.99	0.96	86.00	1.21
	Erro Padrão	0.12	45.17	28.48	13.33	0.12	8.40	1.18	6.38	7.54	4.39	0.25	22.21	0.31
	Coefficiente de Variação (%)	6.06	23.87	23.37	150.65	36.54	30.27	35.15	37.91	9.99	72.7	118.4	25.9	125.0
	Teste de Shapiro-Wilk ( <i>p-valores</i> )	0.04**	0.47*	0.44*	0.007**	0.09*	0.53*	0.38*	0.50*	0.23*	0.009**	0.009**	0.31*	0.01**

\*Distribuição gaussiana; \*\*Distribuição não gaussiana.

**Tabela 3** - Resultado das análises de parâmetros hidroquímicas e isótopos ambientais das amostras de água subterrânea coletada na campanha de 2012, no município de Santana (BA).

Poço	Localidade	$\mu\text{S.cm}^{-1}$					$\text{mg.L}^{-1}$							
		pH	CE	STD	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	Cl	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	DT	F
Portaria 2.914/2011; WHO (2003)		6.0-9.5	-	1000.00	200.00	-	75.00	50.00	250.00	-	250.00	10.00	500.00	1.50
	Mínimo	7.26	688.00	440.00	18.80	1.30	5.45	1.22	40.39	178.00	10.57	0.04	26.36	0.14
	Máximo	8.93	1730.00	1110.00	238.30	5.21	197.27	16.86	300.50	366.00	85.53	5.40	548.80	6.20
	Média	7.92	971.52	625.16	85.05	2.69	77.65	10.74	113.74	234.92	50.09	1.05	238.40	1.96
	Mediana	7.65	918.50	597.00	35.96	2.70	93.21	13.50	95.69	232.50	53.74	0.56	294.37	0.55
	Desvio Padrão	0.58	263.66	169.37	77.15	1.06	58.99	5.14	63.75	44.93	23.46	1.40	164.82	2.11
	Erro Padrão	0.15	68.08	43.73	19.92	0.27	15.23	1.33	16.46	11.60	6.06	0.36	42.56	0.54
	Coefficiente de Variação (%)	7.32	27.14	27.09	90.71	39.20	75.96	47.82	56.05	19.13	46.84	133.71	69.14	107.2
	Teste de Shapiro-Wilk ( <i>p-valores</i> )	0.037**	0.009**	0.01**	0.009**	0.15*	0.13*	0.009**	0.01**	0.01**	0.44*	0.008**	0.20*	0.01**

\*Distribuição gaussiana; \*\*Distribuição não gaussiana.

Os valores do pH das amostras variaram entre 7,2 e 8,93, sendo superiores aos valores apresentados por Gonçalves *et al.* (2018) para as águas Subterrâneas do município de Serra do Ramalho, coletadas no período chuvosos (Figura 2a). Os teores da dureza total oscilaram entre 26 e 548,8 mg.L<sup>-1</sup> e as concentrações da variável STD foram de 252 a 1110 mg.L<sup>-1</sup>, sendo mais altos no município de (Figura 2b). As amostras de Feira da Mata foram classificadas em águas doces (60%) e salobras (40%) (Tabela 4),

revelando similaridade com os dados hidroquímicos de Camurugy (2009) e Gonçalves *et al.* (2018) (período chuvoso). As amostras de Santana foram classificadas como águas doces (20%) e salobras (80%), sendo similares aos dados de Gonçalves *et al.* (2018) (estiagem). Essa diferença talvez reflita os momentos de recarga do aquífero, de acordo com a dinâmica sazonal e a interação água-rocha no Aquífero Bambuí.

**Tabela 4** - Classificação da água subterrânea quanto aos teores dos sólidos totais dissolvido (STD).

Campanhas	Autor/Data	Local	Água doce		Água Salobra		Água Salgada	
			N	%	N	%	N	%
2010 (chuvoso)	Gonçalves <i>et al.</i> (2018)	Serra do Ramalho (BA)	18	69.0	8	31.0	0.0	0.0
2012 (chuvoso/estiagem)	Gonçalves <i>et al.</i> (2018)	Serra do Ramalho (BA)	10	38.5	16	61.5	0.0	0.0
2012 (estiagem)	Presente Pesquisa	Feira da Mata (BA)	18	60.0	12	40.0	0.0	0.0
2012 (estiagem)	Presente Pesquisa	Santana (BA)	6	20.0	24	80.0	0.0	0.0

As concentrações do cálcio foram relacionadas a interação água-rochas do Grupo Bambuí, cujos teores do cálcio excederam o limite recomendado pela WHO (2003) para 60% dos poços de Feira da Mata e 40% dos poços de Santana. As amostras de Santana mostraram os menores teores de cálcio de acordo com as informações dos diagramas do tipo *box-plot* apresentadas na Figura 2c. Também, observa-se que as amostras de água subterrânea do município de Santana foram as mais mineralizadas (Figura 2d). Segundo Moral *et al.* (2008), a hidrogeoquímica de aquíferos cársticos reflete a dissolução das fases minerais calcita e dolomita, a proporção entre estas fases minerais, tempo de residência e a circulação da água no aquífero. Os níveis do potássio tendem a ser inferiores aos teores do sódio nas águas naturais, porque tem forte tendência de reincorporação nos produtos neoformados e maior dificuldade de liberação de minerais à água subterrânea do que o sódio, o qual permanece, em geral, na solução após liberado do mineral (Hem, 1985).

Obteve-se maiores teores do bicarbonato nas águas de Feira da Mata e as mais expressivas concentrações do cloreto foram obtidas nas águas subterrâneas do município de Santana

(Figura 2 e-f). Os níveis de sulfetos podem ser explicados, em parte, pela oxidação dos sulfetos, a exemplo da fase mineral pirita, que ocorrem disseminados nos calcários e dolomitos do Grupo Bambuí (Misi *et al.*, 2000).

A Figura 3 abrange a classificação do universo amostral da pesquisa de campo, em que as amostras do município de Feira da Mata se distribuíram entre as fácies hidroquímicas bicarbonatadas cálcicas (87%) e bicarbonatadas sódicas (13%). No município de Santana, destacaram-se as fácies bicarbonatadas cálcicas (33%), fácies mistas cálcicas (30%) e as fácies bicarbonatadas sódicas (23%). Verifica-se haver uma nítida relação entre as fácies sódicas e os níveis do íon fluoreto dissolvidos acima do limite ótimo (0,8 mg.L<sup>-1</sup>).

A incerteza do balanço de carga iônica, baseado no erro prático definido por Logan (1965), foi no máximo de 20%. Foi verificado que nas fácies bicarbonatadas cálcicas ou mistas cálcicas os teores dos ânions e cátions foram, em ordem decrescente: rCa<sup>2+</sup> > rNa<sup>+</sup> > rMg<sup>2+</sup> > rK<sup>+</sup> e rCO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - rHCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > rCl<sup>-</sup> > rSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > rF<sup>-</sup> > rNO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Nas fácies bicarbonatadas sódicas, os níveis dos cátions foram: rNa<sup>+</sup> > rCa<sup>2+</sup> > rMg<sup>2+</sup> > rK<sup>+</sup>.

## 4.2 SIGNIFICADO DOS TEORES DO FLÚOR E GEOLOGIA MÉDICA

Os níveis do fluoreto variaram entre 0,14 e 6,2 mg.L<sup>-1</sup>, com distribuição não gaussiana (Tabelas 2 e 3), cujas medianas não diferiram significativamente entre Feira da Mata e Santana ( $p=0,41$ ). O teor ótimo de fluoreto (C) foi calculado segundo Galagan & Vermillion (1957) (Equações 1-2), em função da temperatura média do ar (T), obtendo-se um nível ótimo de 0,80

mg.L<sup>-1</sup>. Verifica-se que 27% das amostras de Feira da Mata e 47% das amostras de Santana excederam o limite ótimo local admitido pela Portarias n.º. 635/BSB (Brasil, 1975), n.º. 1469/00 (Brasil, 2000), n.º. 2.914/11 (Brasil, 2012) (Figura 1).

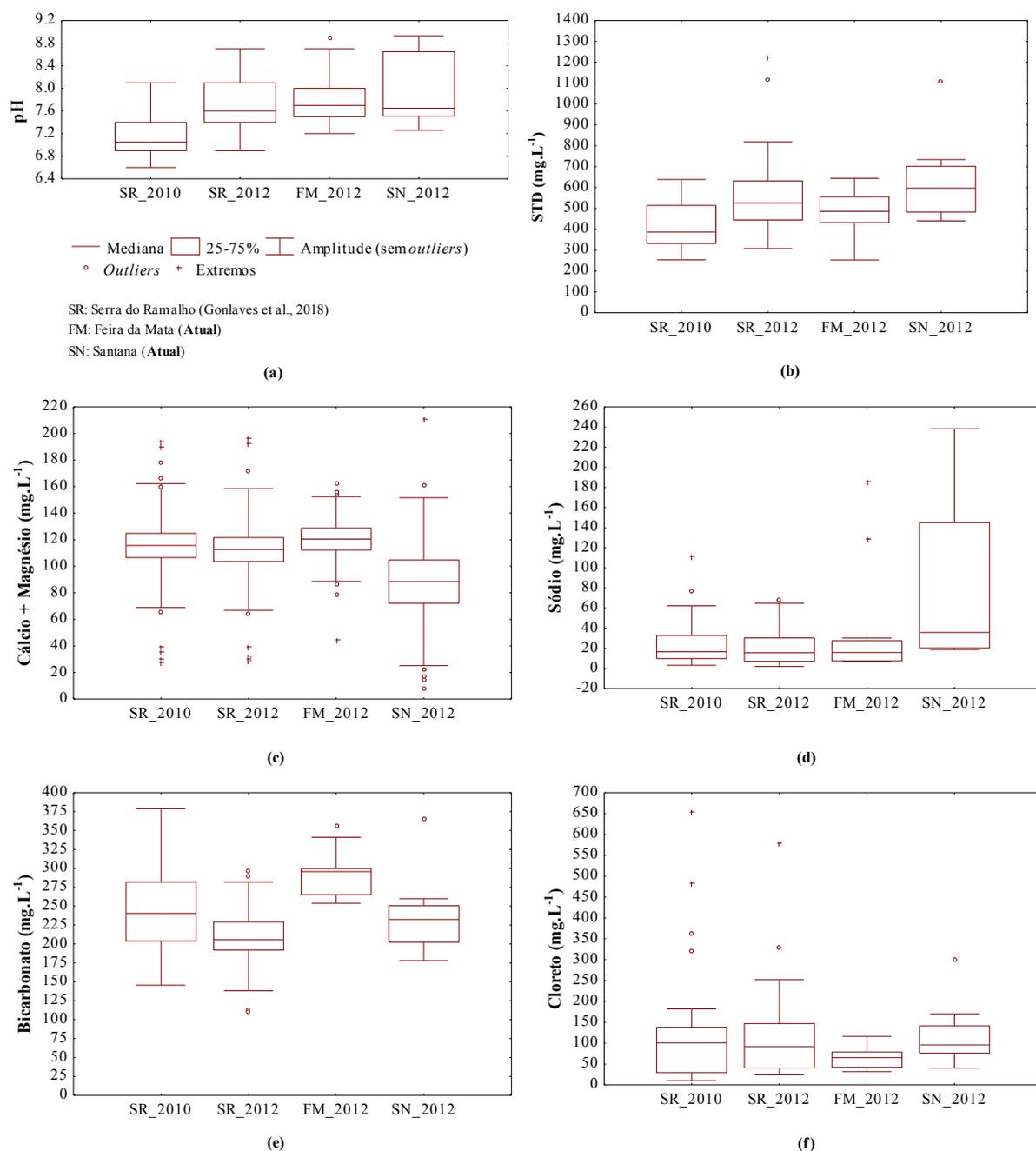
$$\epsilon(T) = 10,3 + 0,725T \quad (\text{Eq. 1})$$

$$C = 22,2/\epsilon \quad (\text{Eq. 2})$$

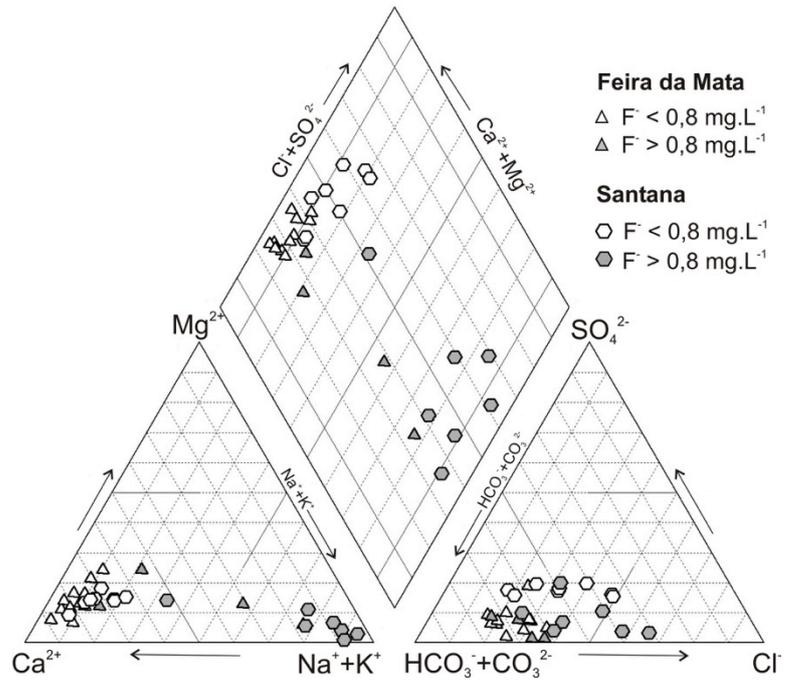
As amostras foram reunidas a partir dos níveis de flúor e risco à saúde dentária (Figura 5), cujos teores da categoria de Risco de Cárie nas amostras de Feira da Mata e Santana foram inferiores aos dados de Gonçalves *et al.* (2018). Os níveis do flúor da categoria Fator de Proteção, que podem ser usados para a prevenção da cárie ou da fluorose dentária, destacaram-se nas águas de Feira da Mata. Obteve-se 47% das águas coletadas em Santana na categoria Risco de Fluorose Dentária. A exposição crônica do germe dentário a altas doses de flúor até os 6 anos de idade provoca fluorose dentária e tem

relevância epidemiológica e à vigilância em saúde (Soares *et al.*, 2012; Frazão *et al.*, 2018).

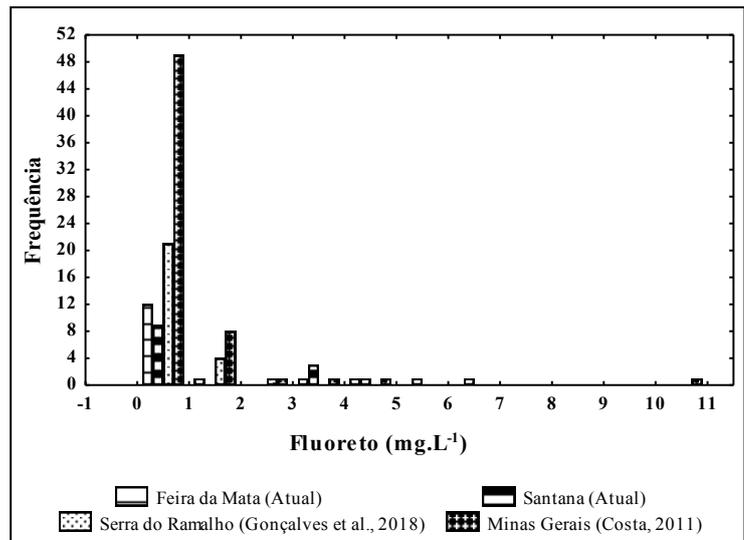
A Figura 4 apresenta a distribuição das frequências dos níveis do fluoreto, e revela a semelhança na distribuição dos teores do flúor entre Feira da Mata e dos dados de Gonçalves *et al.* (2018), ou entre os níveis de flúor no norte de Minas Gerais e Santana (BA), cuja dissolução da fluorita pode ser a fonte de flúor para as águas do Aquífero Bambuí. A fluorita ocorre disseminada nos calcários da Fm. Sete Lagoas, basal do Grupo Bambuí, na Província Cárstica da Serra do Ramalho, no oeste da Bahia (Misi *et al.*, 2011).



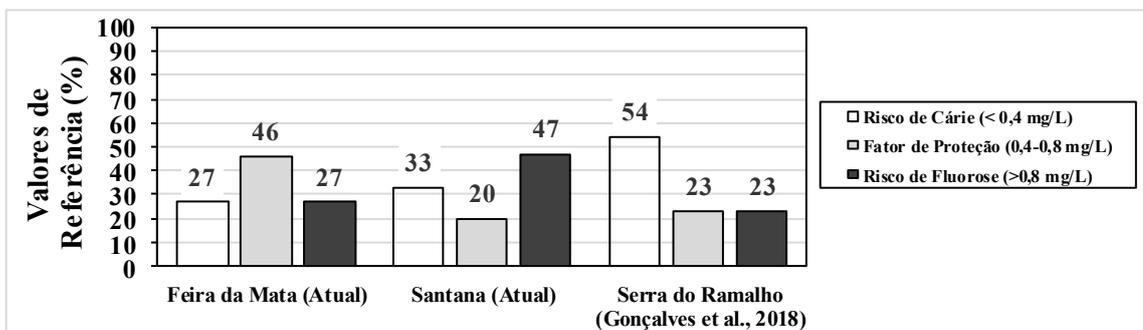
**Figura 2**  
 Diagramas do tipo *box-plot* para apresentação das variações hidroquímicas das amostras dos municípios de Feira da Mata (FM\_12) e Santana (SN\_12), em relação aos dados obtido de Gonçalves *et al.* (2018) (2010 e 2012).



**Figura 3**  
 Diagrama de Piper (1944) para classificação da água subterrânea nos sítios de estudo.



**Figura 4**  
 Distribuição de frequência dos teores de flúor nas águas do Aquífero Bambuí na Bahia e Minas Gerais.



**Figura 5**  
 Classificação das águas subterrâneas segundo valores de flúor e risco à saúde dental.

O consumo de água subterrânea com níveis de flúor superiores a 3,0 mg.L<sup>-1</sup> provoca a fluorose dentária ou a fluorose óssea (Boyle & Chagnon, 1995; Cangussu *et al.*, 2004; Nírgude *et al.*, 2010). O consumo prolongado de águas subterrâneas com níveis de flúor superiores a 3,0 mg.L<sup>-1</sup> em parte das amostras de Feira da Mata (13%) e Santana (40%) representa um de risco de fluorose óssea (Figura 4).

A Tabela 5 apresenta a prevalência e a severidade de fluorose dentária das áreas não endêmica e das áreas endêmica e os teores de fluoreto das águas subterrâneas utilizadas no abastecimento público. Segundo Cangussu *et al.* (2002), as proporções de fluorose dentária nas formas moderada e severa são muito menores nas áreas não endêmica, ainda que apresentem alta prevalência de fluorose, do que quando comparado com as áreas não endêmica, devido ao consumo de águas com altos níveis naturais de flúor. Velásquez *et al.* (2006) e Cruz *et al.* (2015) encontraram prevalências de fluorose

dentária no norte de Minas Gerais e Bahia associada a ingestão da água do Aquífero Bambuí em desacordo com os dados do levantamento nacional de saúde bucal, Projeto SB Brasil 2010. Este encontrou uma prevalência de fluorose dentária nacional de 1,5% e severidade de 17% na forma moderada ou severa (Brasil, 2010).

Comber *et al.* (2011), Ding *et al.* (2011), Levy & Leclerc (2012) e Blakey *et al.* (2014) investigaram a relação entre os níveis de flúor nas águas naturais e a incidência de agravos à saúde, além da fluorose dentária e óssea, a exemplo de problemas respiratórios, renais, hepatites e neoplasias. Os resultados de pesquisas estatísticas e bioestatísticas revelaram que os dados analisados foram insuficientes para o estabelecimento de uma associação entre a incidência de câncer de estômago, ou outras neoplasias, e o consumo de águas naturais com níveis elevadas de flúor (Ferreira *et al.*, 2013).

Tabela 5. Prevalência e severidade de fluorose dentária e teores de flúor nas águas em áreas endêmicas.

Autor/Ano	Área de Estudo	Prevalência (%)	Severidade	Fluoreto (mg.L <sup>-1</sup> )
Uchôa & Saliba <i>et al.</i> (1970) <sup>A</sup>	Pereira Preto (SP), Brasil	76	48% moderada/grave	12,5 a 17,5
Ando <i>et al.</i> (1975) <sup>A</sup>	Cosmópolis (SP)	88,6	38,9% moderada/grave	9,5 a 11,0
Alcaide & Veronezi (1979) <sup>A</sup>	Icórn (SP)	88,2	19,4% moderada/grave	2,6 a 4,0
Capella <i>et al.</i> (1989) <sup>A</sup>	Urussanga (SC), Brasil	97,6	88% moderada/grave	1,2 a 5,6
Cortês <i>et al.</i> (1996) <sup>B</sup>	Olho d'Água (CE), Brasil	92	19% moderada/grave	2,0 a 3,0
Toassi & Abegg. (2005) <sup>A</sup>	Santa Tereza (RS), Brasil	56	8% moderada/grave	0 a 1,6
Fujibayashi <i>et al.</i> (2011) <sup>A</sup>	Campo Tenente (PR), Brasil	50	35% moderada/grave	1,2 a 2,0
Velásquez <i>et al.</i> (2006); Ferreira <i>et al.</i> (2010); Costa <i>et al.</i> (2013) <sup>B</sup>	Norte de Minas Gerais, Brasil	56-67	35% moderada/grave	0 a 3,9
Gonçalves (2014); Cruz <i>et al.</i> (2015) <sup>A</sup>	Santana, Oeste da Bahia, Brasil	53	18% moderada/grave	0,1 a 6,20
Azcurrea <i>et al.</i> (1995) <sup>A</sup>	Porteña, Córdoba, Argentina	Ausente	-	0,20
Azcurrea <i>et al.</i> (1995) <sup>A</sup>	Sampacho, Córdoba, Argentina	78	25% moderada/grave	9,0
Loyola-Rodríguez <i>et al.</i> (2000) <sup>A</sup>	San Luis Potosí, México	78	46% moderada/grave	0,7 a 3,1
Dozal <i>et al.</i> (2005) <sup>A</sup>	Chihuahua, norte do México	82	41% moderada/grave	0,7 a 8,6
Fordyce <i>et al.</i> (2007) <sup>A</sup>	Europa Central	60-90	-	2,0 a 7,0
Indermitte <i>et al.</i> (2009) <sup>A</sup>	Estônia, Europa Setentrional	7-89	-	1,0 a 4,0
Vazquez-Alvarado <i>et al.</i> (2010) <sup>A</sup>	San Miguel Vindhó, Hidalgo, México	85	41% moderada/grave	0,7 a 2,0
Vazquez-Alvarado <i>et al.</i> (2010) <sup>A</sup>	La Malinche, Hidalgo, México	4	1% moderada ou grave	0,6
Ding <i>et al.</i> (2011)	Hulunbuir, Inner Mongolia, China	42,6	20% moderada	0,24 a 2,84
Gallarà <i>et al.</i> (2011) <sup>A</sup>	Norte de Córdoba, Argentina	76	17% moderada/grave	1,4 a 7,0
Gallarà <i>et al.</i> (2011) <sup>A</sup>	Nordeste de Córdoba, Argentina	87	22% moderada/grave	1,7 a 3,4
Juárez-López <i>et al.</i> (2011) <sup>A</sup>	La Llave, Quareto, México	98	70% moderada/grave	1,9
García <i>et al.</i> (2012) <sup>A</sup>	Charbobier, Córdoba, Argentina	86,7	21% moderada/grave	0,96 a 2,87
Jarquín-Yañez <i>et al.</i> (2015) <sup>A</sup>	San Miguel Vindhó, Hidalgo, México	100	95% grave	4,1
Larquin <i>et al.</i> (2015) <sup>A</sup>	Zona rural de Camagüey (Cuba)	51	38% moderado e 8,8% grave	1,7 a 2,0
Oliveira (2014) <sup>A</sup>	Lauro de Freitas, Brasil	34	32,5% leve ou leve e 1,5% moderada	0,09 a 2,93

<sup>A</sup> Índice de Dean; <sup>B</sup> Índice de Thylstrup e Fejerskov.

#### 4.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E HIDROQUÍMICA DO FLÚOR

A Análise de Componentes Principais (PCA) contemplou treze variáveis (Tabela 6), sendo que 75% da variabilidade total foram descritas por quatro componentes em Feira da Mata, havendo uma correlação forte, significativa e negativa entre o fluoreto e PC1. Nas amostras de

Santana, verifica-se que três componentes descreveram 84% da variabilidade, havendo correlação forte entre o fluoreto e PC1.

A componente principal PC1 explica 45% da variabilidade das amostras em Feira da Mata e 57% da variabilidade em Santana, descrevendo

as variáveis pH, CE, DT, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e F<sup>-</sup>. Explica a mineralização das águas, junto ao clima, e abrange a maioria dos íons

principais, disponibilizados à solução pelo intemperismo da calcita, dolomita, fluorita que continuam as rochas encaixantes do aquífero.

**Tabela 6** – Loadings das variáveis originais em relação as componentes principais.

Variável	Feira da Mata			Santana		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
pH	<b>0.85</b>	-0.25	-0.15	<b>0.96</b>	0.10	-0.15
Na <sup>+</sup>	<b>0.97</b>	-0.08	0.08	<b>0.96</b>	-0.06	0.21
K <sup>+</sup>	0.29	-0.33	<b>-0.71</b>	<b>0.56</b>	<b>-0.68</b>	0.35
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0.76</b>	-0.42	0.11	<b>-0.91</b>	-0.09	0.26
Mg <sup>2+</sup>	-0.06	0.47	<b>-0.81</b>	<b>-0.84</b>	-0.35	0.13
Cl <sup>-</sup>	<b>0.77</b>	-0.27	0.08	<b>0.55</b>	<b>-0.70</b>	0.20
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0.79</b>	-0.36	0.05	0.21	<b>0.61</b>	<b>0.72</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.48	<b>-0.77</b>	-0.11	<b>-0.88</b>	-0.05	0.38
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.38	<b>-0.67</b>	-0.18	-0.32	<b>-0.63</b>	-0.09
F <sup>-</sup>	<b>0.97</b>	-0.03	0.08	<b>0.98</b>	-0.02	0.14
Autovalores	4.87	1.83	1.27	5.87	1.87	1.00
Variância Total (%)	48.66	18.27	12.69	58.70	18.67	9.99
Variância Acumulada (%)	48.66	66.93	79.62	58.70	77.37	87.36

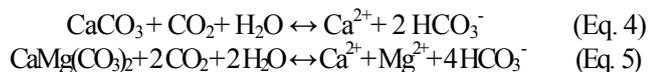
A análise da componente PC1 permite supor haver um paralelismo entre as variáveis pH, CE, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e F<sup>-</sup>. Também, observa-se diferentes comportamento entre os *loadings* das variáveis Ca<sup>2+</sup>, F e PC1. A solubilidade e a precipitação da fluorita são funções da saturação da calcita nas águas naturais (Equação 3). Segundo Yidana *et al.* (2012), a constante de equilíbrio (K) da fluorita, a

temperatura de 25 °C, K<sub>s</sub>, é de 10<sup>-10,6</sup>. Na solução, as atividades dos íons Ca<sup>2+</sup>, F<sup>-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> são interdependentes (Handa, 1975; Rao, 2011) (Equações 3 a 5). Segundo Apambire *et al.* (1997), a saturação da solução em calcita controla a solubilidade da fluorita, devido ao efeito de íon comum e abundância da calcita na água.



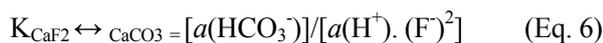
A dissolução dos minerais calcita e dolomita das rochas do Grupo Bambuí, pelo CO<sub>2</sub>, fornece íons Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> para as águas subterrâneas de Feira da Mata e Santana (Equações 4 e 5). Entretanto, nas condições alcalinas das amostras predominam a reação

inversa, que precipita a calcita (Hypolito *et al.*, 2011). Também, a dissolução da fase mineral fluorita pode ocorrer na solução saturada em calcita, nas água alcalinas e sob influência de altas temperaturas do ar, com coprecipitação de Ca<sup>2+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.



Handa (1975) propôs um modelo para compreender a hidrogeoquímica do flúor (Equação 6), em que **K** e **a** são respectivamente a constante de solubilidade e a atividade iônica. Este modelo elucidada a

correlação entre F<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se o pH for relativamente constante. As reações de troca de base e precipitação da calcita adicionam íons HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> à solução, e elevam a solubilidade da fluorita.



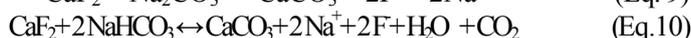
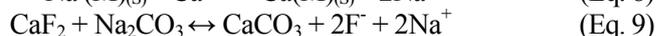
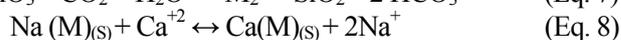
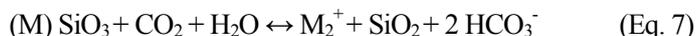
A geoquímica do flúor no Aquífero Bambuí, na Bahia, segue o modelo de Handa (1975) e o comportamento descrito por Apambire *et al.* (1997), Chen *et al.* (2007), Farooqi *et al.* (2007), Rafique *et al.* (2008), Rao (2011), Hu *et al.* (2013) e Vikas *et al.* (2013), em aquíferos cristalinos na Coreia, China, Índia e no Paquistão. Gonçalves (2014) propôs que o modelo

conceitual elaborado por Handa (1975), e modificado por Rao (2011), pode ser aplicado, após adaptado, no estudo da geoquímica do flúor no Aquífero Bambuí.

Os íons Ca<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup> apresentam comportamentos hidroquímicos diversos no Aquífero Bambuí, na Bahia. Diniz (2006) e Costa (2011) propõe que o intemperismo e a

lixiviação de plagioclásios adicionariam sódio à água subterrânea no norte de Minas Gerais. Enquanto que as reações de troca de bases removem  $\text{Ca}^{2+}$ , fornecem  $\text{Na}^+$  litogênico e elevam o pH da solução e a solubilidade da fluorita. A atividade do  $\text{Na}^+$  precipita a calcita e eleva a alcalinidade e solubilidade da fluorita

(Apambire *et al.*, 1997; Rao, 2011). As Equações 7 a 10 mostram os argilominerais (M), após a alteração de carbonatos impuros e pelitos do Grupo Bambuí, e das reações de troca de bases, que removem  $\text{Ca}^{2+}$  e fornecem  $\text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  à solução.



## 5. CONCLUSÕES

As amostras de água subterrânea dos sítios de estudo foram, em grande medida, alcalinas. Predominaram as fácies bicarbonatadas cálcicas (87%) e os mais baixos teores de flúor nas águas de Feira da Mata. As fácies bicarbonatadas sódicas (13%) mostraram os mais altos teores do flúor.

A geoquímica da água subterrânea de Santana sugere haver dois aquíferos. O aquífero mais representativo abrange às fácies bicarbonatadas cálcicas e as fácies mistas cálcicas (66%), com baixos teores de flúor. Seguido pelo aquífero pelito-carbonático, associado às fácies bicarbonatadas sódicas e altos teores do fluoreto que excederam o limite de potabilidade local. Um total de 47% das amostras foram enquadradas na categoria Risco de Fluorose Dentária, porque apresentaram altos níveis de flúor.

A análise estatística multivariada sugeriu

que a mineralização das águas subterrâneas decorre da contribuição das chuvas, evapotranspiração, interação água-rocha e circulação da água no aquífero. Esclarece a relação entre as fácies hidroquímicas sódicas e níveis altos e tóxicos de flúor, havendo uma relação entre o intemperismo dos minerais das rochas do Grupo Bambuí e a qualidade da água.

A compreensão da distribuição dos níveis naturais de flúor nas águas subterrâneas dos municípios de Feira da Mata e de Santana servirá ao planejamento e/ou a gestão dos recursos hídricos e para a promoção da saúde pública. Recomenda-se o investimento em pesquisa de geociências e saúde, gestão hídrica e na dessalinização das águas salobras de Santana. Deve-se priorizar o monitoramento da qualidade da água subterrânea e a vigilância epidemiológica da fluorose dentária e outros agravos à saúde.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Grupo Geologia das Interfaces (UFBA) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de doutorado e pelo financiamento do Projeto de

Pesquisa *Hidrogeoquímica dos Aquíferos Cársticos de Irecê e Serra do Ramalho, Bahia*, no Edital Universal do CNPq nº 14/2011.

## 7. REFERÊNCIAS

- Alcaide A.L. & Veronesi, O. 1979. Prevalência de Fluorose dental na cidade de Icó. *Revista da Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas, São Paulo*, **33**: 99-105.
- Ando, T., Cardoso, H.M., Andrade, J.R.L. 1975. Alguns aspectos da Fluorose dentária. *Revista da Faculdade de Odontologia de São Paulo, São Paulo*, **13**: 269-276.
- Apambire, W.B., Boyle, D.R., Michel, F. A. 1997. Geochemistry, genesis, and health implications of fluoriferous groundwaters in the upper Regions of Ghana. *Environmental Geology*, **33**: 13-24.
- APHA. - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19 th ed. Washington: American Water Works Association.
- Azcurra, A.I., Battellino, L.J., Calamari, S.E., Dorronsoro de Cattoni, S.T., Kremer, M. & Lamberghini, F.C. 1995. Estado de salud bucodental de escolares residentes en localidades abastecidas con agua de consumo humano de muy alto y muy muy bajo contenido de fluoruros. *Rev. Saúde Pública*, **29**: 364-375.
- Blakey, K., Feltbower, R. G., Parslow, R. C., James, P. W., Gómez Pozo, B., Stiller, C., Craft,

- A.W. 2014. Is fluoride a risk factor for bone cancer? Small area analysis of osteosarcoma and Ewing sarcoma diagnosed among 0–49-year-olds in Great Britain, 1980–2005. *International Journal of Epidemiology*, **43**: 224–234.
- Boyle, D.R.; Chagnon, M. 1995. An incidence of skeletal fluorosis associated with groundwaters of the Maritime Carboniferous Basin, Gaspé Region, Quebec, Canada. *Environ Geochem Health*, **17**: 5–12.
- BRASIL – MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2001. Portaria 635 de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água de sistemas públicos de abastecimento. Diário Oficial da União, Brasília, 19 jan.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2011. Portaria 1.469, de 29 dez. 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2010. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Coordenação Nacional de Saúde Bucal. Projeto SB Brasil 2010 – Condições de saúde bucal da população brasileira 2010: resultados principais. Brasília: MS-CNSB.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. 2012. Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União.
- Camurugy, E. B. 2009. Uso da hidroquímica e isótopos estáveis ( $\delta D$  e  $\delta 18O$ ) no estudo da qualidade e origem das águas subterrâneas do aquífero cárstico da região oeste do Estado da Bahia. Monografia de Graduação. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, Salvador, 66 p.
- Cangussu, M.C.T., Fernandez, R.A.C., Rivas, C.C., Ferreira Jr., C., Santos, L. C. S. 2004 Prevalência da fluorose dentária em escolares de 12 e 15 anos de idade em Salvador, Bahia, Brasil, 2001. *Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro*, **20**: 129–135.
- Cangussu, M.C.T., Narvai, P.C., Fernandez, R.C., Djehizian, V. 2002. A fluorose no Brasil: uma revisão crítica. *Cad Saúde Pública*, **1**: 7–15.
- Capella, L. F., Carcereri, D. L., Paiva, S. M. D., Rosso, R. A., Paixão, R. D. F., Saltori, E. K., Freitas, A. R. R., Zenkner, J. E. A., Barros Filho, M. A. D. 1989. Ocorrência de fluorose dentária endêmica. *RGO*. **37**: 371–375.
- Chen, K.P., Jiao, J.J., Huang, J., Huang, R. 2007. Multivariate statistical evaluation of trace elements in groundwater in a coastal area in Shenzhen, China. *Environmental Pollution*, **147**: 771–780.
- Comber, H., Deady, S., Montgomery, E., Gavin, A. 2011. Drinking water fluoridation and osteosarcoma incidence on the island of Ireland. *Cancer Causes & Control*, **22**: 919–924.
- Cortês, D.F., Ellwood, R.P., O’Mullane, D.M., Bastos, J.R. 1996. Drinking water fluoride levels, dental fluorosis and caries experience in Brazil. *Journal of Public Health Dentistry*, **56**: 226–228.
- Costa, D.A. 2011. Controle lito-estrutural e estratigráfico na hidrogeoquímica e nas concentrações de fluoreto no Sistema Aquífero Cárstico - Fissural do Grupo Bambuí, norte de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 131 p.
- Costa, S. de M., Abreu, M.H.N.G., Vargas, A.M.D., Vasconcelos, M., Ferreira, E., Castilho, L.S. de. 2013. Cárie dentária e fluorose endêmica em distritos rurais de Minas Gerais, Brasil. *Rev Bras Epidemiol*, **16**: 1021–1028.
- Coutinho, C.A.M. 2014. 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. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Salvador, 164 p.
- Cruz, M.J.M., Coutinho, C.A.M., Gonçalves, M.V.P., 2015. The Dental fluorosis on Santana karst region, Bahia State, Brazil. *Journal of Geography*, **3**: 51–67.
- Ding, Y., Sun, H., Han, H., Wang, W., Ji, X., Liu, X., Sun, D. 2011. The relationships between low levels of urine fluoride on children's intelligence, dental fluorosis in endemic fluorosis areas in Hulunbuir, Inner Mongolia, China. *Journal of hazardous materials*, **186**: 1942–1946.
- Diniz, L.G. 2006. O Flúor nas águas subterrâneas do Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação de Geologia, Belo Horizonte. 163 p.
- Dozal, S.R., Herrera, M.A., Cifuentes, E., Barraza, A., Rodríguez, J.L., & Sanin, L. H. 2005. Dental fluorosis in rural communities of Chihuahua, Mexico. *Fluoride*, **38**: 143–150.
- Edmunds, M., Smedley P. 2005. Fluoride in natural waters. In: Selinus, O.; Alloway, B.; Centeno, J. A.; Finkelman, R. B.; Fuge, R.; Lindh, U.; Singh, H.; Smedley, P. (Eds.). *Essentials of medical geology: impact of the natural environment public health*. Elsevier Academic Press, Amsterdã. 301–328 pp.
- Fairchild, I. J., Borsato, A., Tooth, A. F.; Frisia, S., Hawkesworth, C. J., Huang, Y.; Mcdermott, F., Spiro, B. F. 2000. Controls on trace element Sr–Mg compositions of carbonate cave waters: implications for speleothem climatic records. *Chemical Geology*, **166**: 255–269.
- Farooqi, A., Masuda, H., Firdous, N. 2007. Toxic fluoride and arsenic contaminated groundwater in the Lahore and Kasur districts, Punjab, Pakistan and possible contaminant sources. *Environmental Pollution*, **145**: 839–849.
- Ferreira, E.F., Vargas, A.M.D., Castilho, L.S., Velásquez, L.N.M.; Fantinel, L.M., Abreu, M.H.N.G. 2010. Factors Associated to Endemic Dental Fluorosis in Brazilian Rural Communities. *Int J Environ Res Public Health*, **7**: 3115–3128.

- Ferreira, R.G.L.A., Marques, R.A.D.A., Menezes, L.M.B.D., Narvai, P.C. 2013. Múltiplos aspectos do uso do flúor em saúde pública na visão de lideranças da área de saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, **18**, 2139-2146.
- Fordyce, F. M., Vrana, K., Zhovinsky, E., Povoroznuk, V., Toth, G., Hope, B. C., Iljinsky, U., Baker, J. A. 2007. A health risk assessment for fluoride in Central Europe. *Environ Geochemistry and Health*, **29**: 83-102.
- Frazão, P., Ely, H. C., Noro, L. R. A., Pinheiro, H. H. C., Cury, J. A. 2018. The surveillance framework of water and the reporting of fluoride concentration indicators. *Saúde em Debate*, **42**: 274-286.
- Fujibayashi, S.Y., Archetti, F.B., Pizzatto, S., Losso, E.M. & Pizzatto, E. 2011. Severidade de fluorose dental em um grupo de Escolares. *RSBO*, **8**: 168-73.
- Galagan, D.J. & Vermilion, J.R. 1957. Determining optimum fluoride concentrations. *Pulic health reports*, **72**: 491-493.
- Gallará, R. V., Piazza, L., Piñas, M., Eugenia, M. 2011. 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.
- García, M., Lecomte, K.L., Stupar, Y., Formica, S.M., Barrionuevo, M., Vesco, M., Gallará, R., Ponce, R. 2012. Geochemistry and health aspects of F-rich mountainous streams and groundwaters from sierras Pampeanas de Cordoba, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, **65**: 535-545.
- Gonçalves, M.V.P. 2014. Flúor no Aquífero Bambuí no Sudoeste da Bahia (Brasil). Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 193 p.
- Gonçalves, M.V.P., Cruz, M.J.M., Alencar, C. M.M., Santos, R. A., Ramos Junior, A.B. S. 2018. Geoquímica e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Ramalho, Bahia (BR). *Eng Sanit Ambient.*, **23**: 159-172
- Gupta, S.K., Deshpande, R.D., Agarwal, M.; Raval, B.R. 2005. Origin of high fluoride in groundwater in the North Gujarat-Cambay region, India. *Journal of Hydrology*, **13**: 596-605.
- Handa, B.K. 1975. Geochemistry and genesis of fluoride-containing ground waters in India. *Ground Water*, **13**: 275-280.
- Hem J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3 ed., Alexandria, VA USA, USGS, (report 2000254).
- Hu, S., Ting, L., Jing, C. 2013. Principal component analysis of fluoride geochemistry of groundwater in Shanxi and Inner Mongolia, China. *Journal of Geochemical Exploration*, **135**: 124-129.
- Hypolito, R, Ezaki, S., Andrade, S. 2011. Geoquímica da Interação Água/Rocha/Solo: Estudos Preliminares. 1ª ed. São Paulo: ALL PRINT, 454 pp.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Dados do Censo demográfico 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 24/11/2010.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; SEI - SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DE BAHIA 2008. Cartas Plani-Altimétricas do Estado da Bahia, escala 1:100.000.
- Indermitte, E., Saava, A., Karro, E. 2009. Exposure to high fluoride drinking water and risk of dental fluorosis in Estonia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **6**: 710-721.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Balanço hídrico e dados climatológicos. Mapa Climatológico de Precipitação Pluviométrica Acumulada Anual (1931-1990), 2010, 2011 e 2012. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- Jarquín-Yañez, L., Mejía-Saavedra, J. J., Molina-Frechero, N., Gaona, E., Rocha-Amador, D. O., López-Guzmán, O. D., Bologna-Molina, R. 2015. Association between Urine Fluoride and Dental Fluorosis as a Toxicity Factor in a Rural Community in the State of San Luis Potosí. *The Scientific World Journal*, **647184**: 1-6.
- Juárez-López, M.L.A., Huízar-Álvarez, R., Molina-Frechero, N., Murrieta-Pruneda, F., Cortés-Aguilera, Y. 2011. Fluorine in water and dental fluorosis in a community of Queretaro State Mexico. *Journal of Environmental Protection*, **2**: 744-749.
- Komati, S.H., Figueiredo, B.R. 2013. Flúor em água e prevalência de fluorose em Amparo (SP). *Geociências (São Paulo)*, **32**: 547-559.
- Larquin, N.L., Álvarez, M.L., Coca, A.M.D., Vale, L.G., Betancourt, J.C. 2015. Fluorosis dental en escolares de una zona rural de Camagüey. *Revista Electrónica Dr. Zoilo E. Marinello Vidaurreta*, **40**: 1-6.
- Levy, M., & Leclerc, B. S. 2012. Fluoride in drinking water and osteosarcoma incidence rates in the continental United States among children and adolescents. *Cancer epidemiology*, **36**: 83-88.
- Lima, A. S. 2010. Composição e origem das águas minerais naturais: exemplo de Caldas da Saúde. Almedina, Coimbra, 246 pp.
- Logan, J. 1965. Interpretação de Análises Químicas da Água. U.S. Agency for International Development, Recife, 75pp.
- Loyola-Rodríguez, J.P., Pozos-Guillén, A.J., Hernández-Guerrero, J.C., Hernández-Sierra, J. F. 2000. Fluorosis en dentición temporal en un área con hidrofluorosis endêmica. *Salud Pública de México*, **42**: 194-200.
- Mendes, B. & Oliveira, J.F.S. 2004. Qualidade da água para o consumo humano. Lidel, Edições Técnicas, Lisboa, 640 pp.
- Misi, A., Kaufman, A.J., Azmy, K., Dardenne, M.A., Sial, A.N., & de Oliveira, T.F. 2011. 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)*, **36**: 509-522.

- Misi, A., Iyer, S.S., Coelho, C.E.S., Tassinari, C.C., Franca-Rocha, W.J., Gomes, A.S.R., Cunha, I.A., Toulkeridis, T., Sanches, A. L.A. 2000. 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*, **30**: 302-305.
- Moral, F., Cruz-Sanjulián, J.J., Olías, M. 2008. Geochemical evolution of groundwater in the carbonate aquifers of Sierra de Segura (Betic Cordillera, southern Spain). *Journal of Hydrology*, **360**: 281–296.
- Naseem, S., Rafique, T., Bashir, E., Bhangar, M. I., Laghari, A., Usmani, T. H. 2010. Lithological influences on occurrence of high-fluoride groundwater in Nagar Parkar Area, Thar Desert, Pakistan. *Chemosphere*, **78**: 1313–1321.
- Negrão F.I. 2007. Hidrogeologia do Estado da Bahia: Qualidade, Potencialidade, Disponibilidade, Vulnerabilidade e Grau de Poluição. Tese de Doutorado. Universidade da Coruña. Instituto Universitario de Xeoloxía Isidro Parga Pondal, Espanha, 195 p.
- Nirgude, A. S., Saiprasad, G. S., Naik, P. R., & Mohanty, S. 2010. An epidemiological study on fluorosis in an urban slum area of Nalgonda, Andhra Pradesh, India. *Indian journal of public health*, **54**: 194-196.
- Oliveira, E.A.D.S. 2014. Presença do Flúor nas Águas Subterrâneas do Município de Lauro de Freitas-Bahia, e suas consequências na saúde. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. 104 p.
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **25**: 914-928.
- Rafique, T., Rafique, T., Naseem, S., Bhangar, M.I., Usmani, T.H. 2008. Fluoride Ion Contamination in the Groundwater of Mithi Sub-District, the Thar Desert, Pakistan. *Environmental Geology*, **56**: 317-326.
- Raju, N.J., 2017. Prevalence of fluorosis in the fluoride enriched groundwater in semi-arid parts of eastern India: Geochemistry and health implications. *Quaternary International*, **443**: 265-278.
- Rao, S.N. 2011. High-fluoride Groundwater. *Environmental Monitoring Assessment*, **176**: 637–645.
- Rigo, L., Caldas Junior, A.D.F., Souza, E.A.D., Abegg, C., Lodi, L. 2010. Estudo sobre a fluorose dentária num município do sul do Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, **15**: 1439-1448.
- Soares, F.F., Valverde, L.F., Silva, R.D.C.R. 2012. Cangussu, M. C. T. Prevalência e severidade de fluorose em escolares do município de São Francisco do Conde-BA, 2010. *Revista de Odontologia UNESP*, **41**: 318-323,
- Toassi, R.F.C. & Abegg, C. 2005. Fluorose dentária em escolares de um município da serra gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil. *Cad. Saúde Públ. Rio de Janeiro*, **21**: 652-655.
- Uchôa, H.W. & Saliba, N.A. 1970. Prevalência de fluorose dental na cidade de Pereira Barretos. *Boletim do Serviço de Odontologia Sanitária da Secretaria de Saúde*, **6**: 11-16.
- Vazquez-Alvarado, P., Prieto-García, F., Coronel-Olivares, C., Gordillo-Martinez, A.J., Ortiz-Espinosa, R.M. 2010. Fluorides and dental fluorosis in students from Tula de Allende Hidalgo, Mexico. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, **2**: 24-31.
- Velásquez, L.N.M., Fantinel, L.M., Ferreira, E.F., Castilho, L.S., Uhlein, A., Vargas, A.M.D., Aranha, P.R.A. 2006. 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. **6**: 110-117.
- Vikas, C., Kushwaha, R., Ahmad, W., Prasannakumar, V., Reghunath, R. 2013. Genesis and geochemistry of high fluoride bearing groundwater from a semi-arid terrain of NW India. *Environmental Earth Science*, **68**: 289-305.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1996. Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva: Word Health Organization.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality. 2003. Geneva: Word Health Organization.
- Yidana, S.M., Ophori, D., Banoeng-Yakubo, B., SAMED, A.A.A. 2012. Factor Model to Explain the Hydrochemistry and Causes of Fluoride Enrichment in Groundwater from the Middle Voltaian Sedimentary Aquifers in the Northern Region, Ghana. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, **7**: 50-67.