

Estudos de Caso e Notas Técnicas

# Caracterização hidroquímica e isotópica dos aquíferos fissurais da região de Itabuna/BA

## Hydrochemical and isotopic characterization of fissural aquifers from Itabuna/BA region

Elias Hideo Teramoto<sup>1,2</sup>; Bruno Zanon Engelbrecht<sup>1,2</sup>; Roger Dias Gonçalves<sup>1,2</sup>; Hung Kiang Chang<sup>1,2,3</sup>✉

<sup>1</sup> Centro de Estudos Ambientais, UNESP - Campus de Rio Claro, SP

<sup>2</sup> Laboratório de Estudos de Bacias, UNESP - Campus de Rio Claro, SP

<sup>3</sup> Departamento de Geologia Aplicada, UNESP - Campus de Rio Claro, SP

✉ [teramoto@rc.unesp.br](mailto:teramoto@rc.unesp.br), [brunoz@rc.unesp.br](mailto:brunoz@rc.unesp.br), [rdgon@hotmail.com](mailto:rdgon@hotmail.com), [chang@rc.unesp.br](mailto:chang@rc.unesp.br)

### Resumo

#### Palavras-chave:

Aquífero fissural.  
Interação rocha/fluido.  
Caracterização isotópica.

Os aquíferos cristalinos representam importantes reservas de águas em termos mundiais e são caracterizados pela complexidade que governam o movimento e o armazenamento da água em suas descontinuidades geológicas. Igualmente complexos são os mecanismos atuantes na interação rocha/água. O entendimento dos processos físicos e geoquímicos atuantes nestes aquíferos é crucial para sua gestão. Este trabalho apresenta uma caracterização hidroquímica preliminar das águas do aquífero fissural na região de Itabuna/BA, a partir da identificação dos tipos hidroquímicos dominantes. As análises químicas indicam elevada variabilidade da composição química da água, que pode estar associado à ocorrência de vários processos distintos, incluindo a interação com a água marinha e diferentes graus de interação com as rochas que hospedam a água em suas descontinuidades geológicas. As amostras de águas subterrâneas foram reunidas em dois grupos distintos: o primeiro grupo é representado por água do tipo cloretado sódico e menores valores de condutividade elétrica, associados às amostras coletadas nas porções mais rasas de sub-superfície; o segundo grupo é representado por tipos hidroquímicos bicarbonato sódico, cálcico ou cálcio-magnesianos, provavelmente associadas às águas com elevado grau de interação com as rochas do aquífero, proveniente de recarga pretérita. Os resultados de análise isotópica da água subterrânea e meteórica sugerem a existência de um leve excesso de deutério, decorrente de condições climatológicas locais.

### Abstract

#### Keywords

Fractured aquifer.  
Rock/fluid interaction.  
Isotopic characterization.

Crystalline aquifers represent important water reserves around the world and are characterized by the complexities that govern the water movement and storage in its geological discontinuities. Similar complexity is observed in the mechanisms acting on the rock/water interaction. The understanding of the physical and geochemical processes in these aquifers is crucial for their management. This work presents a preliminary hydrochemical characterization of the groundwater stored in the fractured aquifer of the Itabuna/BA region, identifying of the prevailing hydrochemical types. The chemical analyzes indicate a high variability of the groundwater composition, which may be related to the occurrence of several distinct processes, including the interaction with the seawater and different degrees of interaction with the rocks that host the water in their geological discontinuities. The groundwater samples were clustered in two distinct groups: the first group is represented by the sodium chlorate water type, with lower values of electrical conductivity, associated with the samples collected in shallower sub-surface portions; the second group is represented by hydrochemical types of sodium, calcium or calcium-magnesium bicarbonate, most likely associated with waters with high degree of interaction with the aquifer rocks, from preterit recharge. The results of isotopic analysis of underground and meteoric water suggest the existence of a slight excess of deuterium, due to local climatological conditions.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29151>

## 1. INTRODUÇÃO

O entendimento dos processos que governam o fluxo e o armazenamento de água em rochas fraturadas tem adquirido uma relevância cada vez maior, face à abundância deste tipo de aquíferos e, sobretudo, à crescente demanda de água para fins de abastecimento e

irrigação (GUSTAFSON & KRÁSNÝ, 1994; AYRAUD et al., 2008; JANAUT et al. 2012). Gustafson & Krásný (1994) enfatizam a importância dos aquíferos cristalinos como reservas estratégicas para países subdesenvolvidos, embora práticas adequadas de manejo não sejam comuns.

Diante da complexidade envolvida na circulação e no armazenamento de água nas descontinuidades de aquíferos cristalinos, a capacidade de prever a produtividade desses aquíferos permanece severamente limitada (BERKOWITZ, 2002). Aquíferos cristalinos se notabilizam por fortes variações em sua composição em decorrência de heterogeneidades das rochas em contextos cristalinos e na diversidade mineralógica e reação nos interstícios fissurais destas rochas (AYRAUD et al., 2008; JAUNAT et al., 2012; BATAYNEH et al., 2013).

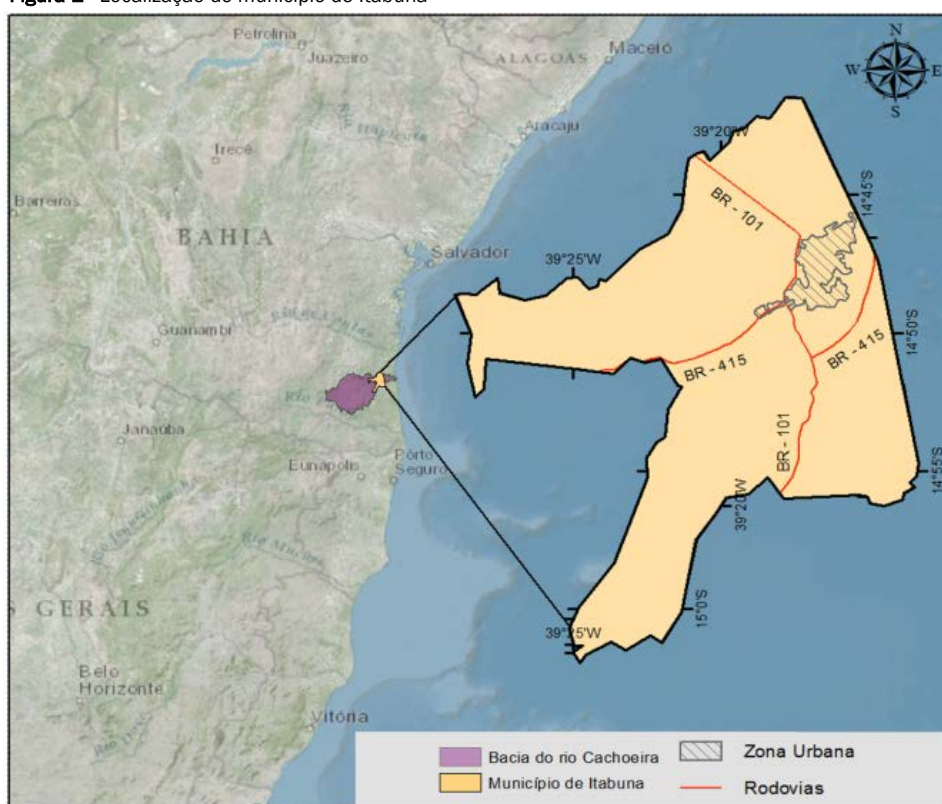
Os aquíferos cristalinos são caracterizados pela complexidade envolvida no fluxo e armazenamento em suas fissuras. Em razão do cenário apresentado, o emprego de abordagens distintas e complementares, incluindo a caracterização hidroquímica, possibilita a formulação de modelos conceituais adequados para a prospecção e

gestão de água deste tipo de aquífero. Com o intuito de aprimorar o entendimento dos processos geoquímicos atuantes nos aquíferos cristalinos, o trabalho visa apresentar um estudo de caso com a caracterização hidroquímica e isotópica preliminar das águas subterrâneas armazenadas nas descontinuidades geológicas das rochas cristalinas da região de Itabuna/BA.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Itabuna dista cerca de 30 km do Oceano Atlântico e compõe a região costeira denominada zona da Mata, cuja nomenclatura deve-se à mata atlântica, que originalmente recobria a região. As principais vias de acesso ao município são as rodovias federais BR-415 e BR-101.

Figura 1 - Localização do município de Itabuna



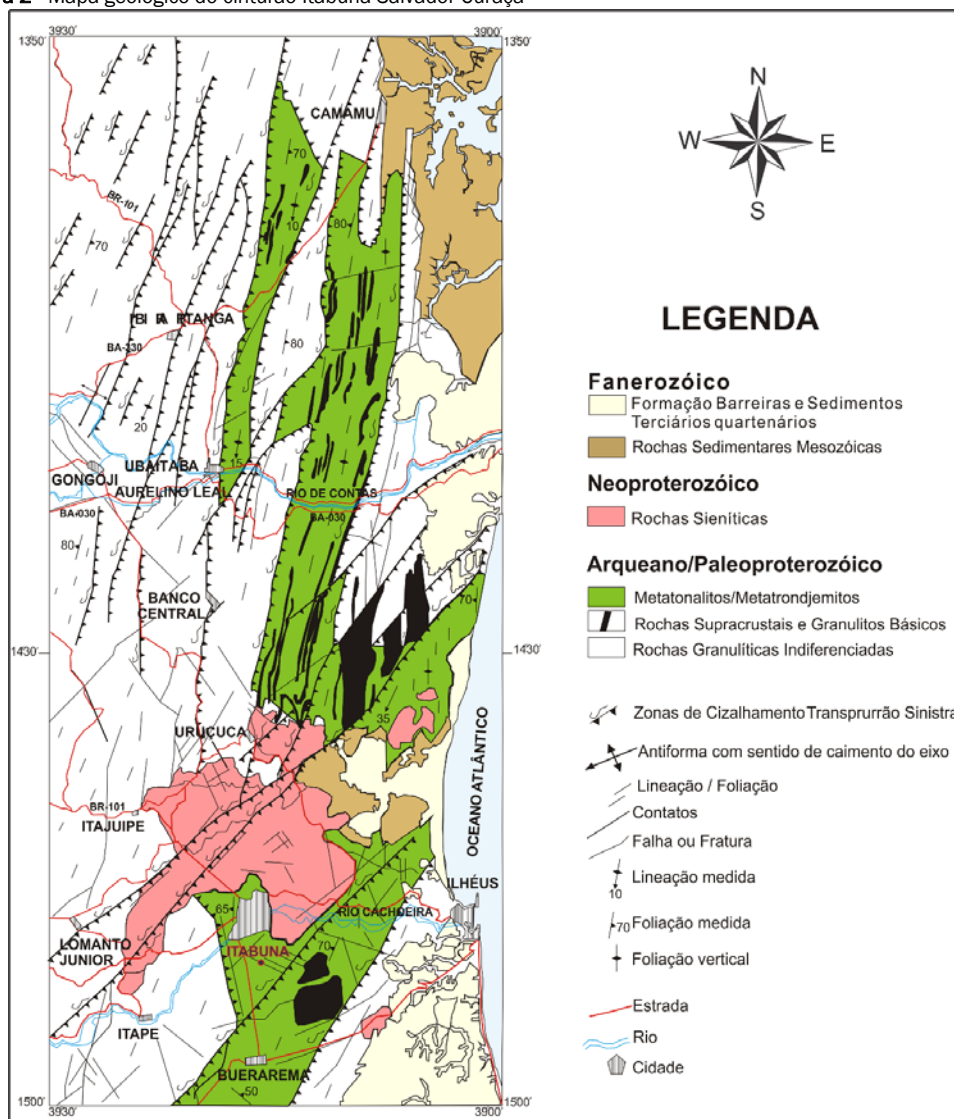
## 3. GEOLOGIA REGIONAL

A região sul do estado da Bahia compõe o arcabouço geotectônico da porção leste do Cráton do São Francisco (ALMEIDA, 1977), cujos terrenos granulíticos foram cratonizados ao final do Ciclo Transamazônico, proterozoico inferior, entre 2,1 Ga e 1,9 Ga. A área de estudo abrange o domínio geológico Itabuna-Salvador-Curaçá (SILVA et al. 2002) (Figura 2), que consiste em um cinturão orogênico polideformado de terrenos de alto grau metamórfico – fácies granulito – expostos de norte a sul do estado da Bahia ao longo de 700 Km (VLACH & DEL LAMA, 2002). O cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá foi formado em um intervalo de tempo de cerca de 200 a 300 milhões de anos, durante o Paleoproterozoico, quando o bloco Itabuna-Salvador-Curaçá foi imprensado pelos blocos Gavião, Jequié e Serriinha, de idade Arqueana, levando à formação de importante cadeia de montanhas. Atualmente, este orógeno está completamente arrasado na parte central, exibindo as rochas metamórficas de alto grau

das suas raízes (BARBOSA et al., 1996). O domínio geológico Itabuna-Salvador-Curaçá é composto pelos cinturões Itabuna, ao sul, e Salvador-Curaçá, ao norte. Essas unidades apresentam predomínio de granulitos tonalíticos e trondhjêmíticos, subdivididos em séries toleítica, cálcio-alcalina de baixo teor de potássio e shoshonítica, associados a faixas metassedimentares e a basaltos e gabros de fundo oceânico e/ou de bacias *back-arc* (BARBOSA & SABATÉ, 2002).

A suíte intrusiva de Itabuna originou-se do magmatismo pós-tectônico de idade neoproterozoica, cujas rochas de natureza alcalina formam corpos de sienitos, nefelina-sienitos, sodalita-sienitos, monzodiorito, leucogabro, diorito e norito (ARCANJO, 1993). Essas rochas são, via de regra, grossas e isotrópicas, apresentando, contudo, orientação mineral e gnaissificação nas bordas das intrusões e ao longo de zonas de cisalhamento que seccionam o maciço.

Figura 2 - Mapa geológico do cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá



Fonte: (PINHO, 2005)

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Amostragem das águas subterrânea, superficial e meteórica

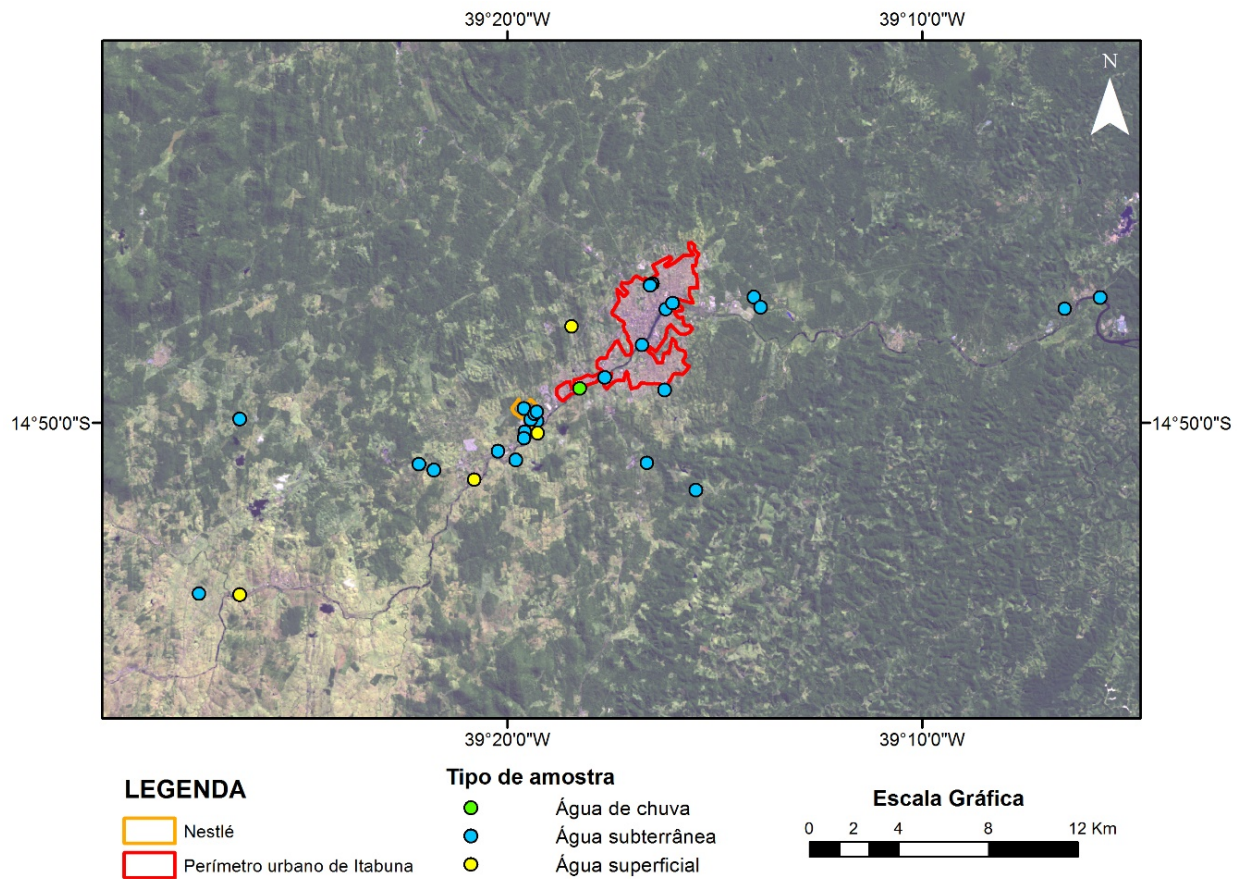
Para a caracterização hidroquímica preliminar foram coletadas amostras de águas de 29 poços, 2 de chuva e 4 superficiais (Figura 3).

### 4.2. Análises químicas e isotópicas

Durante a amostragem foram medidas variáveis físico-químicas da água, como temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade, oxigênio dissolvido, pH e potencial de oxi-redução (redox), utilizando-

se a sonda multiparâmetro YSI profissional. As amostras destinadas à análise de cátions e ânions maiores foram filtradas em campo com membrana de 0,45 µm e preservadas em caixas de isopor a 4°C. Todas as amostras coletadas foram encaminhadas até o laboratório de Hidroquímica do LEBAC/RAIH, na UNESP - Campus de Rio Claro/SP para análise. A alcalinidade foi determinada em laboratório por intermédio do método de titulação potenciométrica. Os ânions foram determinados por cromatografia iônica (IC), enquanto os cátions foram determinados por emissão óptica de espectrometria com plasma de argônio indutivo (ICP-OES). A assinatura isotópica da água foi estabelecida por espectroscopia isotópica de absorção laser em cavidade ressonante, utilizando-se instrumento Liquid Water Isotope Analyzer da Los Gatos Research Inc (LWIA-24d).

**Figura 3** - Localização das amostras de águas superficiais, subterrâneas e de chuva amostradas



## 5. RESULTADOS

### 5.1. Caracterização Hidroquímica

Os resultados analíticos referentes aos parâmetros físico-químicos medidos em campo e espécies químicas majoritárias estão apresentados na Tabela 1.

A representação das amostras de água subterrânea, superficial e meteórica coletadas pode ser vista no diagrama de Piper (Figura 4), no qual indica que essas amostras pertencem a diferentes tipos hi-

droquímicos, incluindo  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaMgCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaMgHCO}_3$ , com o predomínio dos tipos  $\text{CaHCO}_3$  e misto  $\text{NaCaHCO}_3$ .

Para ilustrar individualmente a afinidade entre os cátions e ânions maiores apresentados na Tabela 1, foram construídos gráficos de dispersão entre os pares de cátions e ânions, individualmente. As Figuras 5a e 5b apresentam, respectivamente, a dispersão das concentrações de cloreto e bicarbonato em relação ao sódio, enquanto as Figuras 6a e 6b apresentam, respectivamente, a dispersão das concentrações do cálcio e magnésio em relação ao bicarbonato.

**Tabela 1** – Parâmetros físico-químicos medidos e campo e resultados dos cátions e ânions maiores nas amostras de água subterrânea, superficial e meteórica coletadas.

Amostra	Alcalinidade (mg/L)	CE (mS/cm)	pH	ORP (mV)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Erro de balanço de carga (%)
Chuva 1	0,35	-	-	-	0,44	0,19	0,13	0,15	0,59	0,24	0,3	0,11	40,01
Chuva 2	0,37	-	-	-	0,13	< 0,040	0,12	<0,13	< 0,25	< 0,25	0,14	0,039	-9,08
P1	309	-	-	-	16,2	< 0,040	6,82	79,58	28,8	4,47	63	13,4	-0,45
P2	348	-	-	-	138,0	0,92	48,6	48,35	136,0	2,65	52	34,3	3,53
P3	494	682	6,5	18,5	86,8	2,96	157,0	61,40	113,0	2,49	99,3	47,6	-0,04
P4	386	219,4	7,4	133,5	45,3	2,42	211,0	19,79	48,8	6,97	149	35	2,35
P5	371	860	6,7	232,8	34,4	3,94	103,0	83,43	70,2	1,52	68,5	40,1	2,88
P6	480	832	6,7	198	67,9	3,65	105,0	64,18	140,0	2,17	66,7	33,1	0,69
P7	763	1111,7	5,74	187,9	88,5	3,2	13,6	80,44	194,0	16,6	59,9	4,88	-11,18
P8	30,5	1289	7,49	-98	16,6	< 0,040	2,51	39,15	14,2	1,18	4,87	2,81	4,74
P9	601	1499	7,06	35,1	146,0	< 0,040	81,1	35,73	191,0	2,78	83,1	44	1,53
P10	455	1334	7,23	158,5	187,0	8,45	24,4	53,05	203,0	0,94	61,2	3,81	-4,52
P11	317	2321	7,24	108	535,0	8,63	71,9	31,87	299,0	2,15	147	28,2	1,78
P12	577	1111	7,62	-96,7	241,0	5,07	32,8	57,33	212,0	6,22	92,6	59,6	5,25
P13	200	668	6,39	109,8	93,0	2,33	25,8	78,72	85,2	1,78	27,1	21,7	3,09
P14	280	480,1	6,94	-79,6	10,7	0,22	6,24	72,95	23,1	3,09	71,2	13	6,35
P15	4,11	47,8	5,14	240,7	8,61	0,21	2,88	9,13	6,45	< 0,25	1,38	1,23	9,35
P16	56,9	353,8	6,11	179,7	69,4	2,1	4,3	75,73	25,0	1,68	20,9	13,9	4,79
P17	587	692	7,22	-125,9	324,0	< 0,040	50	46,85	232,0	5,61	123	45,6	0,81
P18	743	1516	7,13	106,3	98,5	5,24	51,3	62,47	201,0	2,54	75,5	50,4	1,86
P19	293	1160	6,69	-95,7	58,2	3,33	40,3	24,17	73,6	2,33	51,1	22,7	2,27
P20	403	1050	6,97	-35,1	105,0	2,69	52,4	60,11	106,0	2,89	74,2	34,7	2,46
P21	546	1115	7,01	-109,2	100,0	< 0,040	16,9	23,75	143,0	2,35	59	35,8	0,19
P22	194,12	423	8,71	-57,8	23,2	2,78	17,7	5,05	68,1	6,16	10,8	10,9	3,47
P23	327	1168	6,73	-104,7	161,0	< 0,040	26,1	63,96	120,0	2,68	58,1	33,8	2,45
P24	92,2	658	9,16	-88,0	122,0	6,59	30	0,36	112,0	2,08	4,64	10,7	3,02
P25	352	841	7,49	-201,9	92,6	< 0,040	15,9	65,89	110,0	2,4	55,9	21,7	3,90
P26	65,1	210	7,48	-147,2	27,1	< 0,040	< 0,020	1,65	20,1	3,9	10,9	2,59	-2,82
P27	641	-	-	-	93,4	< 0,040	80,4	52,84	172,0	3,83	78,5	42,6	0,62
P28	401	855	7,13	-111	89,8	3,98	28,5	67,39	91,5	3,44	79,6	21,5	0,23
P29	171,61	302	8,68	29,6	12,1	< 0,040	< 0,020	1,37	59,7	4,76	6,14	2,63	1,36
Represa1	74,6	303,6	7,21	130,9	32,7	< 0,040	1,72	17,14	26,5	3,07	8,45	8,05	2,98
Rio1	63,4	151,5	7,23	71,9	27,7	2,55	15,8	18,76	23,4	3,68	13,6	7,78	5,20
Rio 2	71,2	304	7,26	120	68,2	2,42	55,3	14,42	47,6	2,66	21,4	16,7	3,38
Rio 3	70,5	458,2	7,11	155,9	36,8	1,32	24,1	16,49	26,8	3,44	15	9,62	1,40

Figura 4 - Diagrama de Piper das amostras das águas subterrânea, superficial e meteórica

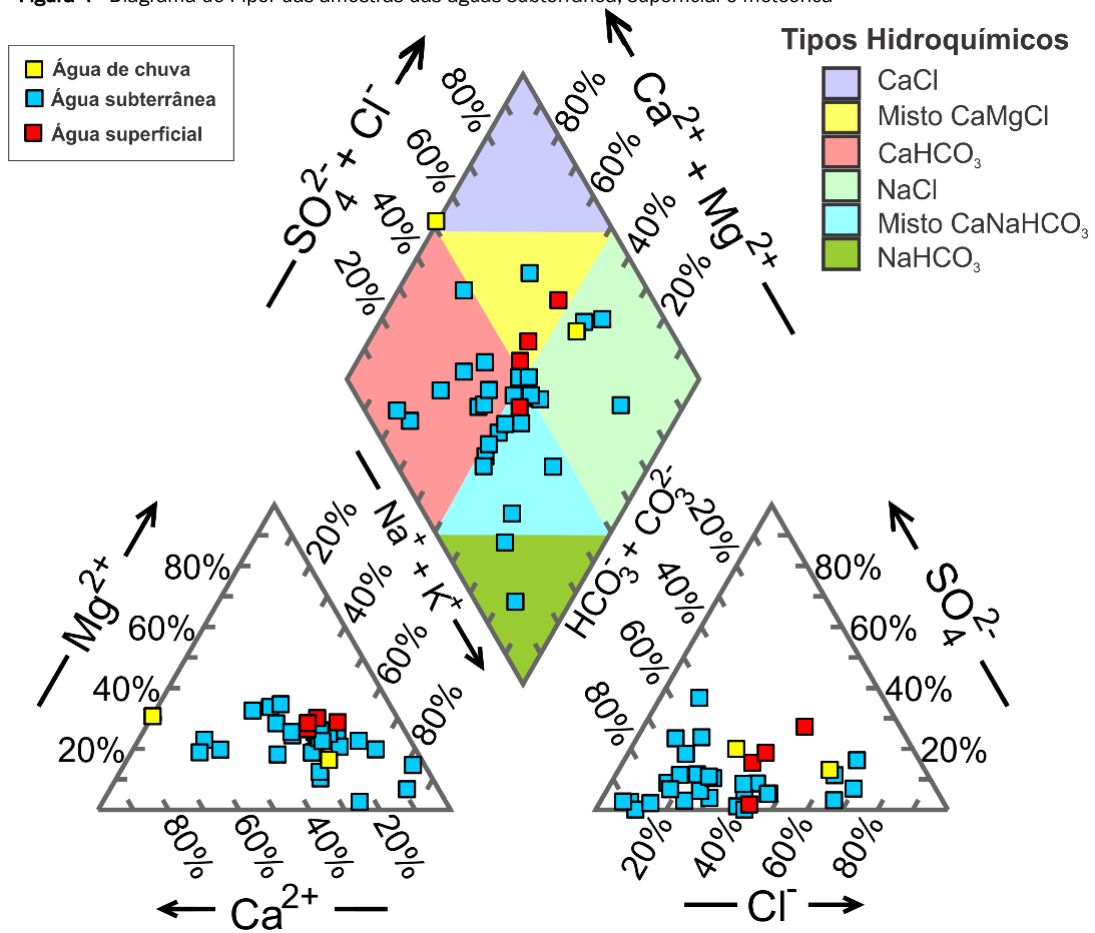
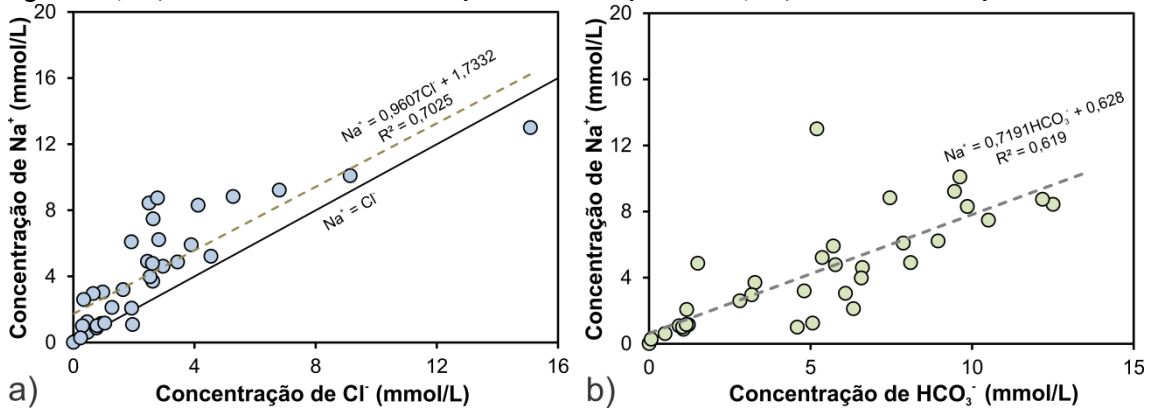
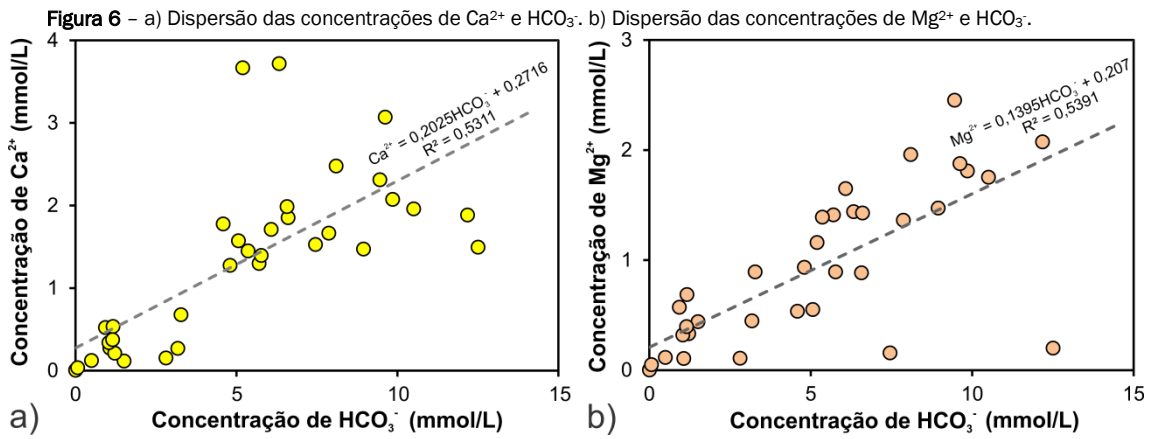


Figura 5 - a) Dispersão dos valores de  $\text{Na}^+$  em função das concentrações de  $\text{Cl}^-$ . b) Dispersão das concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$

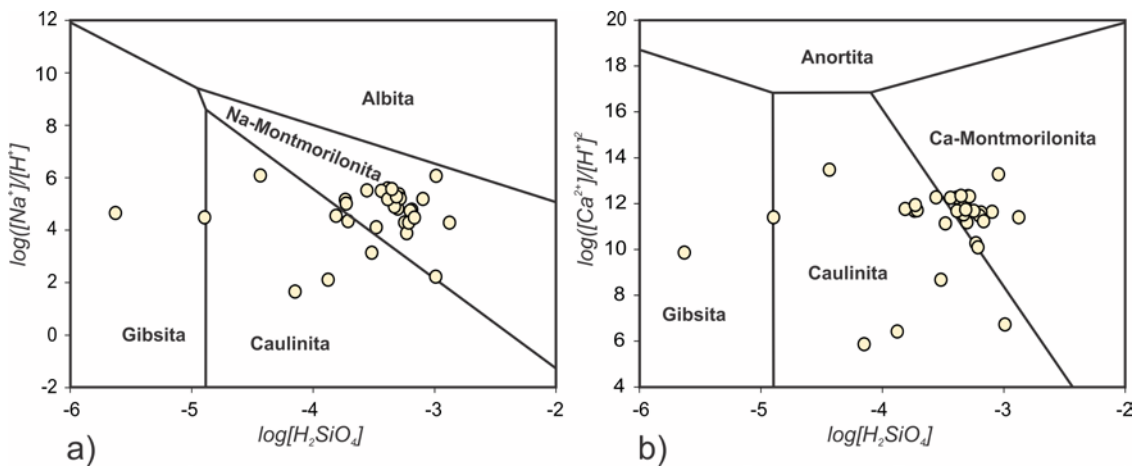




Para avaliar a estabilidade dos plagioclásios, a fase mineral predominantes nas rochas metatonalitos/metatrondhjomitos e

rochas metabásicas, foi construído o diagrama de estabilidade para albíta e anortita (Figura 7).

**Figura 7** – a) Diagrama de estabilidade da albíta e seus produtos intempéricos; b) Diagrama de estabilidade da anortita e seus produtos intempéricos



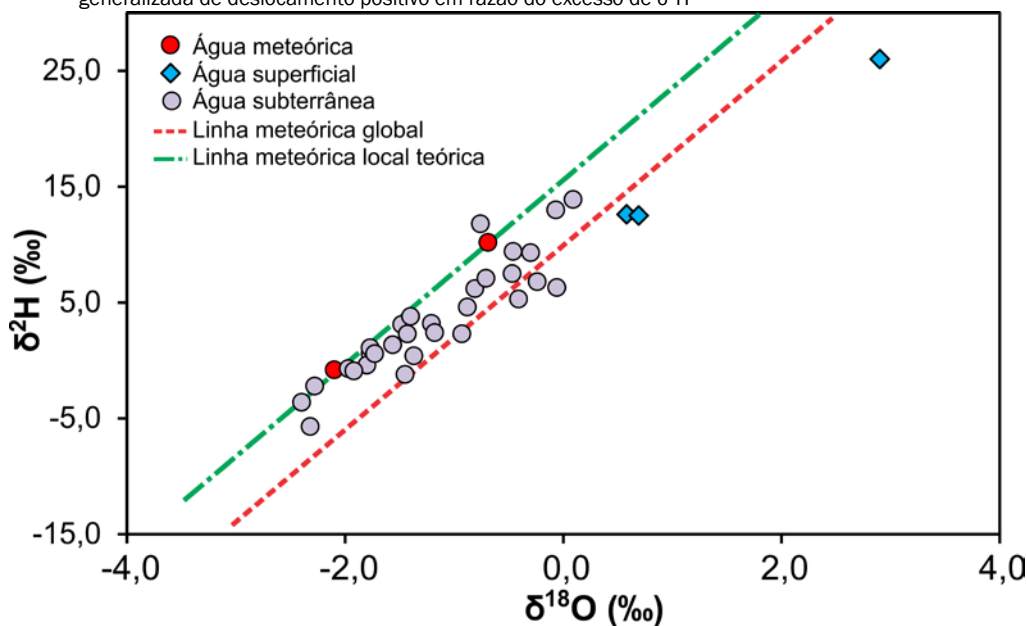
Na Figura 7 é possível observar que a maior parte das amostras se distribuem no campo de estabilidade da montmorilonita e é compatível com a condição de supersaturação em relação a este argilomineral identificada nestas amostras. Estas mesmas amostras apresentam-se supersaturadas em relação aos minerais clinoptilolita, pirofilita, heulandita, ilite e montmorilonita.

## 5.2 Composição isotópica

Complementarmente à análise química, foram realizadas análises isotópicas com o intuito de avaliar a origem da água armazenada

nos aquíferos. Tendo em vista que as águas subterrâneas e superficiais são integralmente provenientes da água meteórica local, é esperado que ambas apresentem assinatura isotópica similar. O gráfico de dispersão  $\delta^2\text{H}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$ , ilustrado na Figura 8, revela que a maior parte das amostras, incluindo as de água de chuva, apresenta um deslocamento positivo em relação à linha meteórica global, indicando a existência de leve excesso de deutério, reflexo das condições atmosféricas locais. As águas superficiais apresentam, como esperado *a priori*, um deslocamento negativo em relação à linha meteórica global como resultado da evaporação.

Figura 8 - Dispersão dos valores de  $\delta^2\text{H}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$ , indicando que a maioria apresenta uma tendência generalizada de deslocamento positivo em razão do excesso de  $\delta^2\text{H}$



## 6. DISCUSSÕES

As duas amostras de água de chuva coletadas apresentam diferenças composicionais. Admite-se que, inicialmente, a chuva possua concentração elevada de sais em decorrência de particulados sólidos e aerossóis na atmosfera, e que essas concentrações apresentem uma tendência de queda durante o evento de precipitação. Diante do número restrito de amostras de chuva coletadas, não foi possível avaliar de maneira consistente a composição da água meteórica local.

As investigações conduzidas neste trabalho apontam para a existência de ampla variabilidade na composição e parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas que ocupam as fissuras dos aquíferos cristalinos na região de Itabuna/BA. Na Tabela 1, a forte variação de amostras de água subterrânea de condutividade elétrica, variando entre 47,8 e 2321  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , é resultado de variações na quantidade de sais dissolvidos na água, provavelmente refletindo diferentes estágios de evaporação e interação da água com a rocha. Das 29 amostras de água subterrânea coletadas, em 13 foram observados valores de ORP negativos e especula-se que este fato reflita a interação da água com sulfetos presentes na rocha, sendo compatível com as elevadas concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  observadas na água (Tabela 1). As amostras de água superficiais apresentam composição similar às amostras de água subterrâneas mais rasas, indicando que o fluxo de base do Rio Cachoeira tem como proveniência as águas subterrâneas armazenadas em porções mais rasas de sub-superfície.

A análise comparativa entre diferentes pares de cátions e ânions permite estabelecer a afinidade entre estes, permitindo inferir as prováveis fases minerais que interagiram com a água. A elevada correlação entre as concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (Figura 5a) sugere que estas espécies químicas são provenientes de uma mesma fonte. Em concentrações de  $\text{Na}^+$  abaixo de 1,0 mmol/L, tem-se uma relação estequiométrica de aproximadamente 1 mmol de  $\text{Na}^+$  para cada mmol de  $\text{Cl}^-$  (1:1), indicando que estas espécies químicas pro-

vavelmente são provenientes da dissolução de cloreto de sódio, provavelmente da água do mar. Tendo em vista a proximidade com a região costeira, esta relação pode ser decorrente da incorporação de aerossóis oriundos da água do mar, carregados por correntes de ar deslocando-se para o interior do continente. O incremento nas concentrações dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  provenientes da interação da água com a deposição seca de aerossóis marinhos é explicado pela evaporação da água, a partir do mecanismo similares aos descritos por Bennetts et al. (2006) e Skrzypek et al. (2013). Contudo, a partir de concentrações a partir de 1,8 mmol/L ocorre um incremento nos valores da razão  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ , indicando a adição de uma fonte distinta de sódio.

Como é possível observar na Tabela 1, o bicarbonato é o ânion dominante nas amostras de água superficial e subterrânea coletadas, seguido pelo cloreto e sulfato, enquanto o cálcio e o sódio são os cátions predominantes. A Figura 6a mostra que a correlação entre  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$  é apenas moderada ( $R^2$  de 0,531), com uma razão média de 0,23 moles de  $\text{Ca}^{2+}$  para cada mol de  $\text{HCO}_3^-$ . Apesar das elevadas concentrações de  $\text{Ca}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , exclui-se a dissolução de rochas carbonáticas como provável fonte destas espécies na água, uma vez que a relação estequiométrica esperada seria de 1 mol de  $\text{Ca}^{2+}$  para cada 2 moles de  $\text{HCO}_3^-$  e foi registrada a completa ausência de rochas carbonáticas na região de estudo. A correlação do  $\text{Mg}^{2+}$  com  $\text{HCO}_3^-$  é apenas regular ( $R^2$  de 0,539), similarmente ao  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  indicando o pareamento do bicarbonato com estes cátions. É possível admitir que as relações existentes entre o  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  com o  $\text{HCO}_3^-$ , associadas às elevadas concentrações de sílica (Tabela 1), sugerem que estas espécies são provenientes da hidrólise de minerais silicáticos, particularmente plagioclásios e anfíbios, em equilíbrio com elevados valores de  $\text{PCO}_2$  no solo. A maior parte das amostras está situada no campo da estabilidade da montmorilonita e refletem o predomínio de clima árido na maior parte da Bacia do Rio Cachoeira.

A análise isotópica é uma importante ferramenta para avaliação das relações existente entre os diversos reservatórios (atmosfera, aquí-



feros, corpos d'água superficiais) e sua origem. No gráfico de dispersão dos valores de  $\delta^2\text{H}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  (Figura 8), o reduzido número de amostras de água de chuva não permite estabelecer uma linha meteórica local. Entretanto, as duas amostras de água de chuva e uma parcela significativa das amostras de águas subterrâneas apresentam um excesso de deutério e se distribuem ao longo de uma linha paralela à linha meteórica global, que pode ser interpretada como uma linha meteórica local teórica (Figura 8). É possível notar que a maior parte das amostras de águas subterrâneas apresenta um desvio negativo em relação à linha meteórica local teórica e pode indicar o efeito de destilação Rayleigh na água meteórica devido ao processo de evaporação antes desta infiltrar no solo e promover a recarga dos aquíferos locais. Esta hipótese é concordante com a hipótese que os incrementos das concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  ocorrem em razão da evaporação da água meteórica antes de sua infiltração no solo.

## 7. CONCLUSÕES

A caracterização hidroquímica das águas subterrâneas nos aquíferos cristalinos da região de Itabuna/BA indica a existência de ampla variedade de tipos hidroquímicos e reflete a ocorrência de vários processos distintos. O tipo hidroquímico NaCl resulta da interação da água com a deposição seca de aerossóis marinho proveniente das regiões costeiras, enquanto os tipos predominantes  $\text{CaHCO}_3$  e o tipo misto  $\text{CaNaHCO}_3$  são provavelmente resultantes da hidrólise de plagioclásios e anfibólios. O processo mais importante está relacionado à interação com rochas metatonalitos/metatrandhjomitos e rochas metabásicas, gerando tipos hidroquímicos bicarbonatados sódicos e cálcicos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.D. O cráton do São Francisco. *Brazilian Journal of Geology*, v.7, n. 4, pp.349-364, 1977.
- ARCANJO, J.B.A. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. *Folha Itabuna SD-24-Y-B-VI*. Estado da Bahia. Escala 1:100.000. Brasília. DNPM/ARCANJO, 1993.
- AYRAUD, V., AQUILINA, L., LABASQUE, T., PAUWELS, H., MOLENAT, J., PIERSON-WICKMANN, A. C., Fourre, E. Compartmentalization of physical and chemical properties in hard-rock aquifers deduced from chemical and groundwater age analyses. *Applied geochemistry*, v. 23, n. 9, p. 2686-2707, 2008.
- BARBOSA J.S.F., ARCANJO A.B.J., ALVES DA SILVA F.C., PINHO I.C.A., OLIVEIRA M.P.S., SAVINI D.S. Geologia das rochas de alto grau metamórfico da região de Ipaú-sudeste da Bahia-Brasil. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, 1996. *Anais...* 6:272-279. 1996.
- BARBOSA, J.S.F; SABATÉ, P. Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archean crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil: a synthesis. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 74, n. 2, p. 343-359, 2002.
- BATAYNEH, A., ZAMAN, H., ZUMLOT, T., GHREFAT, H., MOGREN, S., NAZZAL, Y., AL-TAANI, A. Hydrochemical facies and ionic ratios of the coastal groundwater aquifer of Saudi Gulf of Aqaba: implication for seawater intrusion. *Journal of Coastal Research*, v. 30, n. 1, p. 75-87, 2013.
- BENNETTS, D. A. et al. Understanding the salinisation process for groundwater in an area of south-eastern Australia, using hydrochemical and isotopic evidence. *Journal of Hydrology*, v. 323, n. 1-4, p. 178-192, 2006.
- BERKOWITZ, Brian. Characterizing flow and transport in fractured geological media: A review. *Advances in water resources*, v. 25, n. 8, p. 861-884, 2002.
- GUSTAFSON, G.; KRÁSNÝ, J. Crystalline rock aquifers: their occurrence, use and importance. *Applied Hydrogeology*, v. 2, n. 2, p. 64-75, 1994.
- JAUNAT, J.; HUNEAU, F.; DUPUY, A.; CELLE-JEANTON, H.; VERGNAUD-AYRAUD, V.; AQUILINA, L.; LE COUSTOMER, P. Hydrochemical data and groundwater dating to infer differential flowpaths through weathered profiles of a fractured aquifer. *Applied Geochemistry*, v. 27, n. 10, p. 2053-2067, 2012.
- PINHO, I. C. A. *Geologia dos Metatonalitos / Metatrandhjomitos e Granulitos básicos associados das regiões de Camamu-Ubaitaba-Itabuna*. 164 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- SKRZYPEK, Grzegorz; DOGRAMACI, Shawan; GRIERSON, Pauline F. Geochemical and hydrological processes controlling groundwater salinity of a large inland wetland of northwest Australia. *Chemical Geology*, v. 357, p. 164-177, 2013.
- SILVA, L.C., ARMSTRONG, R., DELGADO, I.M., PIMENTEL, M., ARCANJO, J.B., DE MELO, R.C., TEIXEIRA, L.R., JOST, H., CARDOSO FILHO, J.M., PEREIRA, L.H.M. Reavaliação da evolução geológica em terrenos Pré-Cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb shrimp, parte i: limite centro-oriental do Cráton São Francisco na Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, n. 4, p.501-512. 2002.
- VLACH, S.R.F.; DEL LAMA, E. Idades Th-U-Pb de monazite e geotermobarometria de rochas metapelíticas de alto grau do sistema orogênico Itabuna-Salvador-Curaçá, BA, Brasil: um estudo em microsonda eletrônica. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, v. 2, p. 9-22. 2002.