

Avaliação do Padrão da Composição Isotópica de Águas na Bacia do Rio Joanes: Implicações para a Interação entre Águas Superficiais e Subterrâneas

Alexandre Barreto Costa; Antonio Expedito Gomes de Azevedo;
Luiz Rogério Bastos Leal; Christian Pereira Lopes dos Santos
Institutos de Geociências e Física - UFBA
abc@ufba.br

Maria do Rosário Zucchi
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF

Recebido: 11/07/07 - revisado: 05/09/07 - aceito: 28/09/07

RESUMO

O sistema de aquíferos da região metropolitana de Salvador é uma importante fonte de água doce intensamente utilizada para o consumo urbano e industrial. Neste artigo utilizamos a composição isotópica de águas de precipitação coletadas em Salvador, de águas superficiais da Bacia do rio Joanes e de águas subterrâneas da região metropolitana de Salvador para avaliar vários aspectos da interação entre águas superficiais e subterrâneas nesta região. Os resultados indicam: (i) o valor médio da composição isotópica das águas superficiais é comparável com o valor médio das precipitações, indicando que a evaporação modificou muito pouco a composição isotópica das águas ao longo da Bacia do Joanes; (ii) não existe um enriquecimento isotópico nas águas superficiais no sentido cabeceira foz, indicando interação entre água superficial e água subterrânea ao longo da Bacia; (iii) os valores isotópicos de águas subterrâneas próxima ao rio Ipitanga (formação Barreiras), provenientes de aquíferos livres, indicam valores equivalentes aos valores das águas de precipitação, enquanto que os valores isotópicos para águas subterrâneas provenientes do aquífero São Sebastião, provenientes de aquíferos profundos com águas fósseis, apresentaram uma marca isotópica diferente da água de precipitação; (iv) os valores isotópicos das águas de precipitação se distribuem ao longo da reta de correlação $\delta D = 12 + 8,78 \delta O^{18}$, numa faixa estreita e similar a valores da Agência Internacional de Energia Atômica (medidos no período 1965 a 1987), exceto o valor correspondente a janeiro de 2004 bastante diferente da média dos restantes provavelmente devido ao efeito da quantidade ou devido à aproximação da zona inter-tropical de convergência.

Palavras-chave: composição isotópica; interação águas superficiais e subterrâneas.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Joanes, localizada na Região Metropolitana de Salvador (RMS) a norte da cidade de Salvador, destaca-se como uma das mais importantes do Estado da Bahia, pois as águas superficiais e subterrâneas desta bacia compõem uma das fontes principais de abastecimento humano e industrial para os 10 municípios que compõem a RMS, atendendo a um contingente populacional de cerca de 3,3 milhões de habitantes e aos principais Pólos Industriais do Estado (Camaçari e Aratu).

A composição isotópica das precipitações baseia-se nos trabalhos clássicos de Craig (1961) e Dansgaard (1964). Nesses trabalhos foram determinadas correlações entre as composições isotópicas do oxigênio e do hidrogênio, e avaliados os parâmetros dominantes que controlam essa composição, tais como os efeitos de: temperatura, sazonalidade, quantidade, latitude e distância da costa, que contribuem para as mudanças da composição isotópica das águas meteóricas.

Para explicar os valores numéricos da composição isotópica do hidrogênio e oxigênio (expressos em partes por mil) da precipitação em uma escala global, se aplica o modelo de Rayleigh incluindo dois processos: i) a formação do vapor atmosférico

pela evaporação nas regiões com as mais altas temperaturas de superfície do oceano ii) a condensação progressiva do vapor durante o transporte às latitudes mais elevadas com temperaturas mais baixas.

As linhas de águas meteóricas são representadas pela fórmula $\delta D = 8\delta O^{18} + d$, onde d foi chamado parâmetro de “excesso de deutério” por Dansgaard (1964). A linha meteórica global (Craig 1961), por exemplo, é uma linha de água meteórica com $d = 10\%$. O valor de d indica o fracionamento cinético que acontece durante processos de não-equilíbrio, como por exemplo, a evaporação sobre a superfície do oceano (Merlivat & Jouzel, 1979), evaporação (Stewart, 1975) e formação da chuva abaixo da base das nuvens (Jouzel & Merlivat, 1984). O valor de d , também fornece informações sobre as condições meteorológicas e sobre a distância das fontes evaporativas que deram origem às chuvas (Armengaud, 1998).

Quanto mais afastada da fonte de vapor, mais empobrecidos serão os valores isotópicos de precipitação em cada uma destas linhas. Dansgaard (1964), identificou quatro parâmetros que determinam este empobrecimento nos valores isotópicos que incluem um efeito de altitude, distância da costa e efeito de latitude. Todos estes estão basicamente relacionados ao retirada da umidade da atmosfera como resultado do resfriamento da massa de ar, e certamente a correlação com a temperatura aparece como um fator dominante. Somente o quarto parâmetro descrito por Dansgaard, o “efeito de quantidade”, tem uma estrutura mais complicada.

Com a variação sazonal, a composição isotópica da chuva em qualquer local sofrerá duas mudanças básicas no seu padrão. A primeira é a mudança das características da fonte sobre o oceano devido à mudança da temperatura do oceano e das condições de interação entre o ar e o mar. Isto afeta primariamente o valor do excesso de deutério, d . Além disso, estações diferentes têm diferentes graus de precipitação, imposto pela temperatura ao longo da trajetória da massa de ar. Desvios da relação de Rayleigh por qualquer enriquecimento evaporativo das gotas de chuva, misturas de umidade re- evaporada, ou efeitos de neve e granizo são também diferentes para diferentes estações.

O estudo da composição isotópica em uma escala regional necessita de um estudo em particular, pois fatores locais estão envolvidos como relatado nos trabalho de Dansgaard (1964). Este trabalho fornece subsídios para o entendimento, em escala regional na bacia do rio Joanes, buscando compreender uma possível conexão entre águas superfici-

ais, subterrâneas e de precipitação, utilizando os isótopos ambientais.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA ESTUDADA

O rio Joanes possui uma área de drenagem de 1200 km², formato alongado no sentido SE-NW, tendo suas principais nascentes na localidade de Cinco Rios no município de São Francisco do Conde e a foz no oceano Atlântico e seu principal afluente é o rio Ipitanga (Figura 1).

Na região predomina o clima tropical úmido, com índice pluviométrico médio anual variando de 1500 a 1800 mm/ano, da porção norte para sul da bacia e período chuvoso concentrado nos meses de outono e inverno (entre março e agosto), enquanto que o balanço hídrico mensal indica valores médios de evaporação de 80mm/mês (Figura 2a). A umidade relativa do ar durante todo o ano acima de 80% e a direção predominante dos ventos é para leste.

Geologia

Do ponto de vista geomorfológico, a bacia se caracteriza por apresentar feições típicas de tabuleiros trabalhados em superfícies cimeiras de pediplanação, refletindo as características dos depósitos sedimentares formados entre os períodos mesozóico e quaternário na região. Este modelado dissecado apresenta-se com certa monotonia geomorfológica, com posição altimétrica rebaixada e altitudes máximas em torno de 150 metros acima do nível do mar (Figura 2b).

Mais de 60% das rochas aflorantes na da bacia do Joanes são representadas por sedimentos clásticos associados à bacia sedimentar do Recôncavo Baiano formada durante o Jurássico e hospedeira da Formação São Sebastião, principal sistema aquífero regional e cujos poços tubulares apresentam vazões médias de 40 m³/h (Figura 2c). Também com expressiva presença na porção sul da região, ocorrem sedimentos do Grupo Barreiras representados predominantemente por arenitos com intercalações argilosas, enquanto na região litorânea os depósitos sedimentares fluvio-marinhos e litorâneos são predominantes. Finalmente, são reconhecidas rochas granulíticas pré-cambrianas do embasamento cristalino na região sul da bacia e sedimentos aluvionares recentes ao longo das principais drenagens (Figura 2c).

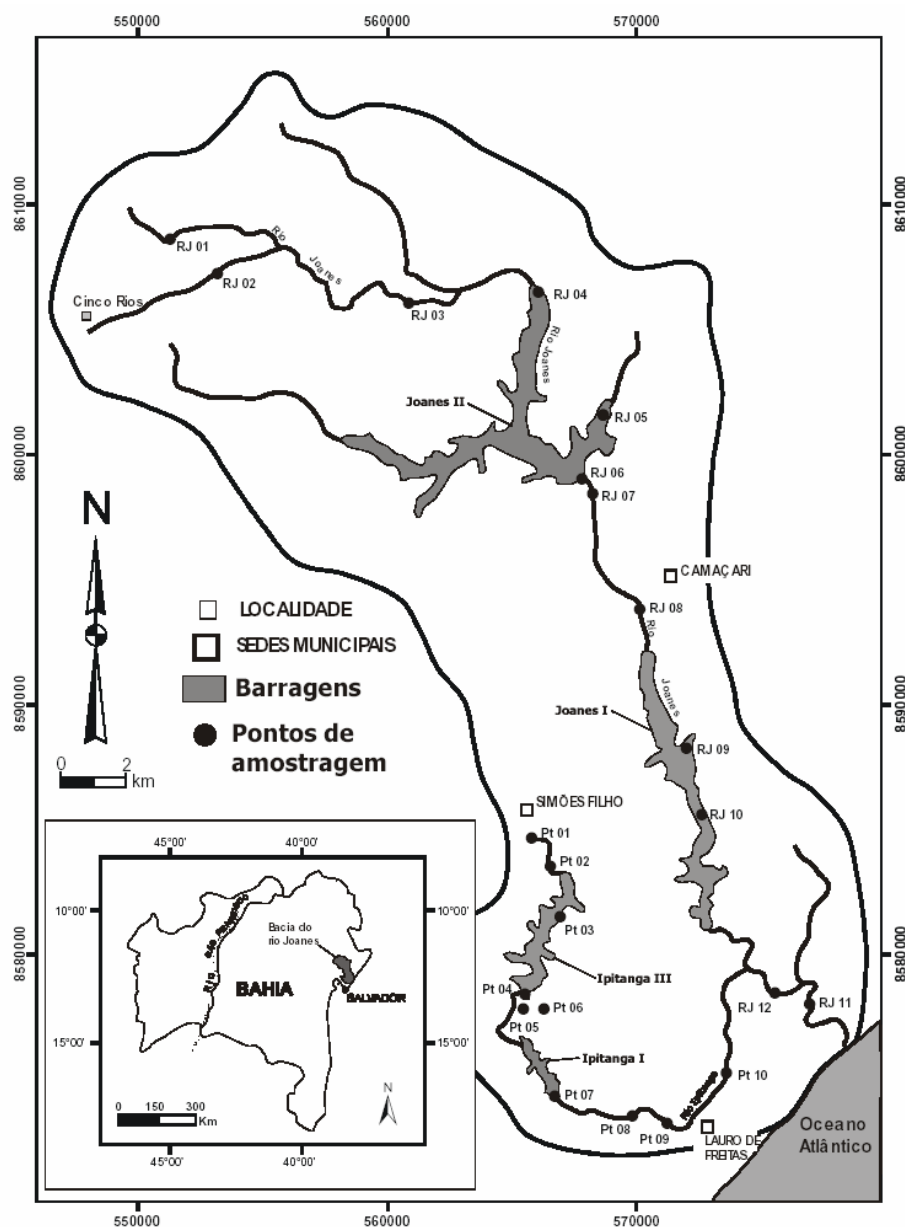


Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Joanes e localização dos pontos amostrados.

Do ponto de vista de uso e ocupação do solo, na porção norte da bacia predomina as atividades de pecuária e agricultura extensiva, enquanto que as áreas de ocupação urbana e industrial estão concentradas nas porções central e na zona litorânea (Figura 2d). Observa-se ainda que a bacia apresenta importantes áreas com cobertura vegetal secundária especialmente associadas às áreas de Preservação Ambiental dos mananciais que são utiliza-

dos para abastecimento humano e industrial da região (represas do Joanes e Ipitanga) (Figura 2d). Apesar da expressiva cobertura vegetal preservada na área da bacia, são reconhecidos processos erosivos em grande parte da bacia, especialmente nas áreas urbanas e de uso intensivo pelas atividades agropecuárias, fato que tem comprometido a vazão do rio Joanes, cujo valor médio é de $11,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

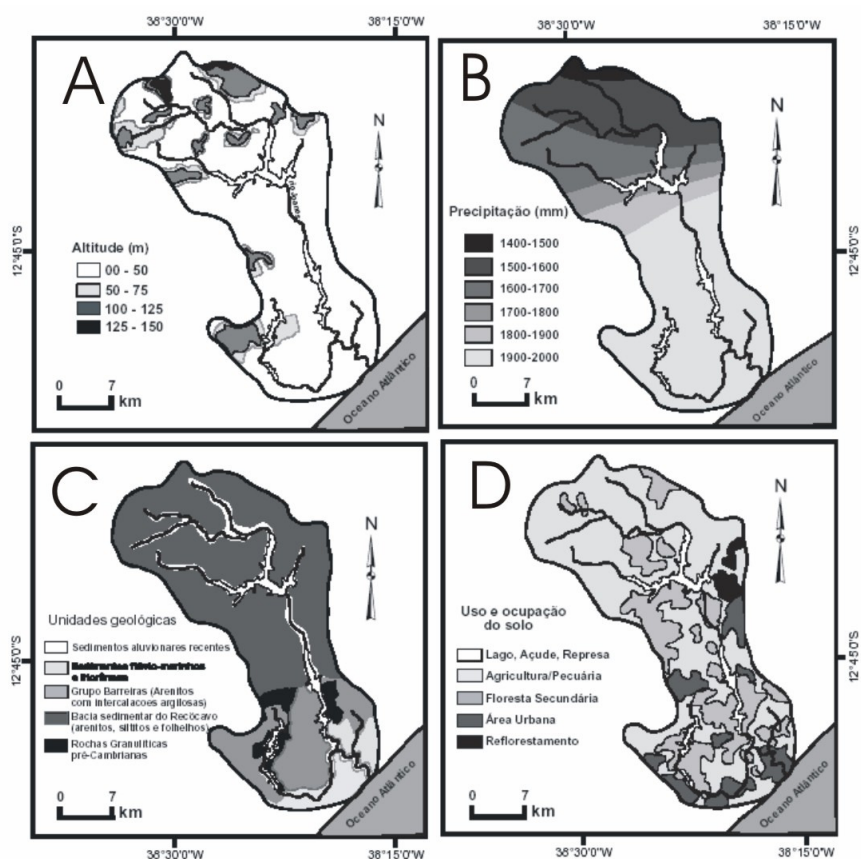


Figura 2 - Mapas variação da precipitação (A), altitude (B), unidades geológicas (C) e uso e ocupação do solo (D) da Bacia do rio Joanes.

Metodologia

Esse estudo consistiu na análise isotópica do oxigênio-18 e deutério, de águas meteoricas, águas superficiais coletadas na Bacia do Rio Joanes e Rio Ipitanga e águas subterrâneas na região metropolitana de Salvador. A amostragem estendeu-se da barragem do Joanes II até a BA-099 na região de Lauro de Freitas totalizando 12 pontos amostrados, ao longo do Rio Ipitanga totalizando 07 pontos amostrados e águas subterrâneas totalizando 39 pontos amostrados. Essas campanhas foram realizadas em 1988, maio 2003, agosto e novembro de 2003 e abril de 2004. Foram coletadas mensalmente, amostras de água de chuva no período entre outubro de 2003 a julho de 2005. Foi usado um coletor de chuva preparado de acordo com as normas da Agência Internacional de Energia Atômica assim como o procedimento de coleta. Foi adicionada uma cama-

da de óleo mineral para evitar a evaporação e desta forma evitar que ocorra o fracionamento isotópico.

As metodologias que foram utilizadas para a coleta e estocagem das amostras estão de acordo com as instruções da IAEA (Unesco/IAEA, 2002). A análise isotópica foi realizada no Laboratório de Física Nuclear (UFBA) utilizando um espectrômetro de massa – MS Finningan MAT Delta Plus e um reator H-Device Thermo Quest Finningan para a determinação da razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e D/H.

Para determinar a razão deutério-hidrogênio (D/H), foi utilizado o método apresentado por Brand et al. (2000), que propôs a transformação da água em hidrogênio através da redução da água a 850°C com Cromo metálico. Alíquotas de $\approx 1,0 \mu\text{l}$ de cada amostra de água são injetadas em um reator (HDevice da Thermofinnigan), onde ocorre a reação de oxidação do cromo a 850°C, com conseqüente liberação do H_2 , como pode ser visto na equação abaixo:



O H_2 liberado entra no espectrômetro de massas onde é analisado com respeito a um gás referência de H_2 .

A técnica utilizada para determinar os valores de δO^{18} na água foi a proposta por Epstein e Mayeda (1953), que consiste no equilíbrio isotópico entre o gás carbônico e a água ($\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$) numa temperatura, geralmente, de $25,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$ por pelo menos 8h. A reação de equilíbrio isotópico ocorre da seguinte maneira:



Na metodologia do LFNA-UFBA são utilizados 3ml de água e 5ml de CO_2 , com pressão um pouco acima de 1atm, em uma seringa de vidro com uma gota de ácido sulfúrico para ajudar na reação. Essas seringas são acondicionadas em um banho ultratermostático na temperatura acima mencionada onde fica de um dia para o outro, respeitando o período mínimo de 8 horas. O CO_2 resultante desse equilíbrio é extraído para uma linha de purificação de CO_2 de alto vácuo onde são retiradas as impurezas (umidade e gases) sendo posteriormente capturado num porta-amostra e então levado para o espectrômetro de massas onde os valores de δO^{18} são obtidos com respeito a um padrão de referência internacional. Para controle da qualidade das medidas, foram utilizados padrões secundários acompanhando cada lote, que é composto de amostras com composição isotópica conhecida e referenciada em relação ao VSMOW (Vienna Standart Mean Ocean Water) e expressas em *delta por mil*:

$$\delta(\text{‰}) = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \times 10^3$$

Onde R é a razão isotópica, entre os isótopos pesados e os mais leves (mais abundantes), ou seja, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e D/H .

Resultados e Discussão

Os valores médios, mínimos, máximos e o desvio padrão das análises isotópicas do rio Joanes, rio Ipitanga, aquífero São Sebastião e águas meteóricas estão ilustrados na Tabela 01. A precisão das medidas foi de $\pm 0,1\text{‰}$ para os valores de δO^{18} e de $\pm 1\text{‰}$ para os valores de δD .

O valor médio da composição isotópica das águas superficiais do rio Ipitanga e do rio Joanes é

$\delta\text{D} = -1\text{‰}$ e $\delta\text{O}^{18} = -0,7\text{‰}$ o que é comparável com o valor médio das precipitações $\delta\text{D} = -2\text{‰}$ e $\delta\text{O}^{18} = -0,9\text{‰}$ excetuando a medida de Janeiro 2004. Isso indica que a evaporação modificou muito pouco a composição isotópica das águas ao longo da Bacia do Joanes. A Figura 3 ilustra a variação $\delta\text{D} \times \delta\text{O}^{18}$ para as águas subterrâneas, superficiais e meteóricas. Outra particularidade é que não houve um enriquecimento isotópico nas águas superficiais no sentido cabeceira foz, indicando que existe uma possível interação entre água superficial e água subterrânea ao longo da Bacia. Ocorre porém uma variação dos valores isotópicos em relação ao período de amostragem. Os valores isotópicos de águas subterrâneas próximas ao rio Ipitanga (Formação Barreiras), provenientes de aquíferos livres, indicam valores equivalentes aos valores das águas de precipitação, enquanto que os valores isotópicos para águas subterrâneas do aquífero São Sebastião, provenientes de aquíferos profundos com águas fósseis, apresentaram uma marca isotópica diferente da água de precipitação, cujos valores médios são $\delta\text{D} = 1\text{‰}$ e $\delta\text{O}^{18} = -2,2\text{‰}$.

Tabela 01 – Resumo dos parâmetros: valores máximo, mínimo e médio do $\delta\text{D}(\text{‰})$, $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ e $d(\text{‰})$ de águas de superficiais, subterrâneas e meteóricas coletadas na região metropolitana de Salvador: águas superficiais do rio Joanes (Sup RJ) e do rio Ipitanga (Sup RI), águas subterrâneas da formação Barreira (Sub Aq B) e São Sebastião (Sub Aq SS).

Fonte (Tipo)	Param (‰)	N ^o Amos	Média	Desvio Padrão	Máx	Min
Sup RJ	δD	38	-0,7	0,4	0,6	-1,5
	$\delta^{18}\text{O}$	38	-1	8	16	-21
	D	38	4	7	15	-13
Sup RI	δD	07	-2	5	7	-9
	$\delta^{18}\text{O}$	07	-0,9	0,9	0,5	-2
	D	07	6	4	9	-2
Sub Aq B	δD	02	-5	1	-4	-5
	$\delta^{18}\text{O}$	02	-1,1	0,3	-0,9	-1,3
	d	02	4	3	6	2
Sub Aq. SS	δD	37	1	2	3	-2
	$\delta^{18}\text{O}$	37	-2,2	0,2	-1,7	-2,6
	d	37	18	2	21	15

Analisando os resultados das linhas locais obtidas nas campanhas de 1998 (Nascimento, 1999) e 2003, em águas superficiais e subterrâneas na bacia

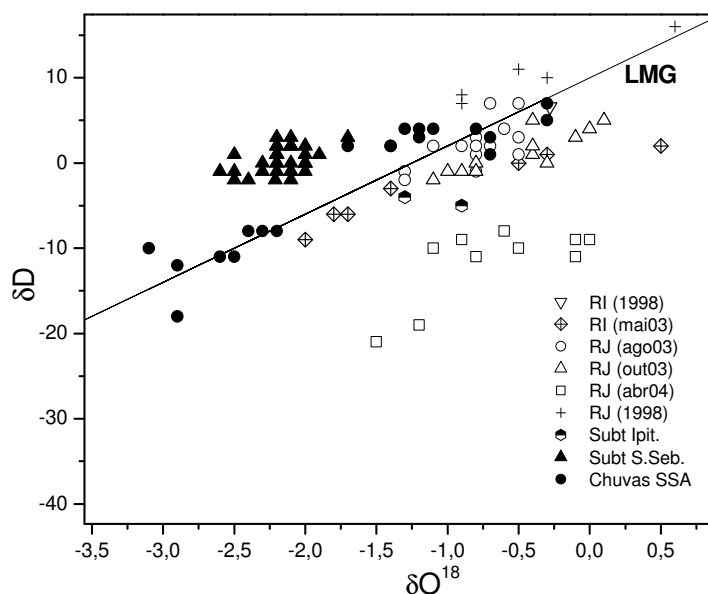


Figura 03 – Diagrama do δD versus δO^{18} de águas superficiais coletadas no Rio Joanes e no Rio Ipitanga e de águas subterrâneas coletadas na região metropolitana de Salvador.

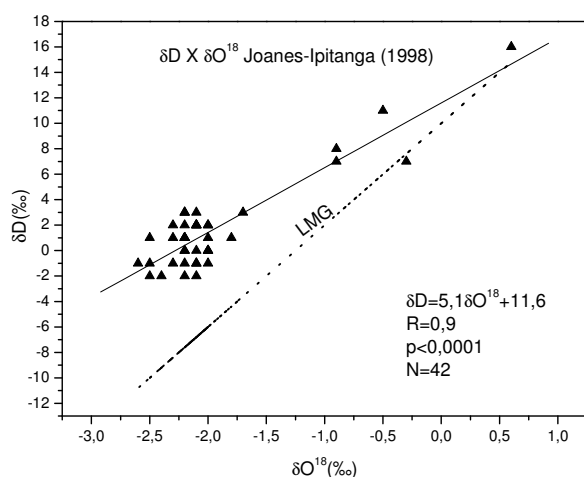


Figura 04 – Diagrama do δD versus δO^{18} de águas superficiais coletadas no Rio Joanes e no Rio Ipitanga e de águas subterrâneas coletadas na região metropolitana de Salvador no ano de 1998.

do Rio Joanes, separadamente, como pode ser observado nas figuras 04 e 05, respectivamente, nota-se que os coeficientes angulares das retas de regressão linear, são bastante próximos (5,1 para o ano de 1998, e 4,9 para o ano de 2003) não evidenciando mudança significativa na dinâmica das águas. Os valores do coeficiente linear das retas de regressão (parâmetro d) mostram uma diferença significativa,

indicando um possível efeito de temperatura influenciando estes valores. Os valores destes coeficientes indicam que as águas amostradas estão evaporadas com relação à linha meteorológica global.

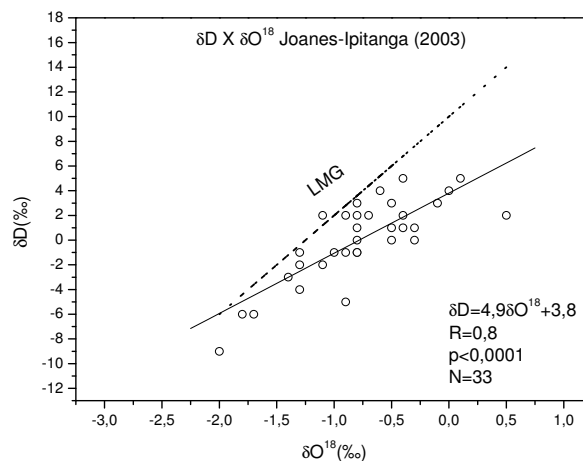


Figura 05 – Diagrama do δD versus δO^{18} de águas superficiais coletadas no Rio Joanes e no Rio Ipitanga e de águas subterrâneas coletadas na região metropolitana de Salvador no ano de 2003.

Os valores encontrados na campanha abril de 2004, realizada no Rio Joanes, possuem valores isotópicos mais empobrecidos, principalmente em

deutério, indicando uma possível mudança na composição isotópica das fontes que abastecem estas águas.

A Figura 06 ilustra um gráfico de variação dos valores de δO^{18} , δD e d ($d = \delta D - 8\delta O^{18}$), relacionados com a quantidade de precipitação mensal. Observa-se no gráfico que os valores de δO^{18} e δD acompanham uma mesma tendência, indicando que os efeitos que influenciaram na variação de seus valores afetaram os dois isótopos de maneira parecida. Os fatores mais determinantes na diferença dos dados isotópicos mensais de precipitação são:

1. Diferentes fontes características de umidade, devido à mudança sazonal das condições meteorológicas sobre o oceano, ou diferentes localizações das regiões fonte para cada estação do ano,
2. O enriquecimento evaporativo na queda de gotas de chuva abaixo da base das nuvens, é maior durante os meses secos e aquecidos quando a quantidade de chuva é menor. Esta chuva parcialmente evaporada é caracterizada por valores isotópicos altos e valores de excesso de deutério pequenos ou negativos.

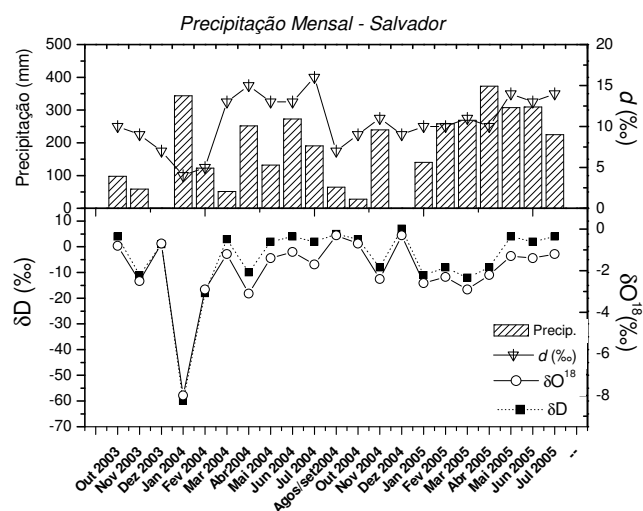


Figura 06 – Diagrama do δD , δO^{18} , d e precipitação mensal (P) de chuvas mensais coletadas região metropolitana de Salvador.

Analisando as medidas isotópicas mensais associadas com a precipitação mensal de Salvador, nota-se uma relação inversa entre as precipitações e os valores de δO^{18} e δD ocorrendo em todos os me-

ses do ano, menos nos meses que correspondem ao inverno no hemisfério sul. Nos meses em que esta correlação foi observada, provavelmente, o efeito determinante na composição isotópica da chuva denominado de efeito de quantidade. Este efeito consiste na correlação entre o empobrecimento de isótopos pesados com a quantidade de chuva. Este efeito pode ser observado através dos valores de δO^{18} e δD encontrados em janeiro de 2004.

Nota-se também que a amplitude de variação da composição isotópica é muito pequena não evidenciando uma dependência sazonal. Ela fica mais evidente quando é observado o parâmetro de excesso de deutério. O valor deste parâmetro é um pouco maior nas estações mais frias (outono-inverno), nos meses de março até agosto, do que nas estações mais quentes. Esta variação pode ser explicada pelo reduzido grau de evaporação na queda das gotas de chuva em estações mais frias quando comparadas as mais quentes, o que usualmente supera o efeito de alta umidade em áreas de fontes oceânicas, que resultariam no efeito oposto (Meliart e Jouzel, 1979).

Foi feito o cálculo da média ponderada dos valores de δD , δO^{18} e excesso de deutério nas chuvas analisadas. Esta média ponderada leva em conta a precipitação (P) mensal, sendo calculada através da multiplicação entre o valor mensal de cada variável (δD , δO^{18} e d) e o valor de precipitação mensal correspondente e dividir este resultado pela precipitação total acumulada no período.

Comparando o valor da média ponderada do δD das precipitações medidas no LFNA no período de outubro de 2003 a julho de 2005 de -8‰ com a encontrada por Azevedo et. al. (1991) no período de agosto de 1972 a agosto de 1973 de -9‰, para cidade de Salvador, nota-se que estes valores estão de acordo. Já para o valor da média ponderada obtida pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) (GNIP / ISOHIS Web Site) nos anos de 1965 até 1987 foi de -3‰ para a cidade de Salvador. Esta diferença pode ser explicada pelo valor muito negativo do δD (-60‰), aliado a grande precipitação pluviométrica (355mm) registrada no mês de janeiro de 2004. O cálculo da média ponderada sem este dado, dá um valor -3‰, que coincide com os valores da Agência Internacional.

A média ponderada dos valores de δO^{18} foi de -2,3‰ um pouco mais enriquecida do que o valor encontrado por Azevedo et. al. (1991) de -3,7‰. Quando calculada sem a contribuição da chuva de janeiro de 2004, o valor foi de -1,7‰, que está em acordo com o valor histórico da Agência Internacional de -1,5‰. Segundo Matsui et. al.

(1983), chuvas tropicais muito fortes, associadas com a zona intertropical de convergência e suas nuvens muito altas, geralmente apresentam valores isotópicos de oxigênio e deutério extremamente empobrecidos no auge da precipitação, provavelmente, foi uma chuva com estas características que gerou o valor anômalo registrado em janeiro de 2004. Dansgaard (1964) observou uma relação entre a quantidade de precipitação e δO^{18} . Por exemplo, as precipitações tropicais muito fortes às vezes são devido a passagem de nuvens elevadas e por correntes descendentes fortes, que podem levar a valores bastante empobrecidos em δO^{18} e δD para as precipitações.

A média ponderada do excesso de deutério também está coincidente com os valores apresentados pela Agência Internacional. O valor encontrado neste trabalho coincide, com as devidas aproximações, com o da Agência em 11‰.

Os valores isotópicos das águas de precipitação se distribuem ao longo da reta de correlação $\delta D = 12 + 8,7 \times \delta O^{18}$, que está próximo ao valor da linha meteórica global (LMG). O gráfico apresenta uma boa correlação ($R=0,98$) e os dados são estatisticamente significantes ($P<0,0001$) evidenciando uma consistência nas medidas. Para estimar o efeito da influência da chuva de 2004 foi traçada outra linha meteórica local, sem este valor anômalo. A equação obtida foi: $\delta D = 10 + 7,8 \delta O^{18}$ ($R=0,93$ e $P<0,0001$). Os valores dos parâmetros desta equação estão mais condizentes com a LMG do que os obtidos na anterior, o que leva a conclusão que este valor está fora do padrão das precipitações de Salvador. O coeficiente angular concorda com o obtido por Azevedo et. al. (1991), cuja equação da linha meteórica foi $\delta D = 20 + 7,7 \delta O^{18}$. O excesso de deutério mostrou uma diferença significativa, provavelmente devido a uma temperatura média mais fria no período em que eles realizaram essas coletas (1972-1973). Já a equação da linha meteórica local encontrada com os valores da agência internacional foi de: $\delta D = 11 + 8,3 \delta O^{18}$, mostrando uma boa concordância com os valores obtidos por este trabalho.

CONCLUSÕES

O valor médio da composição isotópica das águas superficiais é comparável com o valor médio das precipitações, indicando que a evaporação modifica muito pouco a composição isotópica das águas ao longo da Bacia do Joanes, o que também pode indicar interação entre água superficial e água sub-

terrânea ao longo da Bacia. Os valores isotópicos de águas subterrâneas próximas ao rio Ipitanga indicam valores equivalentes aos valores das águas de precipitação, enquanto que os valores isotópicos para águas subterrâneas provenientes do aquífero São Sebastião, provenientes de níveis profundos do aquífero, apresentaram uma marca isotópica diferente da água de precipitação.

Com relação às águas meteóricas de Salvador pode-se concluir que:

- Os valores de δO^{18} e δD acompanham uma mesma tendência, indicando que os efeitos que influenciaram na variação de seus valores afetaram os dois isótopos de maneira parecida.
- Verifica-se uma relação inversa entre intensidade das precipitações e os valores de deutério e oxigênio-18 na maioria dos meses estudados, com exceção nos meses que correspondem ao inverno no hemisfério sul. Este tipo de correlação, geralmente é devido ao efeito de quantidade de chuva.
- A amplitude de variação da composição isotópica é muito pequena não evidenciando uma dependência sazonal. Este efeito é mais bem observado pelo parâmetro de excesso de deutério. O valor deste parâmetro é um pouco maior nas estações mais frias (outono-inverno), nos meses de março até agosto, do que nas estações mais quentes.
- Para estimar o efeito da influência da chuva de 2004 foi traçada outra linha meteórica local, sem estes valores de δO^{18} e δD . O parâmetros da equação obtida mostraram-se mais condizentes com a LMG do que os obtidos com este ponto, o que leva a conclusão que este valor está fora do padrão das precipitações de Salvador.
- A média ponderada dos valores de δO^{18} , δD e d obtidos neste trabalho, quando excluído o valor de janeiro de 2004, são similares aos valores da Agência Internacional de Energia Atômica.
- O valor correspondente a janeiro de 2004, bastante diferente da média dos restantes, é provavelmente devido ao efeito da quantidade aliado a nuvens oriundas da zona intertropical de convergência.

Comparando os valores obtidos das linhas locais obtidas na Bacia do Joanes-Ipitanga, com os da linha meteórica local de Salvador, observa-se que

estes valores são evaporados em comparação com a água meteórica que cai nesta região, de acordo com o resultado obtido com relação a LMG. Os valores da coleta de abril de 2004, provavelmente, sofreram influência de chuvas extremamente negativas (Jan-Abril 2004) que caíram na região de Salvador, fazendo com que estes valores fossem mais empobrecidos e, evidenciando uma contribuição significativa da chuva na composição das águas deste sistema.

REFERÊNCIAS

- ANTONIO E. G. AZEVEDO, FRANCISCO C. F. CABRAL, CLEMIRO FERREIRA (1991) – *Caracterização Isotópica das Precipitações do Estado da Bahia e de Águas Subterrâneas da Bacia de Tucano*. 2º CIBGF Resumos expandidos, Vol. 2: 1023-1027.
- ARMENGAUD, A., KOSTER, R., JOUZEL, J., CIAIS, P. (1998) *Deuterium excess in Greenland snow: analysis with simple and complex models*. Journal Geophysical Research, 103, 8947 – 8953.
- BRAND, W. A.; AVAK, H.; SEEDORF, R.; HOFMANN, D. E. CONRADI, T. (2000) *New methods for fully automated isotope ratio determination from hydrogen at the natural abundance level*. Geoph. Prosp., 28:967-976.
- CRAIG, H. (1961) *Isotopic variations in meteoric waters*. Science, 133 (3466): 1702-1703.
- DANSGAARD, W. (1964) *Stables Isotopes in precipitation*. Tellus, 16 (4): 436-468.
- EPSTEIN, S. AND MAYEDA, T. (1953) *Variation of O¹⁸ content of water from natural sources*. Geochim and Cosmochim. Acta 4, 213.
- GNIP / ISOHIS Web Site - Search All Isotope Hydrology Projects <http://isohis.iaea.org/userupdate/> GNIP2001 monthl
- JOUZEL J, MERLIVAT L. (1984). *Deuterium and oxygen-18 in precipitation: modelling of the isotopic effects during snow formation*. J. Geophys. Res. 89, 11749–11757
- MATSUI E, SALATI E, RIBEIRO M, REIS CM, TANCREDI A, GAT JR. (1983) *Precipitation in the Central Amazon Basin: the isotopic composition of rain and atmospheric moisture at Belem and Manaus*. Acta Amazonica 13:307– 369
- MERLIVAT L, JOUZEL J. (1979) *Global climatic interpretation of the deuterium-oxygen 18 relationship for precipitation*. J. Geophys. Res. 84, 5029-5033.
- NASCIMENTO, K. R. F. (1999) *Estudo isotópico e hidroquímico de aquíferos no pólo petroquímico da Bahia*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Bahia, Curso de Pós-graduação em Geofísica.
- PROCLIMA - PROGRAMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DA REGIÃO NORDESTE Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/proclima>
- STEWART, M. K. (1975) *Stable Isotope Fractionation Due to Evaporation and Isotopic Exchange of falling water drops: Application to atmospheric processes and evaporation of lakes*. Journ. Geoph. Resources, vol 80, nº 9, 1133-1146.
- UNESCO/IAEA (2002) *Series on Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle: Principles and Application*. Edited by W.G. Mook, Vol.III Surface Waters. Disponível em: <http://www.iaea.or.at/programmes/ripc/ih/volumes/volumes.html>

Evaluation of the Isotopic Composition of Water in the Joanes River Basin: What it Means for Interaction Between Surface and Groundwater

ABSTRACT

The groundwater system in the metropolitan region of Salvador is a major source of fresh water used for urban and industrial uses. The stable isotope signature for meteoric water collected in Salvador, surface water from the Joanes river basin, and groundwater from aquifers in the metropolitan region of Salvador is used to evaluate some aspects of the interaction between surface and ground waters in this region. The results show: (i) the isotope signature for the surface water is about the same as for the meteoric waters, indicating that evaporation is not affecting the isotopic composition of surface water in the Basin; (ii) there is no enrichment in heavy isotopes from upstream to downstream Joanes, indicating interaction between surface water and groundwater in the basin; (iii) isotopic values of the groundwater near the Ipitanga river (Barreiras Formation) from free aquifers are similar to the meteoric waters, whereas the isotopic values for ground water from the São Sebastião aquifer, taken from depths with fossil waters, show a different isotope signature than the meteoric water; (iv) the linear regression from the isotopic value of the meteoric water is fitted by the line $\delta D = 12 + 8.78 \delta O^{18}$, similar to the values reported by IAEA (analyzed in 1965 a 1987), except the value of January 2004, very different from the mean value, probably associated with the quantity effect or with the influence of the inter-tropical convergence zone.

Key-words: isotopic composition, surface and groundwater interaction.