

ESTUDO QUALITATIVO DO SISTEMA Aqüífero TACARATÚ/INAJÁ NA BACIA SEDIMENTAR DO JATOBÁ-PE

Waldir Duarte Costa Filho¹; Maria Marlúcia Freitas Santiago² & Almany Costa Santos³

Resumo – Hidrogeoquimicamente, as águas estudadas na Bacia Sedimentar do Jatobá evidenciam que: *i*) classificam-se como cloretada sódica (38%) e cloretada mista (18%); *ii*) para irrigação são do tipo C1-S1, seguindo-se dos tipos C2-S1, C3-S1 e C3-S2; *iii*) as concentrações de STD classificam-nas, na maioria ($\approx 72\%$), como águas doces (até 500 mg/L); *iv*) apenas 3,2% das águas são classificadas com Potabilidade Momentânea e que $\approx 88\%$ são Permanente Boa a Passável, chegando-se a $\approx 95\%$ com as Mediocres. Isotopicamente, as águas analisadas evidenciam que: *i*) são águas de chuvas sem posterior evaporação, evidenciado também pela relação $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 8,4$ quando comparada com a reta meteórica mundial (igual inclinação); *ii*) a recarga do sistema aqüífero é rápida, que nele se misturam paleoáguas com águas recentes e que o sistema não é homogêneo (demonstrado pelos diferentes processos de dissolução do aqüífero conduzindo a diferentes faixas de condutividade elétrica). O estudo de vulnerabilidade evidencia que: *i*) o sistema aqüífero Tacaratú/Inajá apresenta uma vulnerabilidade Alta a Extrema para as regiões de recarga e Baixa para as regiões de confinamento; *ii*) possui um potencial contaminante Moderado nas regiões urbanizadas a Desprezível nas demais; *iii*) O cruzamento desses elementos permitiu considerar a área como tendo um risco Desprezível a Moderado.

Abstract – Hydrogeochemistry, studied in the waters of Sedimentary Basin Jatobá show that: *i*) classify themselves as chlorided sodium (38%) and chlorided mixed (18%), *ii*) for irrigation are the type C1-S1, C2-S1, C3-S1 and C3-S2, *iii*) the concentrations of STD classify them in the majority ($\approx 72\%$) and fresh water (up to 500mg/L); *iv*) only 3.2% of water are Momentaneous Potability with classified and that $\approx 88\%$ are the Good Standing the Reasonable, reaching up to $\approx 95\%$ with the Poor. Isotopically, show that: *i*) are without water after rain, evaporation, also evidenced by the relationship $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 8.4$ when compared with the straight world δ the meteoric relationship

¹ Hidrogeólogo, M.Sc. – CPRM Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Recife. Av.Sul, 2291 – Afogados – Recife-PE. (81) 3316.1477 / 9997.8848. waldir@re.cprm.gov.br

² Física, D.Sc. - Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará-UFC. Campus do Pici. Fortaleza/CE. Caixa Postal 6030. (85) 3366.9011. marlucia@fisica.ufc.br

³ Hidrogeólogo, D.Sc. – Professor da UFPE. Av. Acadêmico Hélio Ramos, sn. Recife-PE. (81) 8833.2953. almany@ufpe.br.

(equal inclination); ii) to recharge the system aquifer is fast, which it is mixed with water paleo-water recent and that the system is not homogeneous (demonstrated by the various processes of dissolution of the aquifer leading to different tracks of electrical conductivity). The study of vulnerability shows that: i) presents a high vulnerability to Extreme for the regions of Lower and recharge for the regions of confinement; ii) has a potential contaminant Moderate in the urban areas Immeasurable in other; iii) the intersection of these elements has to consider the area as having a risk Immeasurable the Medium.

Palavras-Chave – HIDROGEOQUÍMICA, ISÓTOPOS, VULNERABILIDADE, JATOBÁ

1. INTRODUÇÃO

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM Serviço Geológico do Brasil, em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e em convênio com a Financiadora Nacional de Estudos e Projetos – FINEP, realizou o estudo hidrogeológico da bacia sedimentar do Jatobá, especificamente no sistema aquífero Tacaratú/Inajá.

O projeto teve por objetivo levantar, gerar e disponibilizar informações e conhecimentos sobre a ocorrência, potencialidades, circulação e utilização das águas subterrâneas, com a finalidade de elevar a disponibilidade hídrica de fontes de água para abastecimento humano e atividades produtivas, de forma a fomentar o desenvolvimento sócio-econômico sustentável da região e melhorar as condições de vida da população existente nestes locais.

A metodologia aplicada iniciou-se pelo levantamento do conhecimento existente, caracterização geológica e geométrica do reservatório, pela caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica e culminaram com a proposição de elementos de suporte à gestão das águas subterrâneas e elaboração de um Sistema de Informações Geográficas – SIG.

Apresentaremos aqui uma síntese das principais atividades realizadas e produtos finais gerados relativos à caracterização qualitativa da bacia.

Esse estudo, além dos autores deste Artigo, contou com a participação dos técnicos Armando Arruda Câmara Filho e José Walquer Roque da Costa (CPRM) no apoio de campo, além de outros colaboradores da CPRM e da UFPE.

2. LOCALIZAÇÃO

A Bacia Sedimentar do Jatobá é delimitada pelas coordenadas UTM seguintes: 558 a 710 kmE e 8.090 a 9.070 kmN; ou, pelas coordenadas geográficas: 08°30' a 9°06' Lat.S. e 37°06' a 38°30' Long.W.Gr. Sua área total é de 5.941 km², possuindo uma forma retangular que se desenvolve segundo a direção ENE-WSW, com as seguintes dimensões aproximadas: comprimento de 155 km por 55 km de largura.

A bacia do Jatobá está localizada na zona fisiográfica do Sertão do São Francisco, na porção central do estado de Pernambuco (Figura 1), e na bacia hidrográfica do Rio Moxotó, envolvendo total ou parcialmente os municípios de Ibimirim, Inajá, Buíque, Tupanatinga, Petrolândia, Tacaratú, Manari, Arcoverde, Itaíba e Sertânia, no estado de Pernambuco, e Mata Grande, no estado de Alagoas.

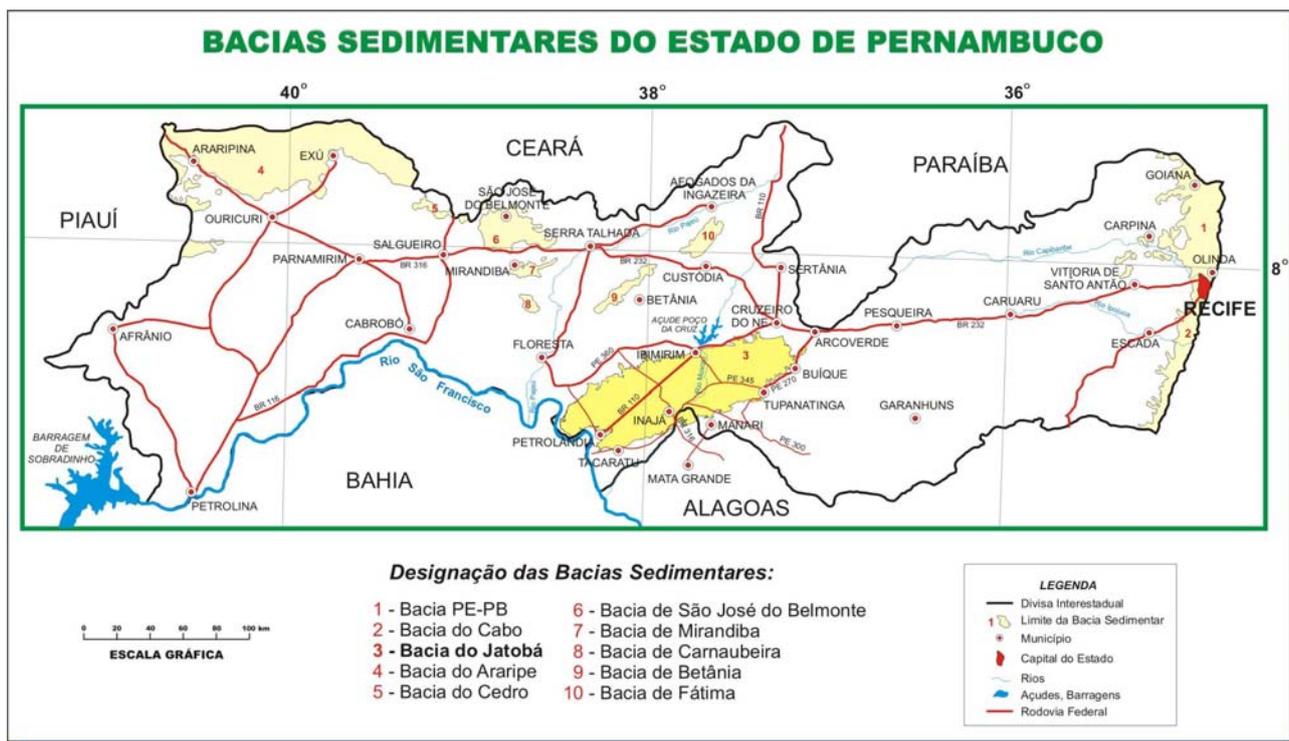


FIGURA 1 - Localização da Bacia Sedimentar do Jatobá no Estado de Pernambuco.

3. ESTUDOS HIDROGEOQUÍMICOS

A rede de monitoramento de qualidade das águas da Bacia do Jatobá foi definida tomando-se por base os mesmos critérios adotados para a rede de monitoramento da potenciometria dos poços, inserindo-se alguns pontos de água superficial para correlação qualitativa entre eles com os poços da circunvizinhança, principalmente para a análise isotópica, visando uma correlação de origem da água.

Foram realizadas três coletas de água em duas épocas distintas: a primeira no 2º semestre de 2005 e, a segunda, no 1º semestre de 2006. No 2º semestre de 2005, foram realizadas duas campanhas de campo, devido ao tempo exíguo da primeira campanha, totalizando, ao final, 122 coletas de amostras, enquanto que, na segunda época (2º semestre de 2006) foram 102 amostras de água.

Das amostras coletadas no 2º semestre de 2005, uma delas foi repetida na primeira campanha e, mais quatro foram repetidas na segunda campanha, finalizando-se, assim, 117 pontos amostrados, dos quais 110 em poços, 02 em nascentes, 02 em açudes, 02 em rios, e 01 em lagoa. Das amostras coletadas no 1º semestre de 2006, apenas uma delas foi repetida, ou refeita, totalizando-se 101 pontos amostrados, dos quais 98 em poços, 02 em nascentes e 01 em lagoa. A Figura 2 demonstra esses quantitativos gerais.

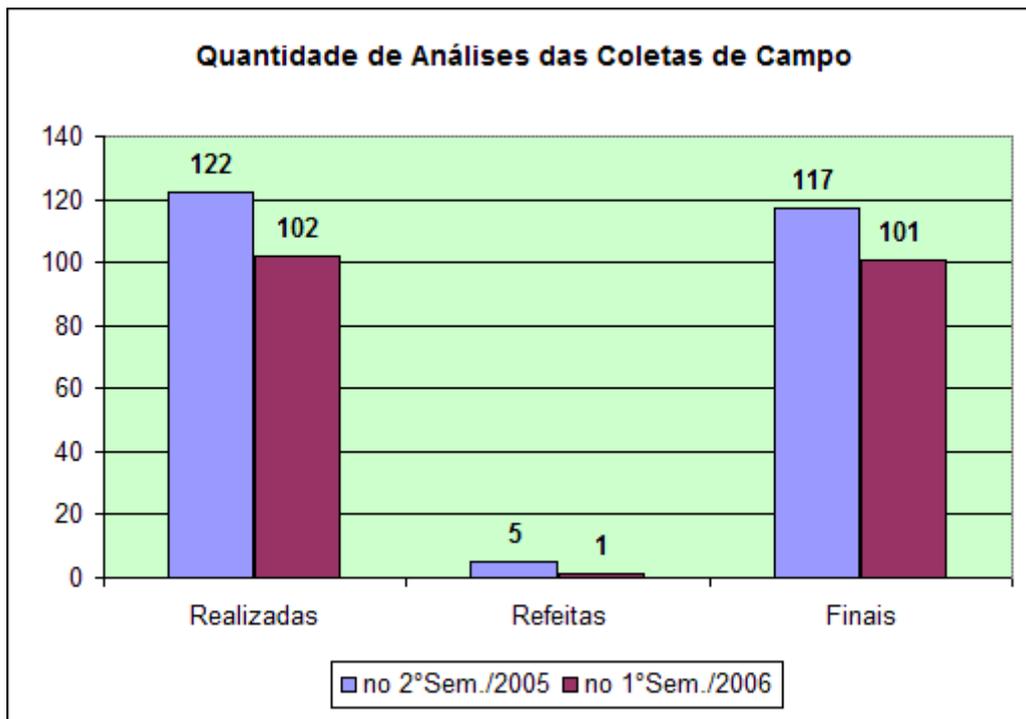


Figura 2 - Gráfico dos quantitativos das análises realizadas nas campanhas de campo no 2º semestre de 2005 e no 1º semestre de 2006, com distinção das análises refeitas e as finais em suas respectivas campanhas.

Das 224 coletas de água e suas respectivas análises, temos que seis delas foram repetidas na própria campanha realizada, como citado anteriormente. Das 218 análises finais, observamos que 80 pontos de águas subterrâneas (poços e nascentes) e superficiais (açudes, rios e lagoas) foram coletados nas duas etapas de campo (2º semestre de 2005 e 1º semestre de 2006), ou seja, foram coletadas amostras de água em 138 pontos. Observamos ainda que, desses 138 pontos, além dos 80 pontos que foram repetidos nas duas etapas, 37 pontos só foram coletados no 2º semestre de 2005 e 21 pontos só foram coletados no 2º semestre de 2006.

Essa diversidade de pontos coletados foi devida a fatores operacionais, naturais e estratégicos. Operacionais porque alguns pontos não deram condições de coleta na segunda etapa de campo (1º semestre de 2006), por motivos diversos (bombas quebradas, poços fechados, proprietários ausentes, etc.). Naturais porque os pontos de coleta em rios não mais existiam, por haver secado, ou seja, o rio não estar mais corrente na época da segunda etapa. Estratégicos, porque, os outros pontos de água superficial (açudes) não mais interessavam, pois só foram coletados na primeira etapa para correlação isotópica com as águas subterrâneas dos poços da circunvizinhança.

Uma vez realizadas as coletas de água nas duas etapas, foram entregues ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola, pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba.

Analisando os dados físico-químicos, foram constatados erros de análises em alguns resultados do laboratório, acima dos padrões permitidos, num total de 50 análises físico-químicas. Dessas, descartamos apenas 24, pois 26 deram para ser toleradas, uma vez que não se estenderam muito além dos limites padronizados.

Das 24 análises descartadas, 13 foram relativas ao 2º semestre de 2005 e 11 ao 1º semestre de 2006. Dessas últimas, duas foram relativas a pontos com uma única análise, enquanto que as 9 restantes mais as 13 de 2005, foram descartadas em poços com mais de uma análise. Por fim, descartamos também as quatro análises restantes refeitas em poços numa mesma etapa de campo, para evitarmos duplicidade.

Assim, analisamos um universo de 196 análises físico-químicas, do qual, 60 pontos d'águas coletados em comum nas duas etapas de campo, 46 pontos coletados apenas em 2005 e 30 pontos coletados apenas em 2006, totalizando 136 pontos de coleta. Apesar de o quantitativo final ter diminuído, assim como o número de pontos coletados nas duas etapas de campo, os valores de pontos coletados unicamente em uma ou outra etapa de campo, aumentou, devido a maioria das análises descartadas terem tido uma segunda de uma das etapas. O gráfico da Figura 3 demonstra os dados expostos anteriormente.

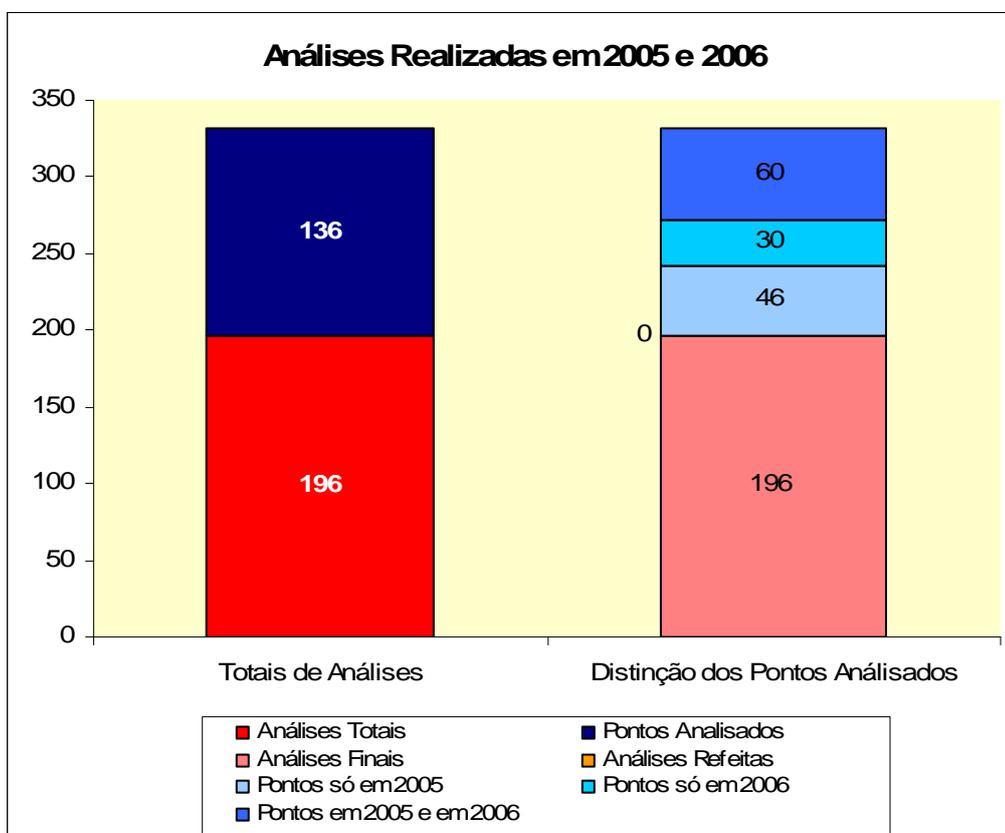


Figura 3 - Análises finais realizadas em 2005 e 2006, distinguindo-se os pontos coletados, após filtragem pelo erro de laboratório.

Do universo das 196 análises, classificadas quanto as suas características iônicas, observa-se que, anionicamente, a grande maioria é cloretada (65%) e, cationicamente, é sódica (48%). Anionicamente, apenas a classe Sulfatada não é apresentada, enquanto que as águas apresentam todas as classes catiônicas.

Corroborando com as classes aniônicas e catiônicas supracitadas, as análises foram classificadas, principalmente, como cloretada sódica (38%) e cloretada mista (18%), seguidas por mais nove classificações quanto aos seus íons dominantes, ou seja, no mínimo 64% das águas são cloretadas (cloretadas cálcicas (1%), magnesianas (7%), sódicas (38%) e mistas (18%)) e 48% são sódicas (cloretadas (38%), bicarbonatadas (4%) e mistas sódicas (6%)).

No entanto, esta é uma visão geral de todas as amostras validadas pela análise do erro de laboratório. Devido à quantidade de pontos amostrados nas devidas campanhas de campo, em épocas distintas (2º semestre de 2005 e 1º semestre de 2006), num total de 60, primeiramente, avaliamos se mudanças ocorreram nessa variação temporal, e, após, classificando com uma única denominação, o ponto amostrado, pelo resultado mais representativo, pelo menor erro de laboratório.

Assim, foram gerados os gráficos reais, representativos dos pontos amostrados, expostos pelas Figuras 4, 5 e 6. Ressaltamos, contudo, que algumas dessas análises tiveram mudanças de classificações e, por isso, não foram unificadas pelos critérios estabelecidos anteriormente.

Do universo das 136 pontos amostrados, classificadas quanto as suas características iônicas nos gráficos a seguir (Figuras 4, 5 e 6), observa-se que, anionicamente, a grande maioria ainda é de águas cloretadas (67%) e, cationicamente, é a sódica (48%). Em relação aos resultados gerais contabilizados com as demais 60 análises relativas aos pontos amostrados nas duas épocas de amostragem, observa-se que na classificação aniônica houve uma pequena alteração das águas mistas (de 4%) para águas cloretadas (de 2%) e para águas bicarbonatadas (de 2%). Da mesma forma, na classificação catiônica também houve uma pequena variação das águas mistas, diminuindo-as em 3% e crescendo as águas cálcicas em 1% e as magnesianas em 2%, permanecendo-se, contudo, invariável o percentual das águas sódicas.

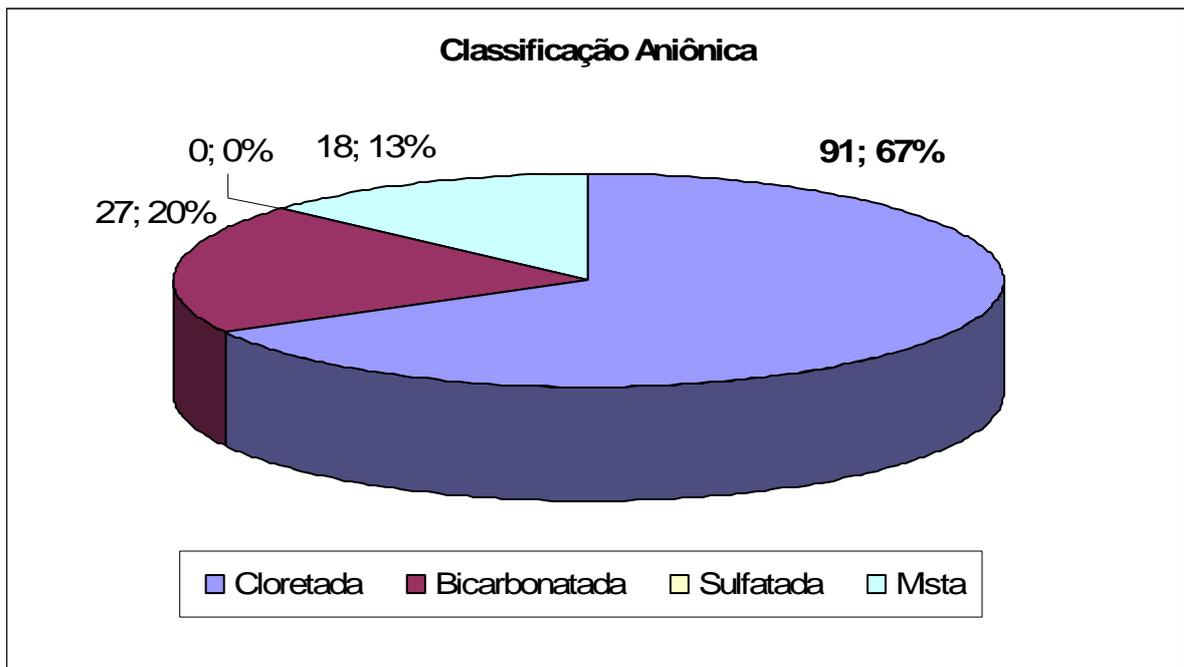


Figura 4 - Classificações aniônicas das análises, após filtragem pelo erro de laboratório, num universo de 136 pontos de amostragem.

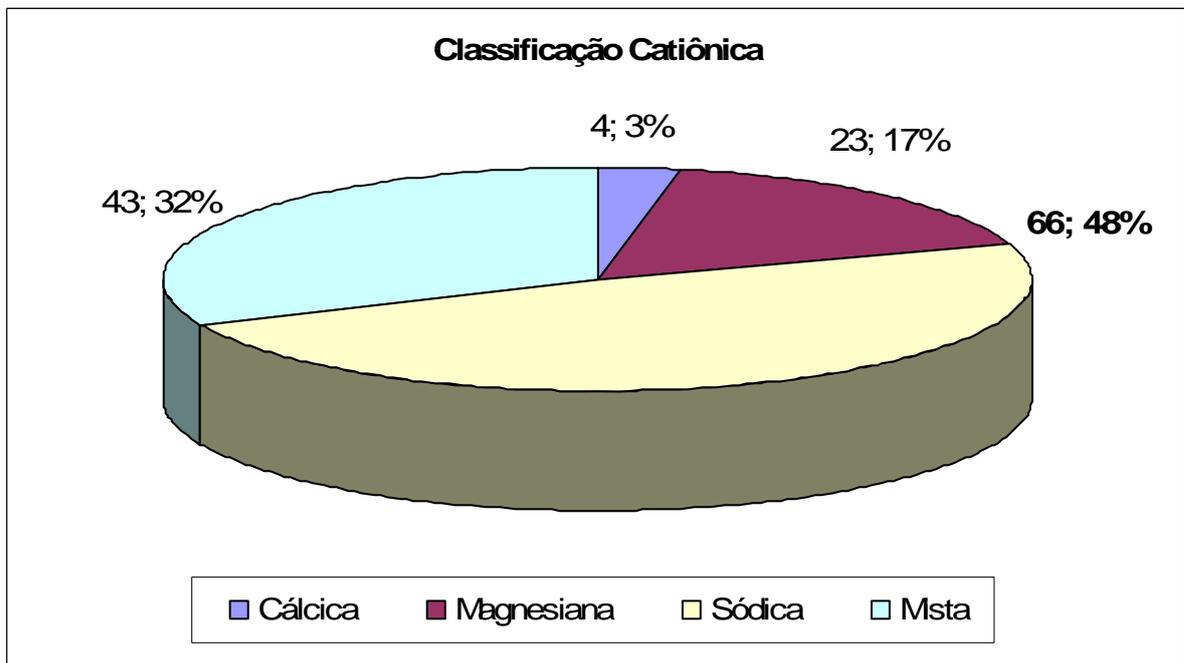


Figura 5 - Classificações catiônicas das análises, após filtragem pelo erro de laboratório, num universo de 136 pontos de amostragem.

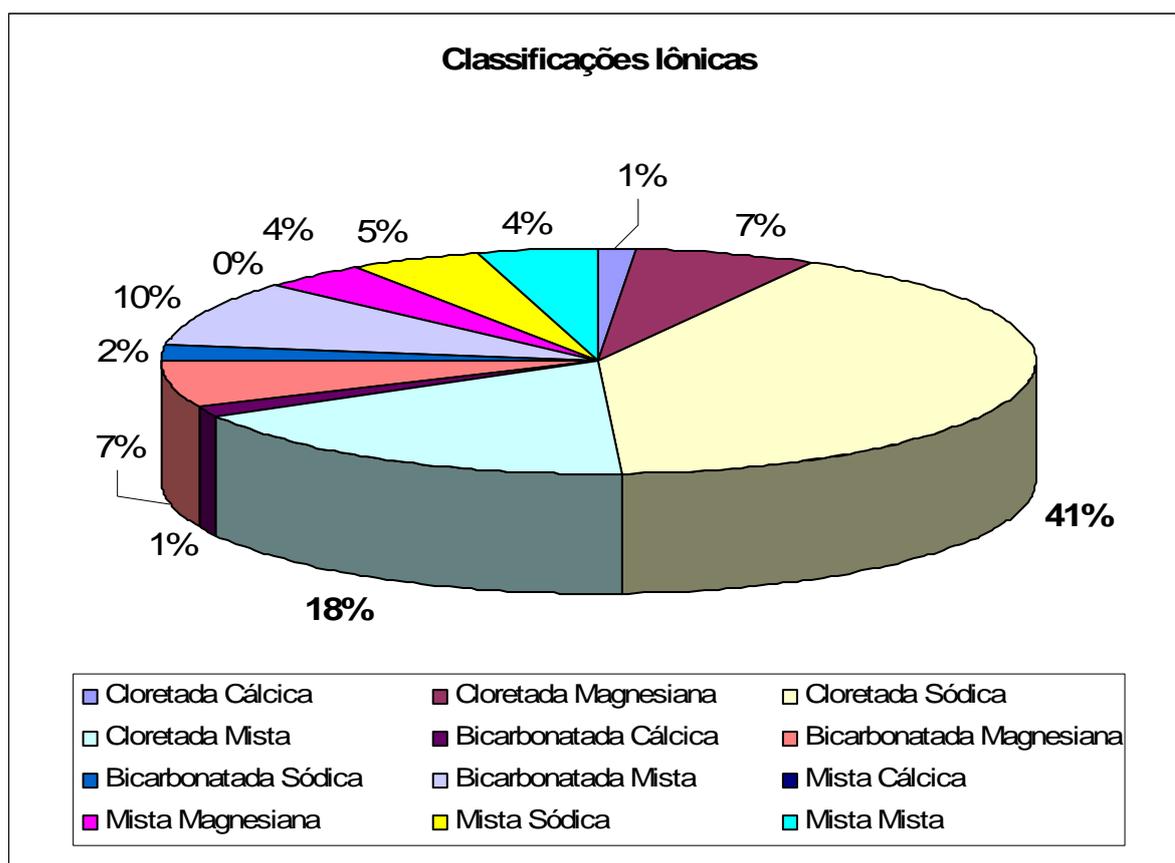


Figura 6 - Classificações iônicas das análises, após filtragem pelo erro de laboratório, num universo de 136 pontos de amostragem.

Corroborando com as classes aniônicas e catiônicas supracitadas, o gráfico da Figura 6 nos mostra que as análises foram classificadas, principalmente, como cloretada sódica (41%) e cloretada mista (18%), seguidas por mais nove classificações quanto aos seus íons dominantes. No geral, no mínimo 67% das águas são cloretadas (cloretadas cálcicas (1%), magnesianas (7%), sódicas (41%) e mistas (18%)) e 48% são sódicas (cloretadas (41%), bicarbonatadas (2%) e mistas sódicas (5%)). Comparando com os dados anteriores, observa-se que houve um incremento de 3% nas águas cloretadas sódicas, ocorrendo diminuição das águas bicarbonatadas sódicas (em 2%) e nas águas mistas sódicas (em 1%).

Os gráficos de Piper construídos para os dois quantitativos (196 e 136 análises) mostra o que havia sido extraído do tratamento estatístico pelos gráficos das figuras anteriores, no que diz respeito à predominância das águas cloretadas sódicas, embora o maior ambiente de deposição tenha sido o de cloretada magnésiana cálcica. Outro fato evidenciado pelos gráficos, representado pela Figura 7 referente aos 136 pontos, é que, apesar de se diminuírem em 60 amostras de água, nota-se que a assinatura iônica das águas permaneceu a mesma, concluindo-se, portanto, que as análises preteridas eram muito parecidas com as selecionadas, além de que, os períodos de chuva e de estiagem não interferem com a qualidade da água, pelo menos nos pontos amostrados.

CATIONS	Nº	%
1	15	11,0
2	2	1,5
3	60	44,1
4	59	43,4
ANIONS	Nº	%
5	0	0,0
6	33	24,3
7	92	67,6
8	11	8,1
GERAL	Nº	%
9	48	35,3
10	28	20,6
11	5	3,7
12	55	40,4

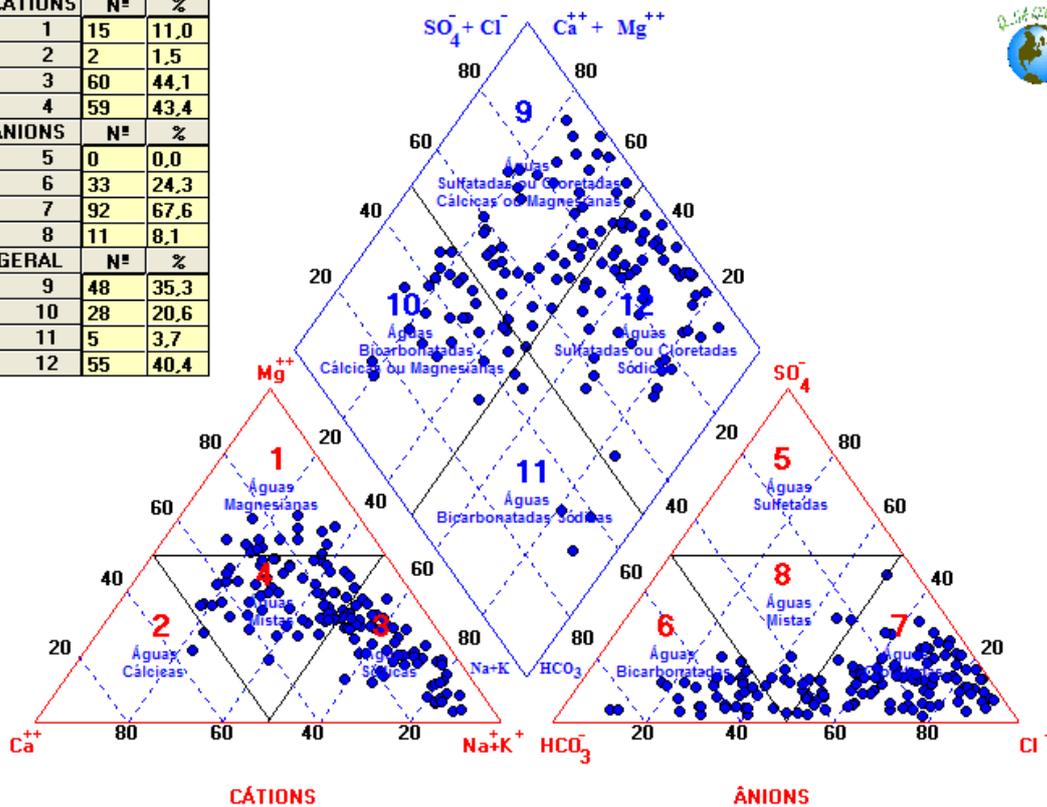


Figura 7 - Gráficos de Piper para o universo de 136 análises finais.

Dentre os critérios existentes de classificação da água para uso na irrigação, um dos mais aceitos e usados é o do United States Salinity Laboratory (USSL), de Riverside. Este método baseia-se na Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e na Condutividade Elétrica (CE) da água.

Da mesma que os de Piper, no estudo foram elaborados gráficos de USSL evidenciando o mesmo comportamento entre as 196 para as 136 análises, ou seja, com a mesma assinatura iônica quanto ao seu caráter para irrigação. Observa-se, pela Figura 8, que a predominância é das águas do tipo C1-S1, seguindo-se dos tipos C2-S1, C3-S1 e C3-S2, além de menores proporções em mais oito tipos, chegando-se às classes C5-S4. Na maioria, dessa forma, é aceitável todo tipo de cultura agrícola.

No gráfico da Figura 9, também observamos que a salinidade da água se manteve uniforme, em relação aos períodos de chuva e de estiagem, com as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na sua maioria (um pouco mais de 72%) variando até 500 mg/L, classificando-as como águas doces, com percentuais menores de águas salobras (em torno de 18%) que variam o STD de 500 a 1.500 mg/L e de águas salgadas (em torno de 10%) que possuem STD superiores a 1.500 mg/L.

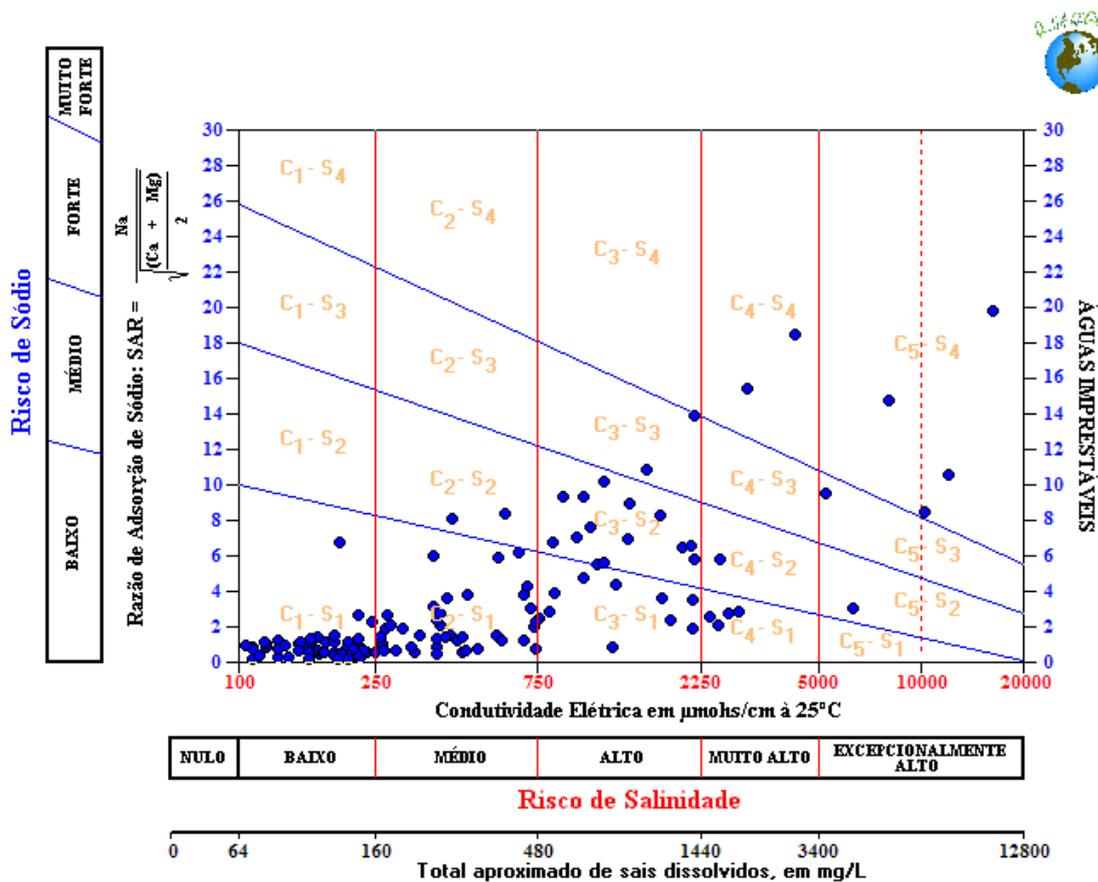


Figura 8 - Gráficos da USSL para o universo de 136 análises finais.

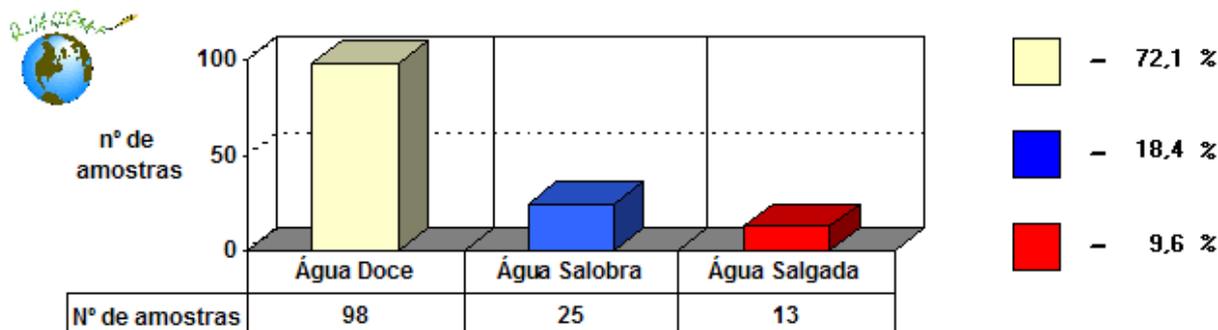


Figura 9 - Classificações da salinidade da água de acordo com os parâmetros de Custódio & Llamas (*op.cit.*) para o universo de 136 análises finais.

O Quadro 01 expõe as classificações da água na Bacia Sedimentar do Jatobá quanto a sua potabilidade, segundo a classificação de Schoeller, analisando-se os resultados unificados, ou seja, dos 136 pontos amostrados. Observa-se que apenas 3,2% das águas são classificadas com Potabilidade Momentânea e que, aproximadamente, 88% delas são de Potabilidade Permanente Boa a Passável, chegando-se a quase 95% com as Mediocres.

Quadro 01: Potabilidade das águas da Bacia Sedimentar do Jatobá, segundo Schoeller.

Critérios	Potabilidade Permanente				Potabilidade Momentânea
	Boa	Passável	Medíocre	Má	
Resíduo Seco	98	15	16	1	6
Sódio (Na)	99	22	7	4	4
Mg/12 + Ca/20	113	8	8	3	4
Cloreto (Cl)	98	14	11	7	6
Sulfato (SO ₄)	128	4	2	0	2
MÉDIA	107	13	9	3	4
(%)	78,8%	9,3%	6,5%	2,2%	3,2%

Correlacionando os íons entre si (ânions versus cátions) e com a condutividade elétrica, pudemos observar pelos gráficos de regressão linear:

1) No grupo dos ânions e cátions, percebemos que o cloreto (Cl) e o sulfato (SO₄) mantêm a maior correlação com o magnésio (Mg) com 94,6% e 67,81%, respectivamente, enquanto o bicarbonato mantém uma baixíssima correlação com os cátions e com a condutividade elétrica.

2) As correlações com a condutividade elétrica (CE), a maior correlação dos ânions (Figuras 10, 11 e 12) foi a do cloreto (Cl), com 97,06%, com uma alta correlação, seguida pelo sulfato (SO₄) com 55,28%, com uma média correlação, enquanto mantém uma baixíssima correlação com o bicarbonato (HCO₃) com apenas 19,14%.

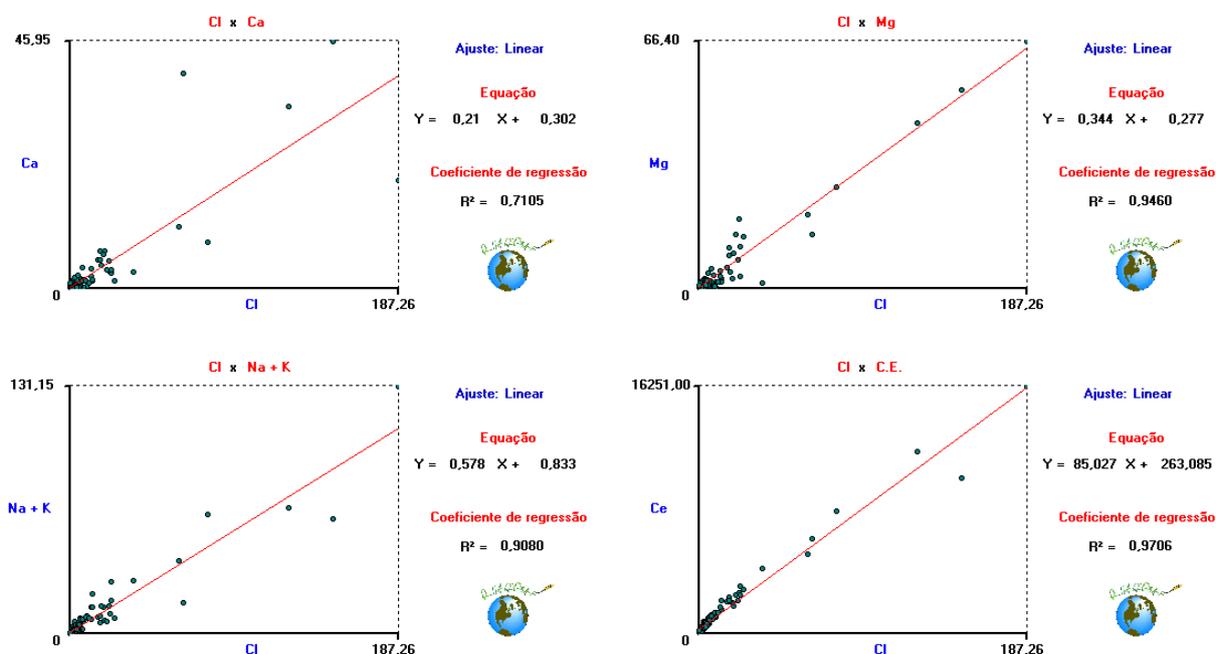


Figura 10 - Gráficos de regressão linear do ânion cloreto com os cátions e a condutividade elétrica com suas devidas correlações e equações.

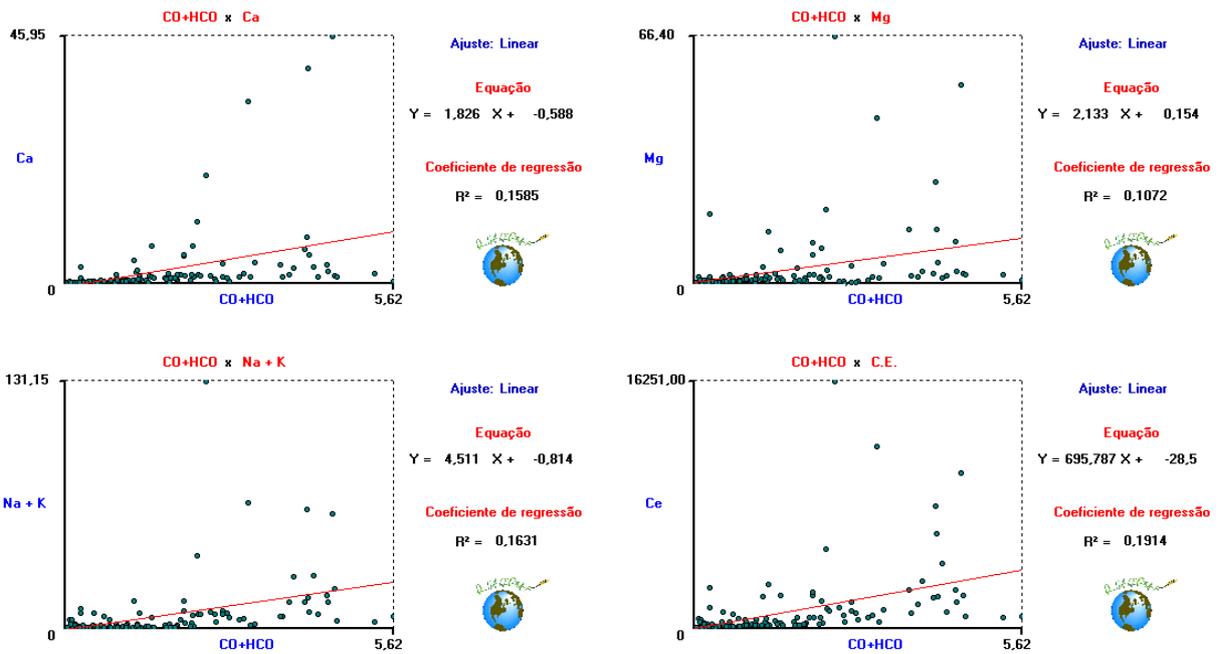


Figura 11 - Gráficos de regressão linear do ânion bicarbonato com os cátions e a condutividade elétrica com suas devidas correlações e equações.

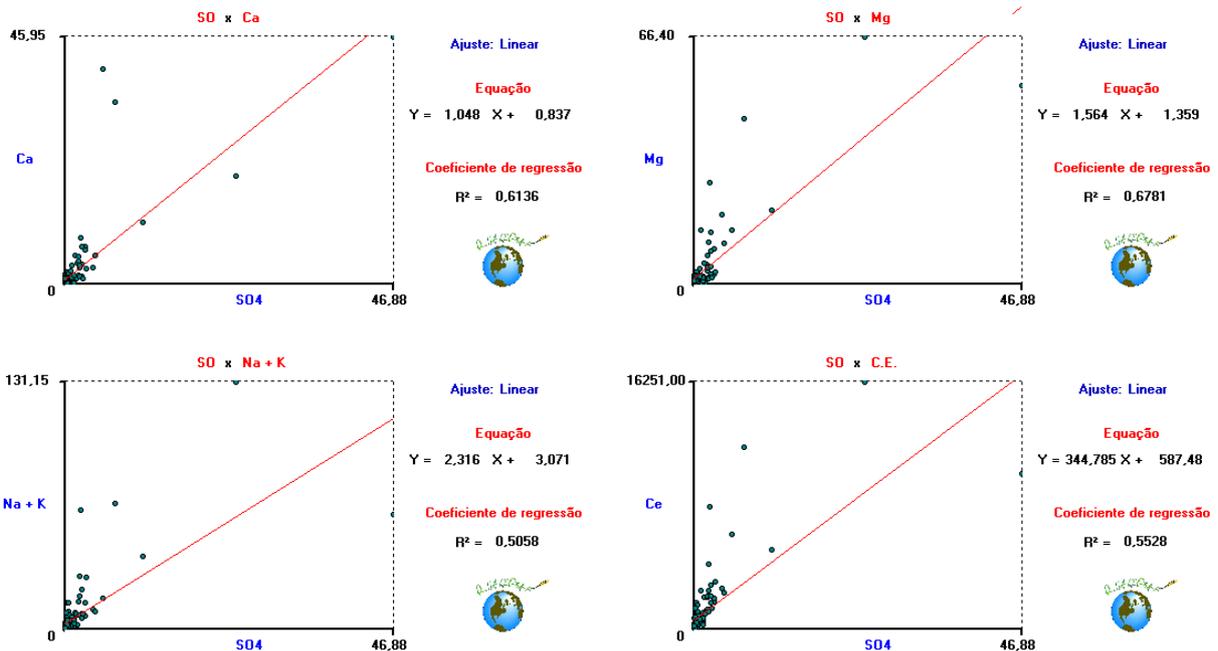


Figura 12 - Gráficos de regressão linear do ânion sulfato com os cátions e a condutividade elétrica, com suas devidas correlações e equações.

Algumas propriedades físico-químicas foram analisadas especialmente nos domínios da área estudada, como a Condutividade Elétrica, o Ferro, o pH e a Dureza, tanto separadamente nas duas épocas amostradas (2005 e 2006) como unificadas em um conjunto.

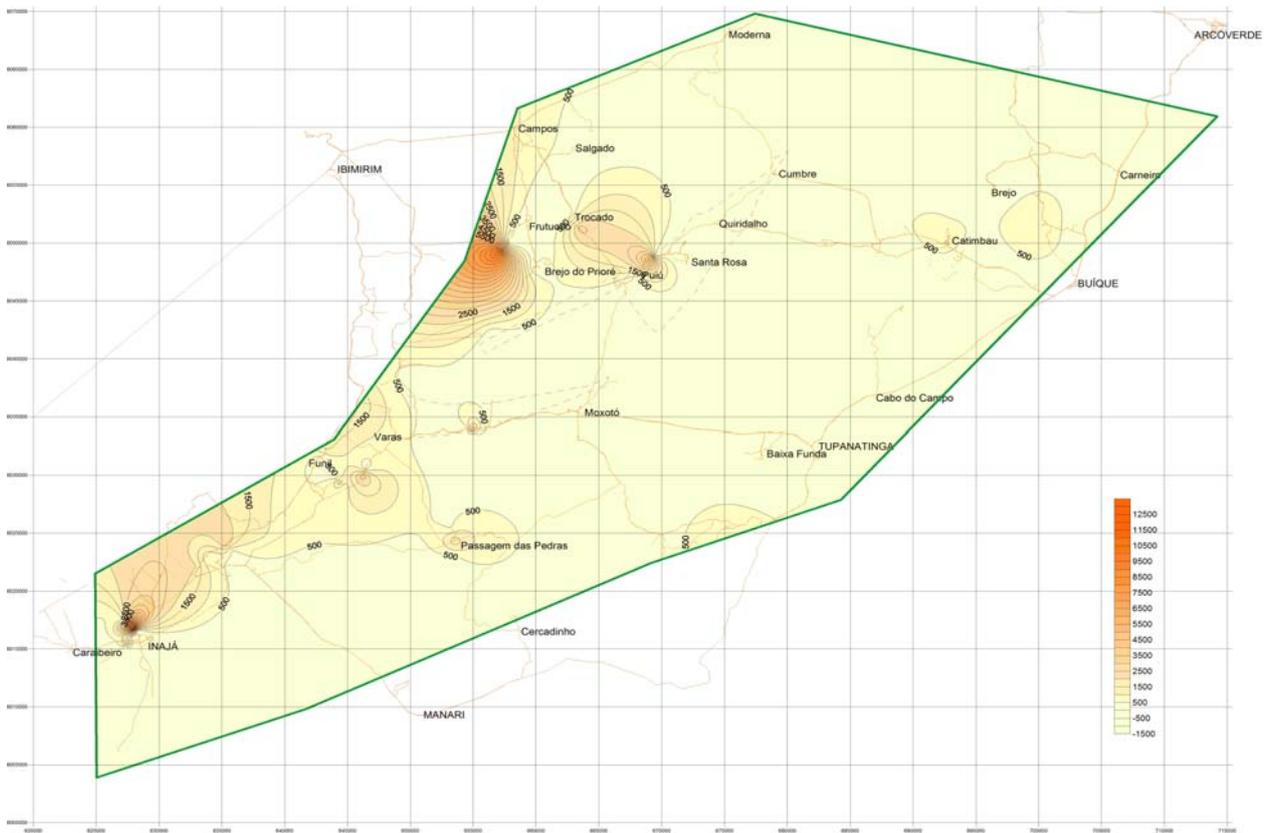


Figura 14 - Distribuição da condutividade elétrica na área de estudo determinadas pelas águas coletadas no final do primeiro semestre de 2006.

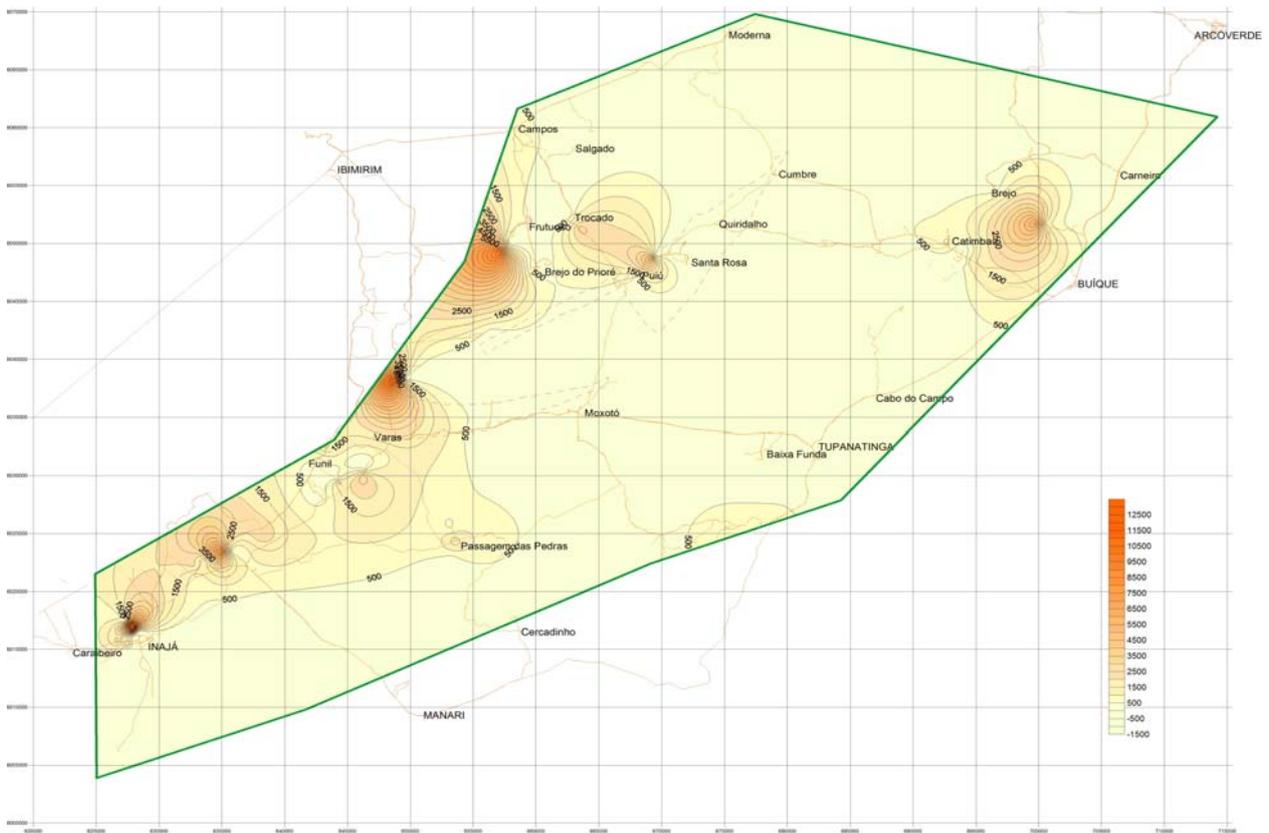


Figura 15 - Distribuição da condutividade elétrica na área de estudo determinadas pelas águas coletadas em 2005 e 2006, selecionadas e unificadas.

4. ESTUDOS ISOTÓPICOS

Do total de 138 amostras isotópicas, relativas ao total final de pontos coletados, foram selecionadas, inicialmente, 64 amostras mais significativas para serem analisadas, tomando-se por base os questionamentos gerados pelas distinções de salinidade entre poços próximos e à correlação com os pontos de coleta de água superficial, chegando a serem enviadas à equipe da SUREG-BA para os devidos encaminhamentos ao laboratório da UFBA para análise isotópica. Contudo, devido ao rearranjo financeiro ocorrido ao final de 2006, apenas 28 dessas amostras selecionadas puderam ser encaminhadas ao laboratório, tendo sido escolhidas aleatoriamente devido ao tempo não disponível para nova seleção.

Essas 28 amostras de água foram encaminhadas ao Laboratório de Física Nuclear Aplicada – LFNA, pertencente ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia – CPGG da Universidade Federal da Bahia – UFBA, o qual nos apresentou os resultados constantes mais a frente, quando da análise e discussão propícia dos mesmos.

As medidas de oxigênio-18 e de deutério foram feitas por Espectrometria de Massa no Laboratório de Física Nuclear Aplicada – Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia. O erro das medidas é de $\pm 1 \text{ ‰}$ para o hidrogênio e de $\pm 0,1 \text{ ‰}$ para o oxigênio.

Os valores mais elevados são das águas do Rio Moxotó e da nascente, respectivamente $\delta^{18}\text{O} = -2,6 \text{ ‰}$ e $-2,8 \text{ ‰}$ e $\delta\text{D} = -15 \text{ ‰}$ e -14 ‰ . O monitoramento das Precipitações Globais feito pela IAEA e resumido por Rozanski *et al.* (1993) mostrou que na região da Bacia Sedimentar de Jatobá os valores de $\delta^{18}\text{O}$ variam de -2 a -4 ‰ ; portanto, as águas analisadas são de chuvas sem posterior evaporação.

A relação entre deutério e oxigênio-18 de $\delta\text{D} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 8,4$ (Figura 16) quando comparada com a reta meteórica mundial $\delta\text{D} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$ também indica (pela igual inclinação) ausência de processo de evaporação. A reta dos dados reflete a mistura de água de chuva com paleoáguas já armazenadas no aquífero em épocas anteriores há 10.000 anos antes da presente. Paleoáguas já foram localizadas em outras bacias sedimentares do nordeste brasileiro como na Bacia Sedimentar Maranhão Piauí e na Bacia Sedimentar do Araripe (Frischkorn & Santiago, 2000; Frischkorn *et al.* 2003).

Dos 27 poços amostrados 14 têm condutividade elétrica abaixo de $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ indicando águas em ambiente de lenta dissolução das rochas armazenadoras do aquífero. A Figura 17, com estes dados, mostra a tendência natural das águas com maior tempo de residência (identificadas aqui pelos valores mais baixos de $\delta^{18}\text{O}$) ter maiores concentrações salinas.

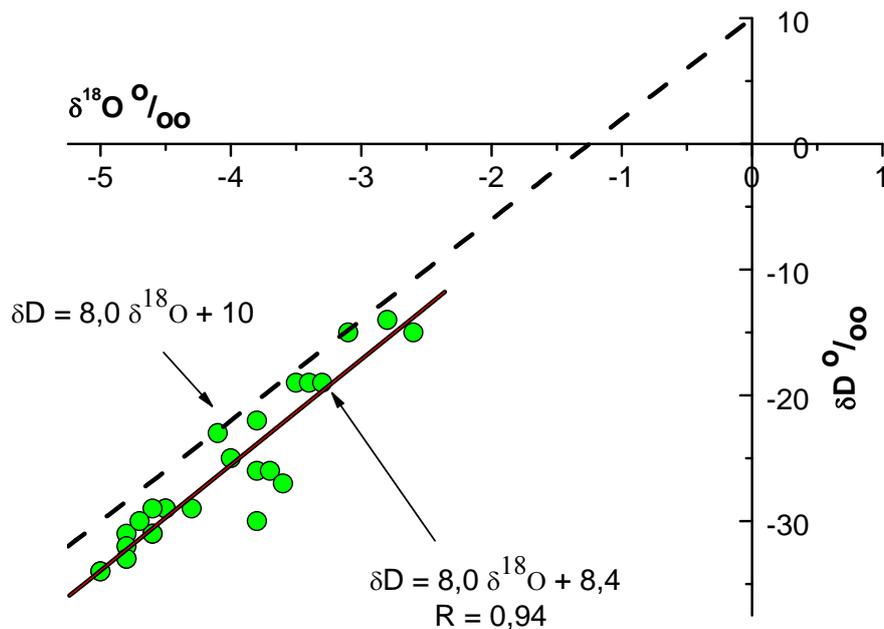


Figura 16 - δD versus $\delta^{18}O$ em amostras da Bacia do Jatobá.

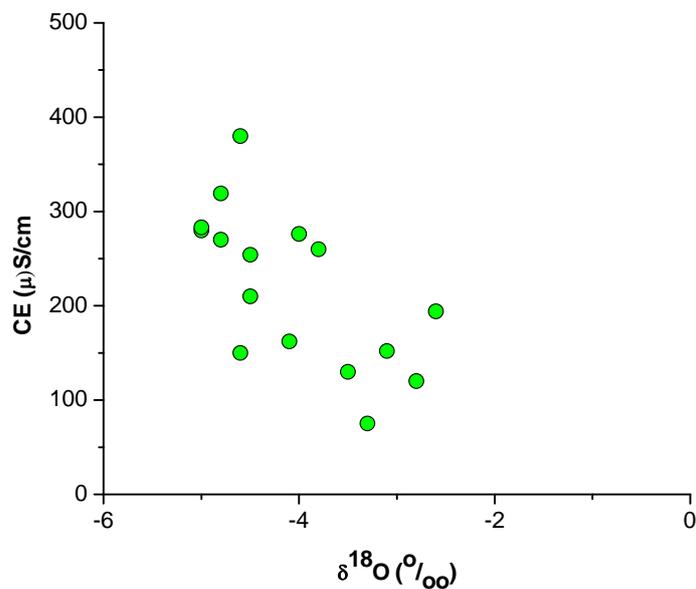


Figura 17 - Condutividade elétrica versus $\delta^{18}O$ em amostras da Bacia do Jatobá com condutividade elétrica abaixo de 400 $\mu S/cm$.

Diferentemente, as águas mais salinas, apresentadas na Figura 18, mostram nenhuma correlação com os valores de $\delta^{18}O$. Porém, constata-se que o grupo de elevada condutividade elétrica tem valores de $\delta^{18}O$ menores (mais negativos) que o primeiro. Como consideramos valores

de $\delta^{18}\text{O}$ tão baixos como indicadores de paleoáguas, aqui também, a mineralização deve ocorrer durante o tempo elevado de residência da água no aquífero.

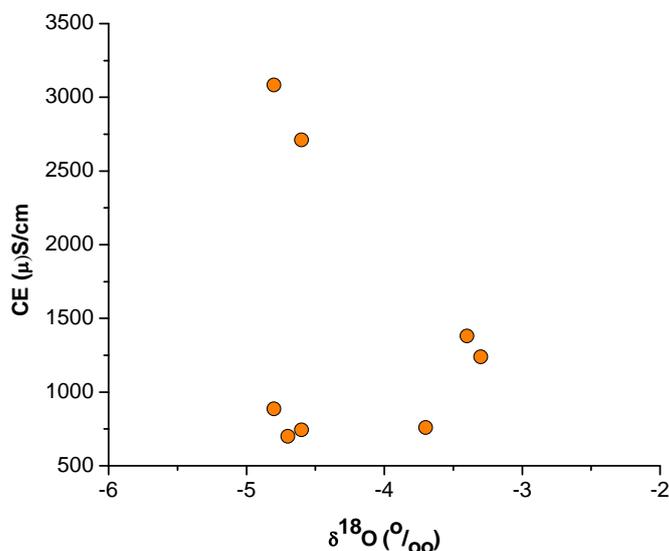


Figura 18 - Condutividade elétrica versus $\delta^{18}\text{O}$ em amostras da Bacia do Jatobá com condutividade elétrica a partir de $700 \mu\text{S}/\text{cm}$.

As medidas dos isótopos oxigênio-18 e deutério mostram que a recarga do sistema aquífero é rápida, que nele se misturam paleoáguas com águas recentes e que o sistema não é homogêneo (demonstrado pelo diferentes processos de dissolução do aquífero conduzindo a diferentes faixas de condutividade elétrica).

5. ESTUDO DE VULNERABILIDADE E RISCOS DE CONTAMINAÇÃO

A contaminação de um aquífero depende de vários fatores, os quais podem ser agrupados nos dois seguintes: vulnerabilidade do aquífero e potencialidade das cargas contaminantes.

Para que haja uma defesa da qualidade das águas subterrâneas faz-se necessário que, conhecendo-se o grau de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos, tanto regional como local, sejam caracterizados os riscos potenciais de poluição associados à carga contaminante.

Para melhor compreender a idéia de risco de poluição das águas subterrâneas, faz-se necessário que se proceda à associação e a interação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou em sub-superfície.

Compreende-se por *vulnerabilidade natural de um aquífero* a sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga contaminante. A vulnerabilidade natural é uma propriedade intrínseca, enquanto a carga poluidora pode ser controlada ou modificada.

Para o cálculo da vulnerabilidade de um aquífero, existem diversos métodos na literatura, sendo o *DRASTIC* e o *GOD*, os mais conhecidos. Neste estudo, utilizou-se o *GOD*, por ser um dos mais simples métodos para a definição da vulnerabilidade de aquíferos, podendo ser acoplado a um sistema de análise de cargas contaminantes, resultando em definições de riscos de poluição.

O índice final de vulnerabilidade é definido pela interação, através da multiplicação de três parâmetros:

- a) tipo de ocorrência da água subterrânea (*Groundwater occurrence*);
- b) características dos estratos acima da zona saturada (*Overall of lithology of aquiperm*), em termos de grau de consolidação e tipo litológico;
- c) profundidade da água subterrânea (*Depth of groundwater*).

Baseado nos parâmetros disponíveis de um aquífero, descritos acima, FOSTER (1987), propuseram um diagrama para a determinação da vulnerabilidade natural de um aquífero pelo método GOD. Este diagrama estabelece vulnerabilidades variando desde negligível (valor=0) até extrema (valor=1).

Na área estudada, o sistema aquífero Inajá/Tacaratú se apresenta em regiões de recarga (aquífero livre – 1) e em regiões sotopostas à Formação Aliança (aquífero confinado – 2). De acordo com o diagrama de FOSTER (*op.cit.*), a área estudada apresenta os seguintes valores:

- *G1* ⇒ peso 1,0 *G2* ⇒ peso 0,4
- *O1* ⇒ peso 0,8 *O2* ⇒ peso 0,8
- *D1* ⇒ peso 0,8 a 1 *D2* ⇒ peso 0,5

⇒ Índice de vulnerabilidade (*Iv*) = *G* x *O* x *D* ;

Iv1 ⇒ 0,64 a 0,8 *Iv2* ⇒ 0,16

Sendo assim, o aquífero fissural representado pelo seu manto de alteração apresenta, na área estudada, uma **vulnerabilidade ALTA A EXTREMA** para as regiões de recarga (1) e uma **vulnerabilidade BAIXA** para as regiões de confinamento (2).

A **potencialidade das cargas contaminantes** na área estudada, pode ser estimada a partir de critérios de pesos relativos, com base nas condições locais de ocupação do solo. A saber:

- **ALTO** – áreas urbanizadas não saneadas, com elevado índice de industrialização;
- **MODERADO** – áreas bem povoadas, não saneadas, com industrialização incipiente e sem presença de atividades agrícolas;
- **BAIXO** – áreas urbanas saneadas, pouca ou nenhuma industrialização, ou áreas de baixa concentração populacional e atividade agrícola incipiente ou inexistente;
- **DESPREZÍVEL** – áreas desprovidas de carga contaminante potencial.

Dessa forma, a área estudada possui um **potencial contaminante MODERADO** nas regiões urbanizadas a **DESPREZÍVEL** na maioria da área estudada.

Contudo, foram catalogados 24 pontos potenciais de contaminação sendo, 09 cemitérios, 10 postos de combustível, 03 lixões, e 02 matadouros.

A **análise dos riscos de contaminação** do sistema aquífero Inajá/Tacaratú explorado na área de estudo na Bacia Sedimentar de Jatobá, deve levar em conta as condições atuais de uso do solo, no que se refere tanto a presença de cargas contaminantes como a vulnerabilidade natural do aquífero.

As principais fontes poluidoras se encontram no entorno da área de estudo e, de acordo com o fluxo subterrâneo de E para W, oferecem riscos reais de contaminação das águas subterrâneas, haja vista a natureza litológica e a vulnerabilidade natural das áreas de recarga do sistema aquífero Inajá/Tacaratú. Contudo, pela quantidade relativamente reduzida dessas fontes potenciais, a abrangência de uma contaminação teria, um relativo impacto baixo, prejudicando, principalmente, os usuários mais próximos.

Os locais desses pontos potenciais de contaminação situam-se, na maioria, em áreas de recarga do sistema aquífero Inajá/Tacaratú, inexistindo as camadas argilosas da Formação Aliança, o que poderia apresentar algum risco de contaminação bacteriológica, sendo necessário, dessa forma, uma proteção maior quanto a esse aspecto, num raio mínimo de 100 metros sendo o poço o centro da circunferência. Porém, a Oeste da área estudada, já ocorrem os sedimentos da Formação Aliança, ou mesmo da litologias mais superiores, o que reforçam a capacidade de autodepuração natural do sistema.

No entanto, a avaliação dos riscos de contaminação do sistema aquífero Inajá/Tacaratú foi efetuada a partir da matriz formada pelos índices de vulnerabilidade de Foster (*op.cit.*) e pelos índices relativos ao potencial de carga contaminante existente. O cruzamento desses elementos permite considerar a área estudada como tendo um risco **DESPREZÍVEL** a **MODERADO**, o qual

poderá tender a ser ALTO no caso de não serem adotadas ações de monitoramento, prevenção e controle.

Além dos fatores condicionantes de risco, acima analisados, deve-se ainda considerar os aspectos relativos ao comportamento regional e local do fluxo subterrâneo, impostos por bombeamentos históricos ocorridos em áreas intensamente exploradas. No entanto, ainda não é o caso nesta área estudada, pela baixa exploração existente na atualidade na maioria das regiões dessa área, mas não fica de todo descartada esta hipótese no futuro, caso a área venha a ser demasiadamente explorada quer por crescimento demográfico, quer por aumento de empresas agroindustriais, o que vem crescendo nestes últimos anos.

O fato é que a perfuração de poços vem crescendo indiscriminadamente em toda a região da Bacia e, embora a exploração ainda seja em níveis médios de volumes, o grande número de poços existentes, principalmente aglomerados em certas regiões, poderão ser preocupantes quando estiverem explorando grandes volumes.

6. BIBLIOGRAFIA

- 1) CRAIG, H. 1961.. Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133: 1702.
- 2) CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. *Hidrologia subterranea. Tomo I. 2ª Edição*. Barcelona: Editora Omega, 1986.
- 3) FOSTER, S.S.D. *Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability os Soil and Groundwater to Pollulants*. TNO Committee on Hydological Research Information, n.38. 1987.
- 4) FRISCHKORN, H. e SANTIAGO, M.M.F. Paleoáguas em bacias sedimentares do Nordeste. *1º Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. Fortaleza, 31/07 a 4/08/2000*.
- 5) FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.M.F.; FORSTER, M.. Groundwater as Indicator for Paleoclimatic Changes in the Northeast of Brazil In: *Global Change and Regional Impacts*. Ed. Springer p. 193-204 2003
- 6) ROZANSKI, K.; ARAGUÁS-ARAGUÁS, L. AND GONFIANTINI R. 1993. Isotopic patterns in modern global precipitation. In: *Continental Isotopic Indicators of Climate*. American Geophysical Union Monograph.
- 7) SANTOS, A. C., 1997. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, F. A. C. & Manoel Filho, J., 1997. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. CPRM, LABHID-UFPE. Cap. 5. P. 81 –108.