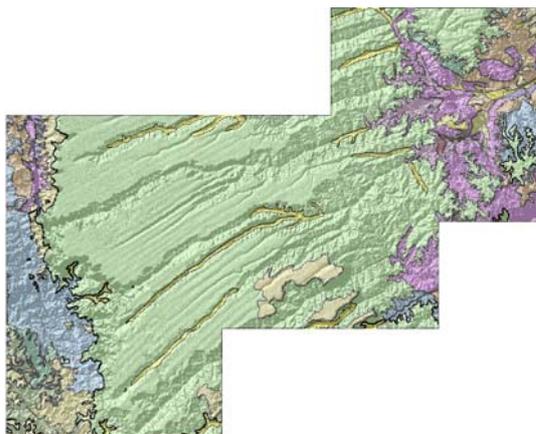




Rede Cooperativa de Pesquisa

COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO



“HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO URUCUIA: BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS ARROJADO E FORMOSO”

Meta D

Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade

Outubro / 2007

Ministério de
Minas e Energia

Ministério da
Ciência e Tecnologia



Rede Cooperativa de Pesquisa

**COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO
SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**

***“HIDROGEOLOGIA DA BACIA SEDIMENTAR DO
URUCUIA: BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS
ARROJADO E FORMOSO”***

Meta D

Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade

Execução:

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Universidade Federal da Bahia - UFBA

Outubro / 2007

REDE COOPERATIVA DE PESQUISA

COMPORTAMENTO DAS BACIAS SEDIMENTARES DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

Coordenação

Período 2004/2005 – Dr. *Waldir Duarte Costa*

Período 2006/2007 – MSc *Fernando A. C. Feitosa*

Instituições Participantes

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Coordenação: MSc *Fernando Antonio Carneiro Feitosa*

MSc *Jaime Quintas dos Santos Colares*

Universidade Federal da Bahia – UFBA

Coordenadora: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Coordenador: Dr. Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

Universidade Federal do Ceará – UFC

Coordenadora: Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Coordenador: Dr. José Geilson Alves Demetrio

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Coordenador: Dr. José Geraldo de Melo

Bacia Sedimentar do Urucuia

Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Urucuia: Bacias Hidrográficas dos Rios Arrojado e Formoso

Meta A – Relatório Diagnóstico do Estado da Arte

MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM

MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Meta B – Caracterização Geológica e Geométrica dos Aquíferos

Item 1 – Revisão Geológica

Dr. Ricardo Cunha Lopes – CPRM

Item 2 – Levantamento Geofísico por Gravimetria

Dr. Olivar Antonio Lima de Lima – UFBA

Mestrando Emerson Sidnei Mota dos Santos – UFBA

Luiz Medeiros dos Santos – Técnico em Geofísica

José Medeiros dos Santos – Técnico em Geofísica
José Mota da Paz – Técnico de Campo

Meta C – Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos

Item 1 – Definição da Rede de Monitoramento

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz - UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM
Dr. Luiz Rogério Bastos Leal – UFBA
Dr. Olivar Antonio Lima de Lima – UFBA

Item 2 – Instalação dos Equipamentos

MSc José Cláudio Viégas Campos - CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM
Aloisio da Silva Pires – Iniciação Científica – UFBA
Soriano Cardoso dos Santos - CPRM

Item 3 – Teste de Aquífero

MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM
Dr. João Manoel Filho - Consultor
Natanael da Silva Barbosa – Iniciação Científica – UFBA
Natali da Silva Barbosa – Iniciação Científica - UFBA

Itens 4 – Elaboração de Mapas Potenciométricos

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA
Dr. Harald Klammler – UFBA
Aloisio da Silva Pires – Iniciação Científica - UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos- CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Itens 5 – Balanço Hídrico

Dr. Lafayette Dantas da Luz – UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos – CPRM

Itens 6 – Elaboração de Modelos de Fluxo

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA
Dr. Olivar Antônio Lima de Lima – UFBA
Dr. Lafayette Dantas da Luz – UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos - CPRM

Item 7 – Avaliação dos Recursos de Água Subterrânea da Bacia

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA
Dr. Olivar Antônio Lima de Lima – UFBA
MSc José Cláudio Viégas Campos – CPRM
MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade

Item 1 – Estudos Hidroquímicos e Isotópicos

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz - UFBA

MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM

Dr. Luiz Rogério Bastos Leal - UFBA

Natali da Silva Barbosa – Iniciação Científica - UFBA

Item 2 – Estudos de Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz - UFBA

MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Meta E – Suporte ao Planejamento e a Gestão das Águas Subterrâneas

Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA

Dr. Luiz Rogério Bastos Leal – UFBA

Dr. Olivar Antônio Lima de Lima – UFBA

Dr. Lafayette Dantas da Luz – UFBA

MSc José Cláudio Viégas Campos – CPRM

MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Meta F – Estruturação e Alimentação da Base de Dados em SIG

Coordenação: Francisco Edson Mendonça Gomes – CPRM

Eriveldo da Silva Mendonça - CPRM

Érika Gomes Brito - CPRM

Antônio Celso Rodrigues de Melo - CPRM

Vicente Calixto Duarte Neto - CPRM

SUMÁRIO META D

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E DE VULNERABILIDADE

1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA.....	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. METODOLOGIA	1
1.2.1. Pontos de Amostragem.....	1
1.2.2. Metodologia de coleta da água de chuva	3
1.2.3. Metodologia de coleta da água superficial.....	3
1.2.4. Metodologia de coleta da água subterrânea.....	4
1.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS	5
1.3.1. Água subterrânea.....	5
1.3.2. Águas superficiais	20
1.3.3. Água de Chuva	22
1.3.4. Análise Isotópica.....	22
2. VULNERABILIDADE.....	24
3. CONCLUSÕES	26
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa da área de estudo indicando os pontos de amostragem de água	2
Figura 2 - Imagem de satélite Geocover 2002, delimitando a área de estudo	3
Figura 3 - Mapas de isovalores de pH nas campanhas 1 e 2.....	7
Figura 4 - Histograma de frequência do parâmetro CE	8
Figura 5 - Histograma de frequência para CE cumulativo	9
Figura.6 - Localização dos pontos amostrados sendo diferenciados por símbolos de acordo com os quartis	10
Figura 7 - Mapa de isovalores de Condutividade Elétrica das quatro campanhas.....	11
Figura 8 - Gráfico da Condutividade Elétrica dos poços amostrados em todas as campanhas de campo	12
Figura 9 - Foto do poço PT-11 localizados na Fazenda Barra dois Amores, com restos de brita calcárea utilizada como pré-filtro	13
Figura 10 - Diagramas de Schoeller para os parâmetros analisados.....	14

Figura 11 - Mapa de isovalores para os parâmetros Na, Ca, e Fe.....	15
Figura 12 - Diagramas de Piper para as amostras de água subterrânea nas quatro campanhas realizadas.....	19
Figura 13 - Valores de Deutério e O das amostras de água subterrânea coletadas nas três primeiras campanhas de campo	23
Figura 14 - Valores de Deutério e O das amostras de águas superficiais coletadas nas três primeiras campanhas de amostragem.....	23

META D - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA E DE VULNERABILIDADE

1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

1.1. INTRODUÇÃO

Autores: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA; MSc Leanize Teixeira Oliveira – CPRM; Dr. Luiz Rogério Bastos Leal – UFBA; Natali da Silva Barbosa – Iniciação Científica - UFBA

A hidrogeoquímica tem por objetivo o estudo do comportamento dos elementos químicos, compostos e substâncias presentes na água, assim como as diferentes reações que podem ocorrer no aquífero. O principal objetivo deste estudo é se obter informações acerca da qualidade das águas, primeiro em relação à presença dos diferentes componentes físico-químicos e microbiológicos, independentemente de sua origem ou utilização, para se fazer uma caracterização natural, segundo para se analisar as possíveis contaminações que possam existir.

Os constituintes presentes na água estão sujeitos a processos e reações que ocorrem durante o fluxo da água, sendo influenciados por fatores endógenos e exógenos ao sistema. Os cátions e ânions presentes na água sofrem uma série de processos de intercâmbio, especialmente os primeiros que apresentam concentrações mais significativas que os segundos. A composição da água, inicialmente estabelecida em uma área de recarga sofre processos significativos de mudanças durante o fluxo até a área de descarga. Isso ocorre como consequência de processos tais como: dissolução progressiva de minerais do aquífero, reações de troca catiônica, mudanças nas condições de oxi-redução, infiltração de outras águas provenientes de outras unidades aquíferas ou de recarga da própria chuva.

Isso ocorre principalmente em aquíferos onde há uma grande diversidade de litologias. No caso do aquífero Urucua existe uma homogeneidade muito grande, em termos litológicos, isso faz com que as águas do aquífero apresentem uma composição química bastante homogênea, não se observando mudanças significativas em toda a área estudada da bacia.

1.2 - Metodologia

1.2.1 - Pontos de Amostragem

Para a caracterização hidroquímica das águas do aquífero Urucua foram feitas coletas de água em 34 poços tubulares, previamente selecionados, durante quatro campanhas de amostragem. Além das águas subterrâneas foram também avaliadas amostras de águas superficiais e 01 amostra de água de chuva.

Do total de poços cadastrados (137) foram escolhidos 34 para compor a rede de monitoramento de qualidade da água. A escolha destes poços baseou-se na disponibilidade de informações dos perfis litológico-construtivos, acessibilidade, representatividade espacial e possibilidade de coleta na boca do poço. Os pontos de amostragem de águas superficiais foram escolhidos principalmente em função da distribuição espacial ao longo de pontos estratégicos de observação nas principais drenagens e, da disponibilidade de recursos financeiros. Quanto à coleta de água de chuva, foi feita apenas uma única amostra principalmente devido a algumas dificuldades para se garantir a representatividade do evento chuvoso em relação aos cuidados quanto à coleta da precipitação, estocagem da amostra e análise dos seus constituintes.

A figura 1 apresentada a seguir mostra o mapa de distribuição dos pontos de amostragem de água de chuva, água subterrânea e água superficial.

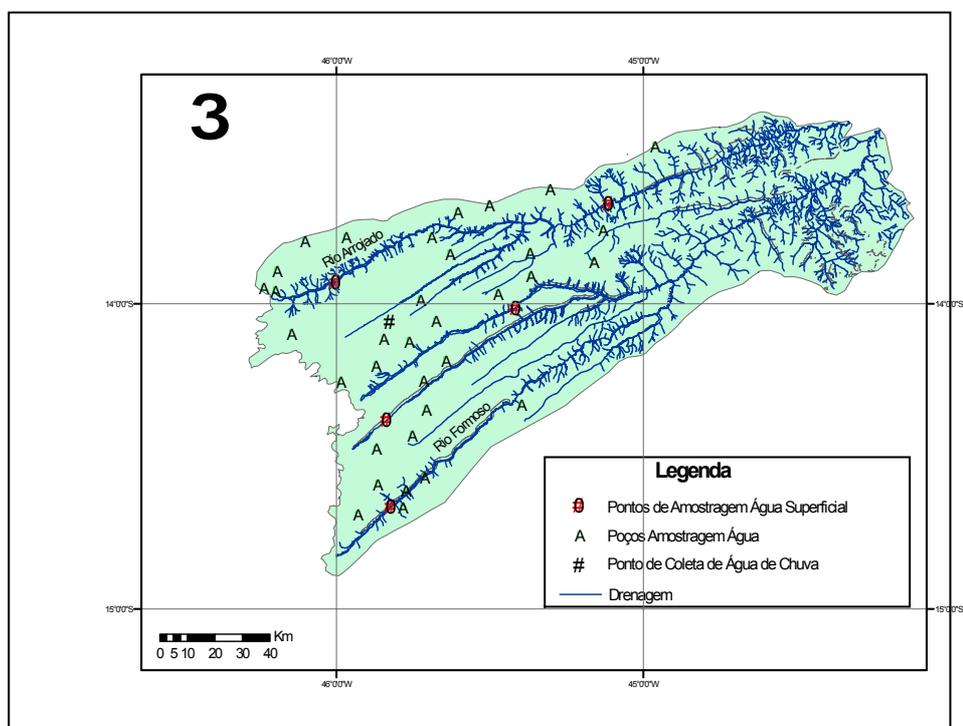


Figura 1- Mapa da área de estudo indicando os pontos de amostragem de água

Percebe-se a ausência de poços na porção oriental da área, que corresponde à região onde o Cerrado (vegetação típica predominante) encontra-se mais preservado, uma vez que a ocupação da área vem ocorrendo no sentido de oeste para leste, como pode ser visto na imagem de satélite da figura 2 apresentada a seguir.

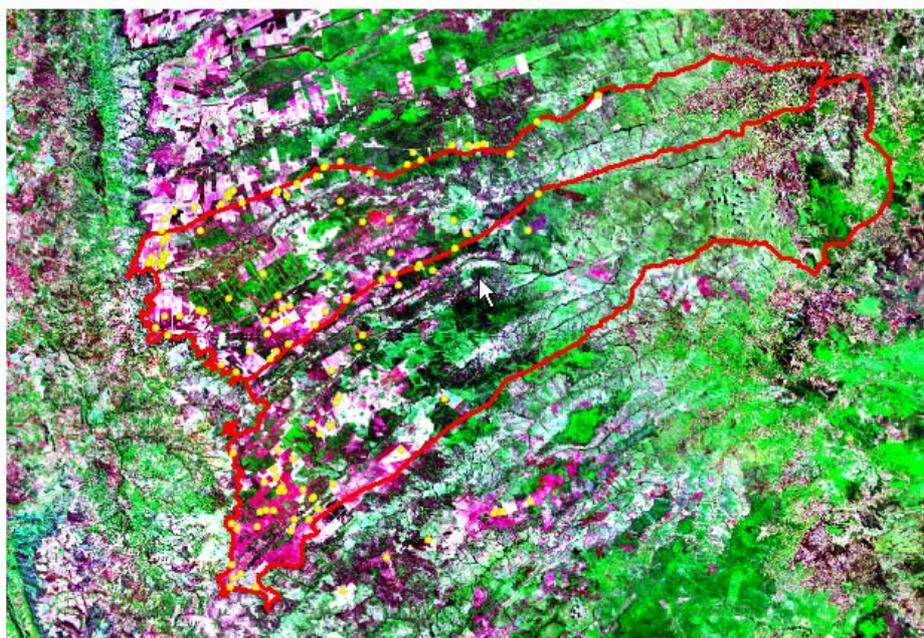


Figura 1 - Imagem de satélite Geocover 2002, delimitando a área de estudo e indicando os poços cadastrados (pontos amarelos)

1.2.2 - Metodologia de coleta da água de chuva

A amostra de água de chuva foi coletada utilizando-se do dispositivo de um pluviômetro do tipo convencional, modelo DNAEE com área de captação de 400cm², instalado na Fazenda Tropeiro Velho.

O evento chuvoso analisado corresponde à precipitação de 24 horas que totalizou 62,3 mm ocorridos entre as 07:00 do dia 11/12/05 e 07:00 do dia 12/12/05, tendo sido mantida em refrigeração até o dia 14/12/05 quando foram feitas as medidas de Temperatura, CE e pH e recolhida amostra para realização das análises físico-químicas e isotópicas.

Considera-se que não houve influência significativa do processo de evaporação e mistura de impurezas sólidas como restos de folha, em função da abertura do pluviômetro e da existência do filtro. Além disso, durante as 24h de coleta da água a ocorrência de intervalos sem precipitação foi mínima, haja visto o regime de chuvas local e o total pluviométrico registrado neste dia.

1.2.3 - Metodologia de coleta da água superficial

A coleta de amostras de água superficiais seguiu os procedimentos padrões de normas técnicas para coleta de águas do gênero e acompanhou as mesmas campanhas de campo realizadas para coleta da água subterrânea, conforme será descrito a seguir.

1.2.4 - Metodologia de coleta da água subterrânea

Foram realizadas quatro campanhas de campo para coleta de 34 amostras de água subterrânea através de poços tubulares. As campanhas foram realizadas nos períodos de 30/09/2005 a 05/10/05, de 03/12/2005 a 14/12/2005, 16/05/2006 a 24/05/2006 e 14 a 29/11/2006 correspondendo respectivamente ao final do período seco, período de chuvas intensas, período após os meses mais intensos de chuva e finalmente no período de chuvas intensas.

Devido a alguns problemas ocorridos durante as campanhas de amostragem, como bomba de poço quebrada, ausência de proprietário, falta de energia elétrica ou gerador com defeito, entre outros, foram coletadas no total 128 amostras. Assim, em alguns casos, alguns pontos não puderam ser amostrados em todas as quatro campanhas, e em outros tiveram que ser substituídos por novos pontos de amostragem.

Considera-se que foram coletadas águas das formações Posse e Araras, não sendo possível diferenciá-las em todos os casos, assim os resultados encontrados são equivalentes à composição média do aquífero Urucuia.

O armazenamento das amostras foi feito utilizando-se frascos de vidro com H_2SO_4 (1:1), para determinação dos nitratos e fosfatos, frascos de plástico com HNO_3 (1:1), para determinação dos metais, além de frascos de plástico sem reagente, para determinação dos demais parâmetros. A concentração dos ácidos aumentou na terceira campanha visando diminuir o valor do limite de detecção.

As amostras devidamente preservadas e conservadas foram enviadas para o Laboratório do Núcleo de Estudos Ambientais da UFBA, para análises físico-químicas, e para o Laboratório de Física Nuclear Aplicada da UFBA, para análises isotópicas.

Os parâmetros físico-químicos analisados foram Nitrito, Nitrato, Sulfato, Fosfato, Cloreto, Alcalinidade total, Alcalinidade de bicarbonato, Alcalinidade de Carbonato, Cálcio total, Magnésio total, Sódio total, Potássio total, Ferro total, Manganês total, Alumínio total, Sólidos Totais Dissolvidos, Condutividade Elétrica (medidas no campo e em laboratório) e pH (medido no campo). As análises químicas foram baseadas nos manuais Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e a espectrometria de absorção atômica (ASTM).

1.3 - Análise dos resultados

1.3.1 - Água subterrânea

Alguns parâmetros analisados encontram-se abaixo do limite de detecção do método analítico empregado, para muitas das amostras analisadas. Por isso na terceira campanha, foi feita uma tentativa de redução dos limites de detecção aumentando-se a pré-concentração dos ácidos, ver tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Limite de detecção do método analítico para os diversos parâmetros analisados nas quatro campanhas de campo.

Parâmetro	CE	STD	PO ₄	NO ₃	NO ₂	SO ₄	Cl	Álcali	Alcali HCO ₃	Alcali CO ₃	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Al
LDM_1 ^a	4	4	0,1	0,2	0,1 5	2	2	2,5	2,5	2,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0 4	0,3
LDM_2 ^a	4	4	-	0,2	0,1 5	2	2	2,5	2,5	2,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0 4	0,3
LDM_3 ^a	4	4	0,0 2	0,2	-	1	2	1	1	1	0,1	0,0 2	0,1	0,1	0,0 5	0,0 1	0,1
LDM-4 ^a	4	4	0,0 7	0,2	-	2	2	2,5	-	-	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0 4	0,3

*LDM= Limite de Detecção do Método

O balanço de cátions-ânions foi feito utilizando-se o cálculo do erro analítico das amostras analisadas, através da fórmula de Logan (1965), onde foi encontrado o valor médio de 38,3, com mínimo de 0,8 e máximo de 83,9 (valor médio de 40,98 para o erro em amostras de águas superficiais). Estes valores são sugestivos da baixa mineralização das águas, onde a condutividade elétrica das amostras varia entre <4 μ s/cm e 234 μ s/cm como pode ser visto na tabela 2 apresentada a seguir, que informa os valores médios, máximos e mínimos dos diversos constituintes químicos analisados nas quatro campanhas de campo realizadas.

Ressalta-se que os parâmetros nitrito, e alcalinidade de carbonatos apresentaram para todos os pontos amostrados, valores abaixo do limite de detecção do método analítico (LDM), que foi de respectivamente 0,15 mg/l, e 2,5 mg/l (em duas campanhas estes parâmetros não foram avaliados, e o LDM da alcalinidade por carbonatos foi de 1,0mg/l na terceira campanha). No caso do fosfato apenas na terceira campanha foi possível detectar mais de uma amostra com valores acima do LDM (0,02mg/l), o que sugere um valor médio deste parâmetro em torno de 0,02mg/l. Para o Alumínio, apenas na primeira campanha foram detectados valores acima do LDM (0,3 mg/l), sendo que tais

valores são considerados anômalos e acima do Limite de Potabilidade, não tendo sido verificado esta anomalia nas amostragens das campanhas subsequentes.

Tabela 2 - Valores Médios, Mínimos e Máximos dos parâmetros analisados nas amostras de água subterrânea (dados em mg/l).

	CE				pH				STD			
	1ª.	2ª.	3a	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a	4a.
Média	17	17,51	26,77	26,87	5,29	5,3	5,66	5,73	14,8	18,77	15,07	11,9
Mín.	<4	4,83	6	4,78	4,4	4,42	4,37	4,88	<4	4	<4	4
Máx.	87	121	234	222	6,6	6,76	7,16	7,4	85	134	135	116
Desvio padrão	20,81	26,64	45,78	44,63	0,54	0,7	0,71	0,66	19,8	28,29	26,19	21,5

	HCO ₃ ⁻				Cl ⁻				NO ₃ ⁻				SO ₄ ⁻²				PO ₄		
	1a.	2ª.	3a.	4a.	1a.	2a.	3ª.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1ª.	2a.	3a.	4a.	1a.	3ª.	4a.
Média	6,83	8,1	10,49	2,58	2,69	2,63	6,89	2,28	0,3	0,29	0,497	0,204	<2	2,24	1,29	2,028	0,07	0,0215	0,071
Mín.	<2,5	<2,5	<1	2,27	<2	<2	2,9	2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	<2	<2	<1	2	<0,07	0,05	<0,07
Máx.	45	57	122	3,69	11	4,8	20	3,69	0,59	1,5	4,37	0,31	<2	9,3	4,6	2,57	0,07	0,02	0,09
Desvio padrão	10,68	13,04	24,08	0,25	2,03	0,84	3,86	0,40	0,12	0,31	0,8	0,020	0	1,33	0,71	0,12	0	0,006	0,003

Ca total (mg/l)				Mg total (mg/l)				Na total (mg/l)				K total (mg/l)			
1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.
1,33	1,41	2,36	2,20	0,14	0,15	0,16	0,21	0,67	0,25	0,18	0,18	<0,3	0,33	0,12	0,3
<0,1	<0,1	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	<0,02	0,10	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,3	<0,3	<0,1	<0,3
12	15	41	36,12	1	1,5	3,2	2,88	6,6	1,2	0,51	0,72	1,2	1,2	0,39	<0,3
3,09	3,36	7,93	7,06	0,18	0,26	0,61	0,50	1,16	0,2	0,096	0,15	0,16	0,16	0,07	0,0

Al total (mg/l)				Mn total (mg/l)				Fe total (mg/l)			
1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2ª.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.
0,43	<0,3	0,1	0,3	<0,04	<0,04	0,022	0,05	0,5	0,63	0,61	0,89
<0,3	<0,3	<0,1	0,3	<0,04	<0,04	<0,01	0,04	<0,1	<0,1	<0,05	0,10
2,9	<0,3	0,1	0,3	0,05	0,06	0,09	0,10	4,2	4,4	2,6	7,28
0,49	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,92	1	0,77	1,61

Observando-se os valores acima apresentados nota-se a baixa mineralização das águas subterrâneas. A alcalinidade das águas é dada principalmente pelo constituinte bicarbonato e trata-se de uma água ácida com pH médio variando entre 5,3 a 5,7, sendo o mínimo de 4,4 e máximo de 7,4. Analisando-se os mapas de isovalores apresentados na figura 5.3 a seguir, verifica-se que não foi identificado um comportamento previsível do ponto de vista das variações sazonais.

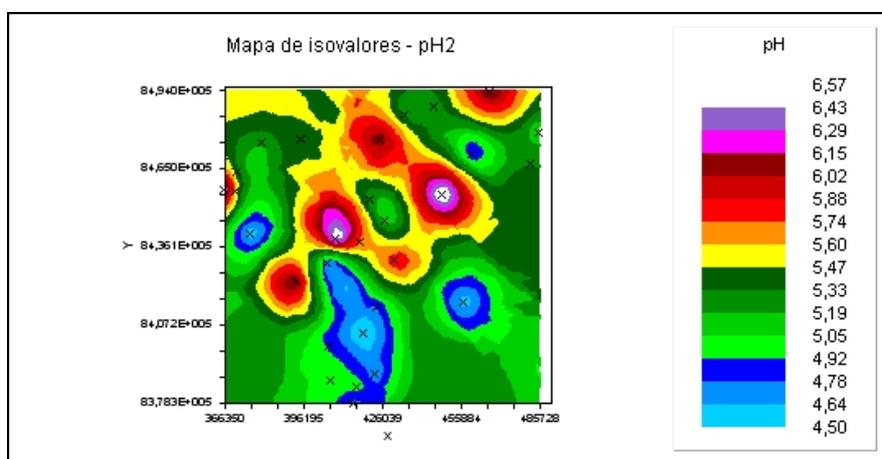
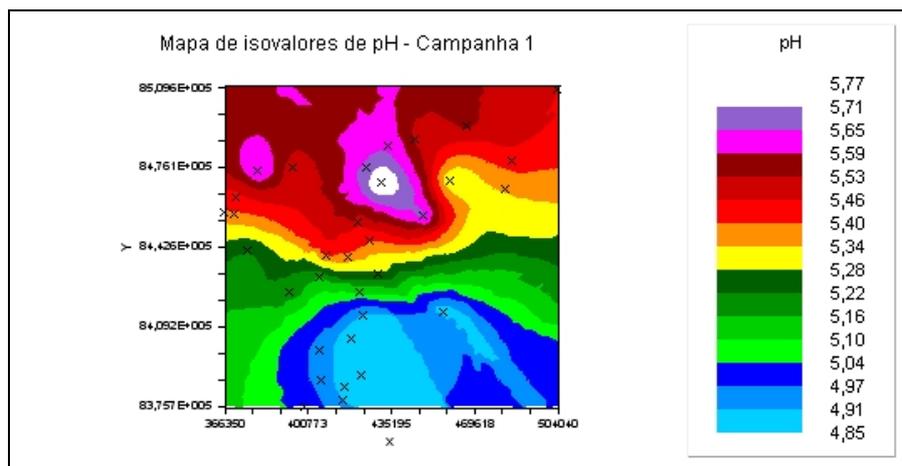


Figura 2 - Mapas de isovalores de pH nas campanhas 1 e 2

Análise Exploratória da variável Condutividade Elétrica (CE)

A análise dos parâmetros estatísticos que descrevem o conjunto de dados da condutividade elétrica nos permite fazer as seguintes observações, ver tabela 4.3 abaixo:

Tabela 3 - Principais parâmetros da estatística descritiva para a CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

Campanha	Média	Mínimo	Máximo	Mediana	Moda	Curtose	Desvio Padrão	Variância
1	17,23	3,0	87	10	6	5,32	20,81	432,97
2	17,51	4,83	121	7	6	8,29	26,64	709,64
3	26,77	6,0	234	10	7	17,08	45,78	2095,64
4	26,87	4,78	222	9,58	10,13	11,92	44,63	1992

a) O valor médio (aritmético) da CE variou entre 17,24 e 26,87 $\mu\text{s/cm}$. A mediana, que representa o valor central da variável quando as observações são classificadas em ordem crescente, variou entre 7,0 e 10,0 $\mu\text{s/cm}$, ou seja, a quantidade de valores menores e maiores que a mediana são iguais. Matematicamente a mediana é menos tratável que a média, mas apresenta a vantagem de ser menos sensível a valores discrepantes (Webster & Oliver, 1990), portanto mais aplicável ao caso. A moda de um conjunto de dados que é o valor que ocorre com a maior frequência, podendo não existir e mesmo que exista, não ser única (Spiegel, 1993), variou entre 6 e 10,0 $\mu\text{s/cm}$. Observa-se que não há mudanças significativas nos valores médios se compararmos as quatro campanhas de coleta, e houve um aumento dos valores máximos encontrados à medida que se passou do final da estação seca para a estação chuvosa.

b) Com relação à medida de dispersão dos dados, o desvio padrão encontrado variou entre 20,81 e 45,78, e dá idéia do afastamento dos valores observados em relação à média estimada.

Uma forma de estimar a variabilidade das amostras é comparar o comportamento do parâmetro estudado com modelos teóricos, utilizando-se curvas de distribuição de frequência. As figuras 4 e 5 apresentadas abaixo mostram o histograma de frequência simples e acumulado do parâmetro CE.

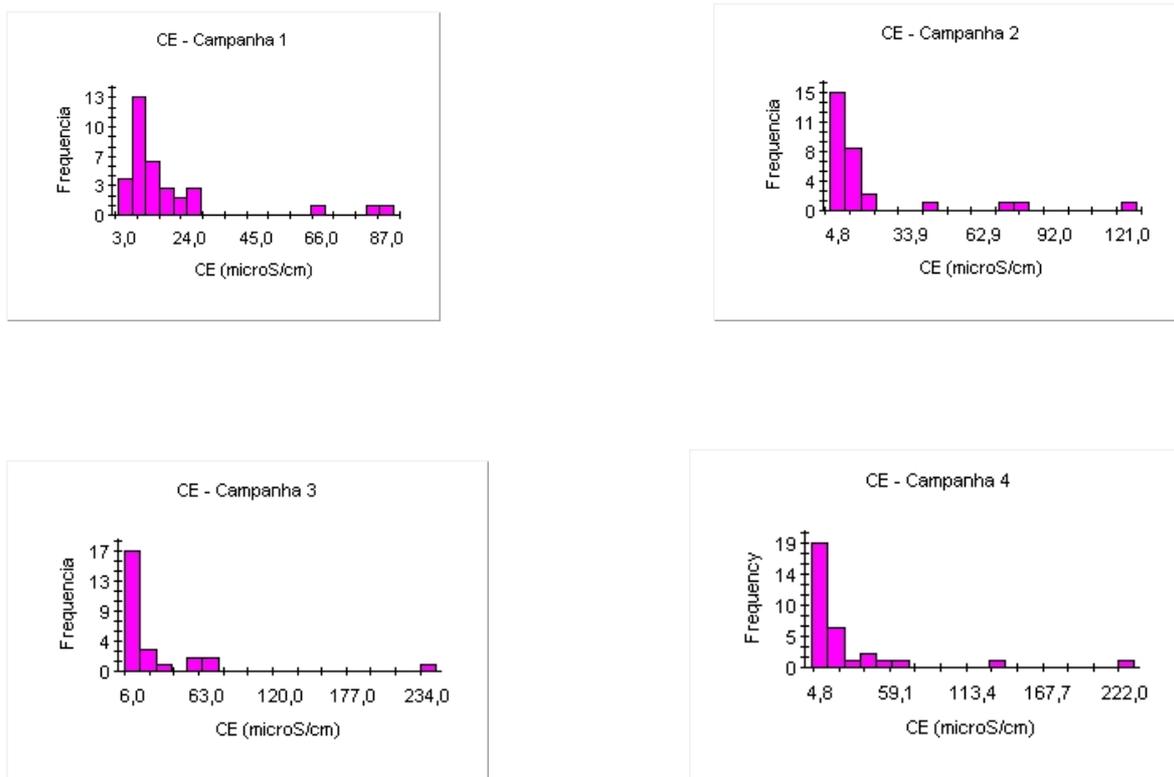


Figura 3 - Histograma de frequência do parâmetro CE

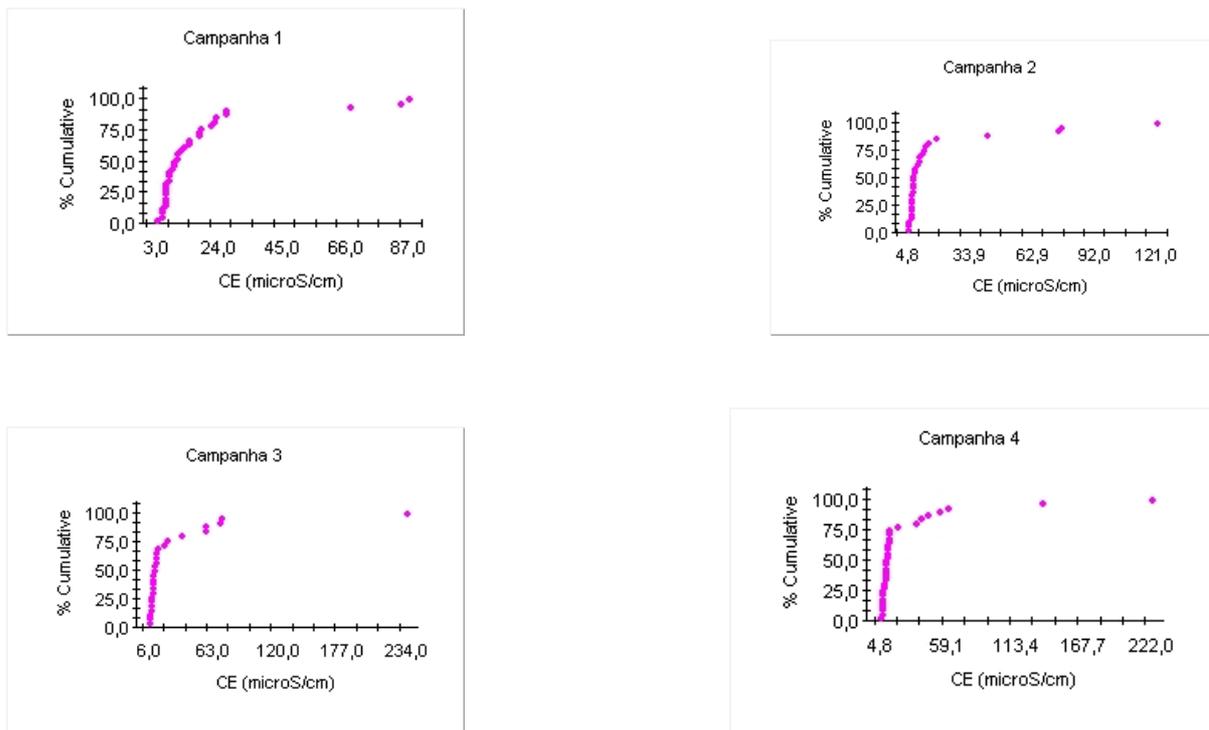


Figura 4 - Histograma de frequência para CE cumulativo

Observa-se que os dados apresentam uma distribuição do tipo cauda desviada para a direita, ou seja, possui assimetria positiva, sendo a distribuição de dados melhor ajustada como sendo do tipo lognormal.

c) A curtose auxilia na verificação do achatamento da curva de frequência em relação à curva normal. O valor de Curtose encontrado variou de 5,32 a 17 considera-se a curva do tipo leptocúrtica.

Na figura 6 apresentada a seguir, percebe-se a distribuição em malha irregular e a baixa densidade dos dados amostrados. É importante salientar alguns espaços vazios de informação, a exemplo das porções N, SE e SW, que certamente dificulta a interpolação dos dados.

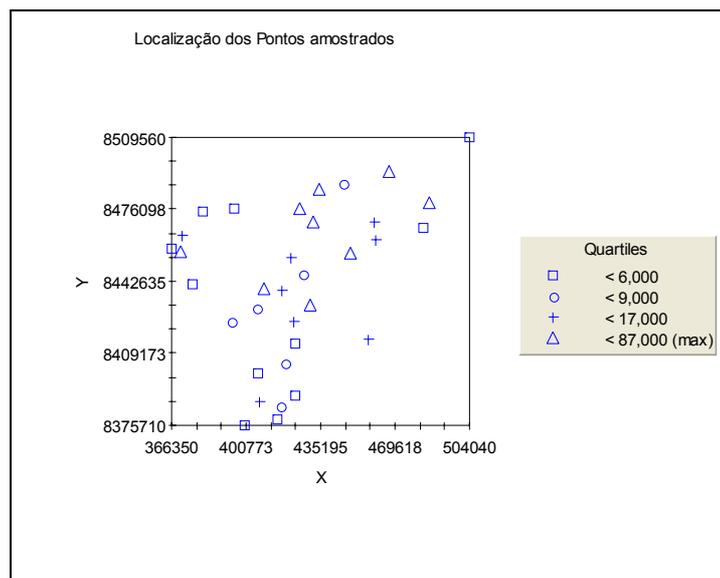


Figura 5 - Localização dos pontos amostrados sendo diferenciados por símbolos de acordo com os quartis

Do ponto de vista espacial os mapas de isovalores da condutividade elétrica das quatro campanhas de amostragem, foram elaborados utilizando-se o programa Gs+ for Windows, cuja interpolação foi feita pelo método da krigagem, tendo assim a possibilidade de avaliar o melhor modelo do variograma, ver figura 7 abaixo.

A partir da análise do variograma observa-se que o efeito pepita é baixo, o que representa baixo erro de medição e variabilidade dos dados e escalas menores que a distância mínima entre os dados. Pode-se dizer também que existe uma certa homogeneidade entre as amostras, tendo em vista o valor do alcance.

Os mapas de isovalores de CE mostram uma tendência de aumento da condutividade elétrica de oeste para leste, sendo que a ausência de poços na porção leste não permite concluir se este comportamento se estende até o extremo oriental da área, podendo ser interpretados também como sendo a porção centro-setentrional o local mais propício a valores mais elevados de CE. Os pontos anômalos, por estarem sendo interpretados como provenientes de um mesmo sistema aquífero (formações Posse/Araras) são considerados como resultantes de características construtivas do poço, como por exemplo a utilização do pré-filtro de calcário, devendo ser melhor investigado. Deve-se salientar a não-uniformidade da malha de amostragem.

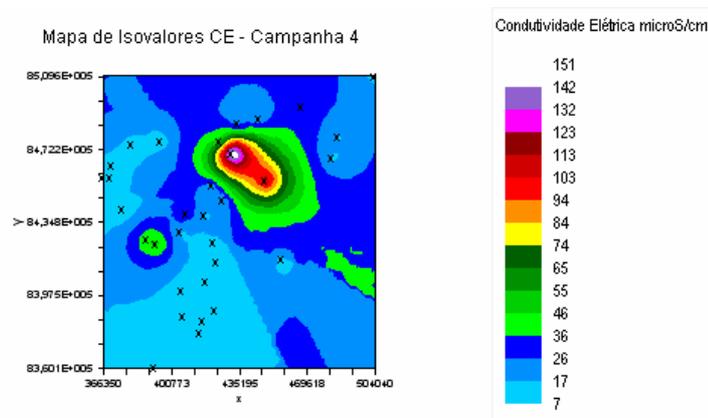
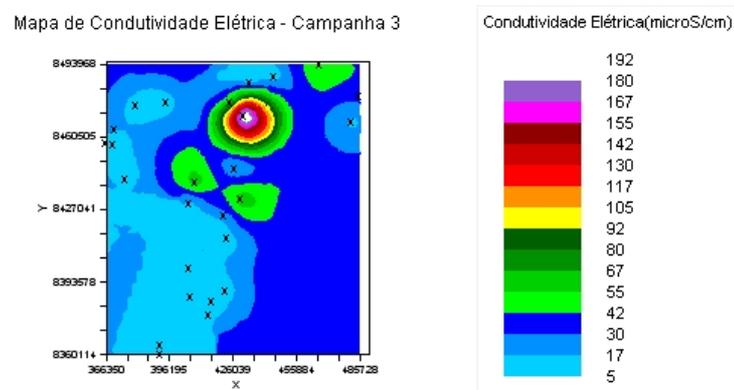
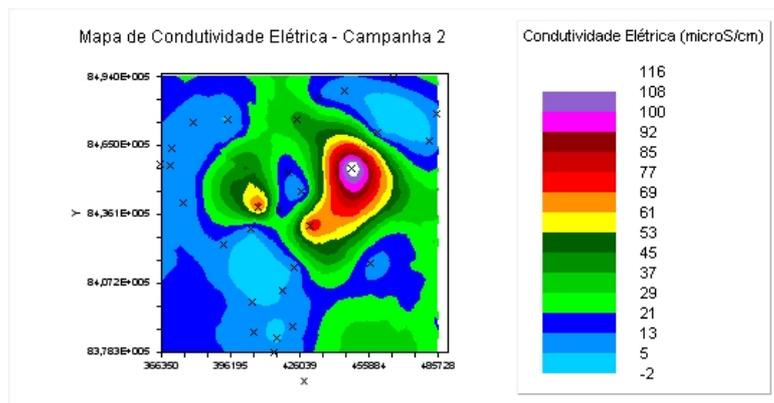
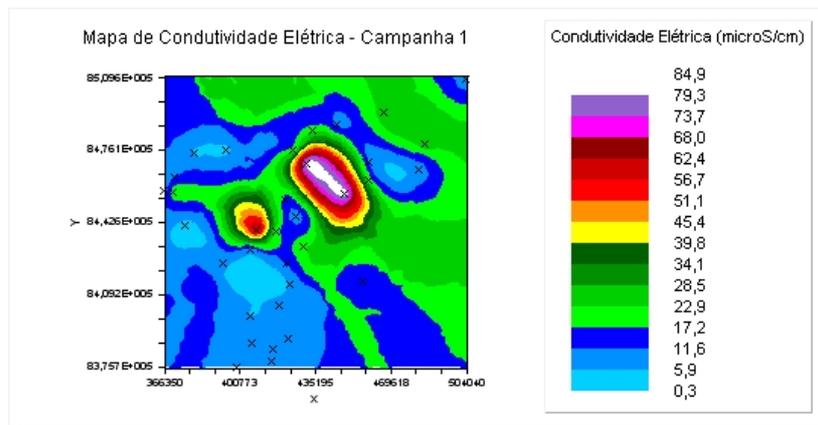


Figura 6 - Mapa de isovalores de Condutividade Elétrica das quatro campanhas

Observando-se o gráfico da figura 5.8, percebe-se que em geral os poços que apresentaram valores mais elevados se repetiram nas quatro campanhas e que o comportamento da salinidade dos poços não sofreu alterações significativas ao longo das amostragens, à exceção do já mencionado anteriormente.

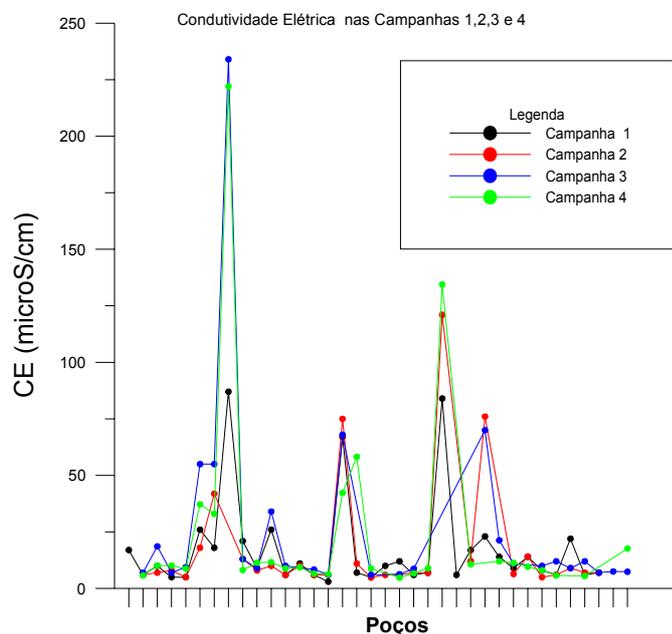


Figura 7 - Gráfico da Condutividade Elétrica dos poços amostrados em todas as campanhas de campo

Quanto a possibilidade de problemas construtivos dos poços estarem ocasionando valores anômalos na constituição química da água, apesar de não terem sido comprovados nos poços que apresentaram a anomalia (uma vez que as informações sobre os perfis construtivos dos poços são escassos e por vezes não confiáveis), foi verificado em campo, a prática do uso de brita de calcário para utilização como pré-filtro, ver figura a seguir.



Figura 8 - Foto do poço PT-11 localizados na Fazenda Barra dois Amores, com restos de brita calcárea utilizada como pré-filtro

Para avaliar a variabilidade espacial dos diversos parâmetros amostrados utilizou-se o diagrama semilogarítimo de schoeller, onde as amostras são plotadas em meq/l para as diversas campanhas de amostragem, ver figura 10.

Observa-se que os parâmetros Na, Fe, Ca, Mg e HCO_3 apresentaram maior variabilidade que os demais parâmetros, podendo ser melhor visualizados nos mapas de isovalores apresentados na figura 11 abaixo.

Nota-se que para os casos dos parâmetros Sódio e Ferro existe uma tendência de aumento dos teores no sentido oeste para leste, acompanhando o fluxo da água subterrânea. Já parâmetros como Ca e alcalinidade, o que se observa são concentrações mais elevadas em pontos isolados.

Considerando apenas os parâmetros analisados, pode-se dizer que trata-se de águas muito pouco mineralizadas, sendo que em geral a água do aquífero Urucuia está dentro dos padrões de potabilidade (Portaria 518 MS,03/2004), exceto para os parâmetros Alumínio e Ferro, nas seguintes situações

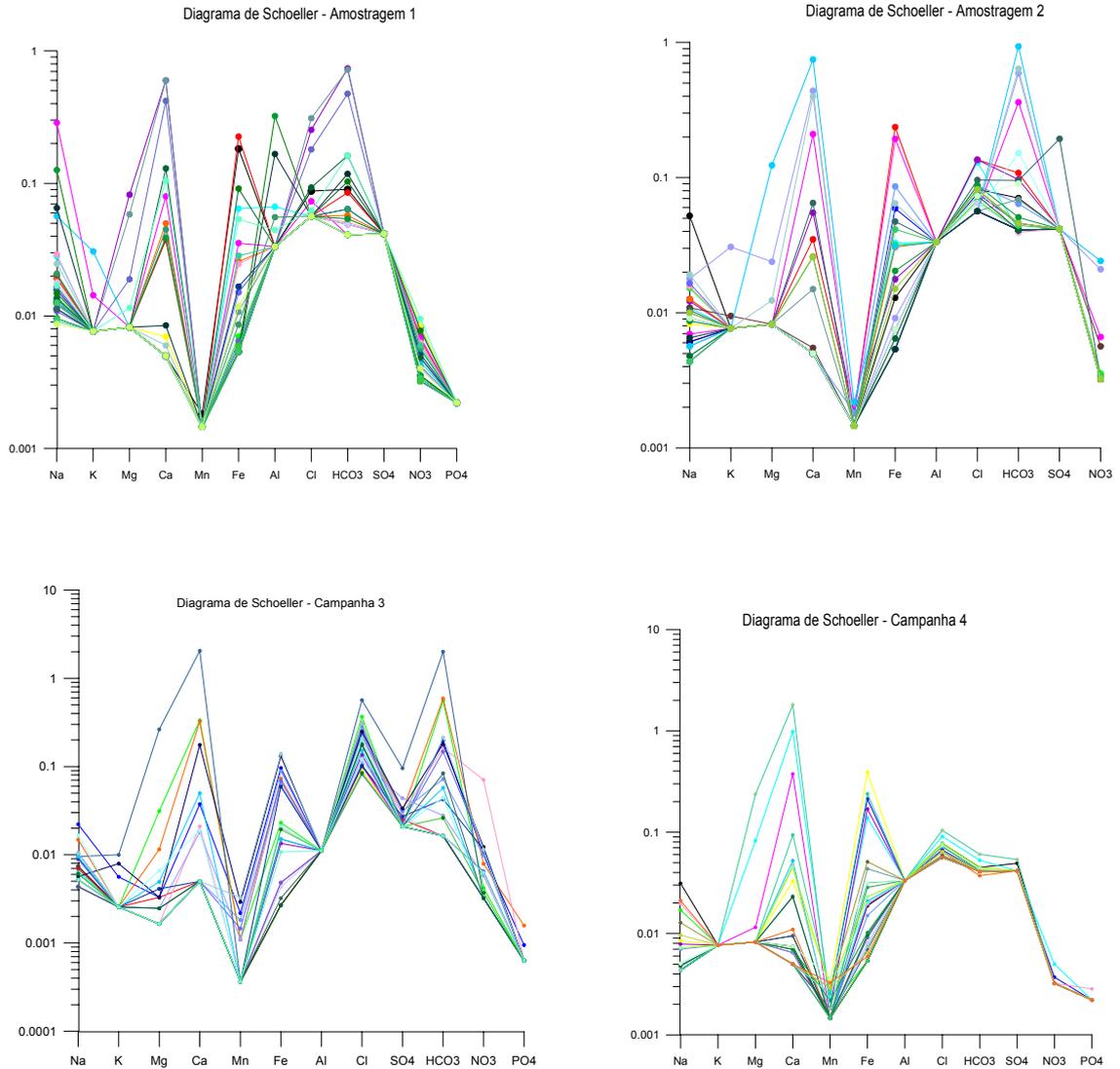


Figura 9 - Diagramas de Schoeller para os parâmetros analisados

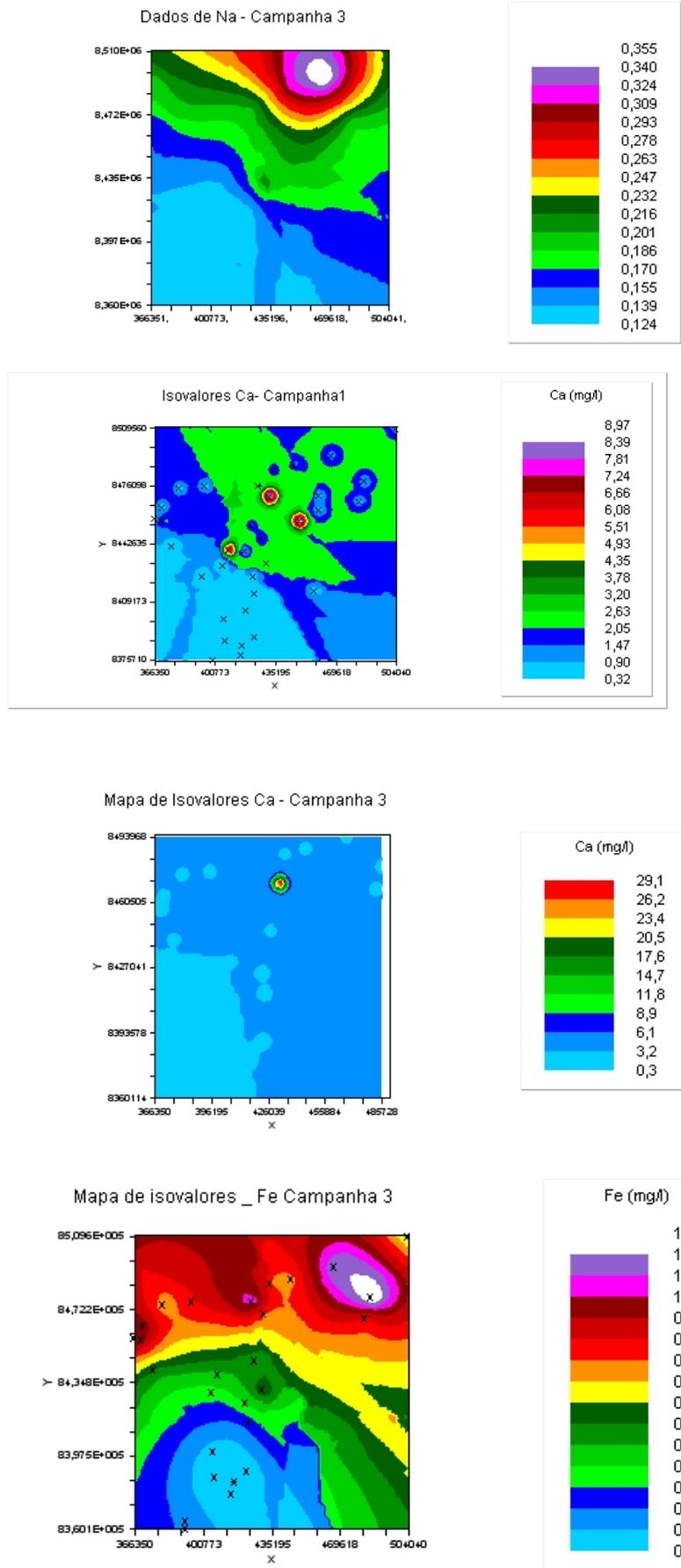


Figura 10 - Mapa de isovalores para os parâmetros Na, Ca, e Fe

- **Parâmetro Alumínio:**

Apenas na terceira amostragem o limite de detecção do método analítico do parâmetro Alumínio (0,3mg/l e 0,1 mg/l) esteve abaixo do limite de potabilidade (0,2 mg/l). Contudo pode-se sugerir que apenas na primeira campanha de amostragem foi verificada a presença de poços com teores anômalos e bem acima dos limites da água potável, que foram os poços PT64(1,5 mg/l), PT69(2,9 mg/l), PT70(0,5 mg/l), PT91(0,4 mg/l) e PT100 (0,6 mg/l). Nestes casos, considera-se estes resultados como valores anômalos com relação ao aquífero, pois para a grande maioria os valores de Alumínio são menores que 0,3mg/l. Do ponto de vista espacial estes pontos se concentraram em duas áreas anômalas e não foi encontrada justificativa plausível para este fato ocorrer apenas na primeira amostragem, podendo ter ocorrido contaminação dos frascos.

- **Parâmetro Ferro:**

Um total de 21 poços (dentre os poços amostrados nas quatro campanhas) apresentaram valores acima do limite de potabilidade para o parâmetro Ferro (0,3mg/l) em pelo menos uma das campanhas de amostragem, sendo que em 04 deles não foi possível verificar a continuidade dos valores anômalos, pois só foram analisados em uma única campanha (PT01(3,4mg/l), PTA (0,36mg/l), PT1A(0,35mg/l) e PTE (3,97mg/l)). Contudo apenas 15 destes poços apresentaram valores acima dos limites de potabilidade, em duas ou mais campanhas. Estes últimos poços e seus respectivos valores máximos são: PT100 (1,28mg/l), PT110(1,1mg/l), PT12(7,28mg/l), PT123(4,45mg/l), PT126 (0,60mg/l), PT127(0,43mg/l), PT132 (2,6mg/l), PT22(0,43mg/l), PT26(3,15mg/l), PT5 (2,57mg/l), PT66(1,36mg/l), PT67 (1,7mg/l), PT70 (0,88mg/l), PT91 (1,15mg/l), PT93 (1,65mg/l).

Ressalta-se que não houve variabilidade sazonal para os valores encontrados e, 69% dos poços que apresentaram valores anômalos e que possuíam informações sobre o perfil construtivo são constituídos de filtros de aço galvanizado.

Demais parâmetros analisados como Manganês, Sódio, Cloretos, Sulfatos, Nitratos, Nitritos e Sólidos Totais Dissolvidos estão dentro dos limites de potabilidade, (Portaria 518 MS, 03/2004). Apesar de não terem sido avaliados parâmetros bacteriológicos, a presença de nitritos e nitratos em baixa concentração sugere que não há indícios de contaminação por matéria orgânica ou adubos nitrogenados.

Devido a grande quantidade de parâmetros analisados, verificou-se a necessidade de compor matrizes de correlação de parâmetros visando estabelecer quais as variáveis que mantinham algum grau de interdependência, ver tabelas apresentadas a seguir:

Tabela 4. Matriz de Correlação dos parâmetros analisados na primeira campanha de campo (10/2005).

	pH	CE	TDS	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Al	NO ₂
PH	1,00														
CE	0,72	1,00													
TDS	0,67	0,98	1,00												
Na	0,06	-0,02	-0,04	1,00											
K	-0,10	-0,04	0,00	0,34	1,00										
Mg	0,61	0,87	0,92	-0,08	-0,06	1,00									
Ca	0,69	0,97	0,99	-0,03	-0,06	0,91	1,00								
Mn	-0,03	0,00	0,00	-0,06	-0,04	-0,05	-0,07	1,00							
Fe	0,13	0,04	-0,05	-0,01	-0,07	-0,10	-0,10	0,56	1,00						
Cl	0,65	0,94	0,98	-0,06	-0,06	0,91	0,98	0,04	-0,07	1,00					
SO ₄	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,00				
HCO ₃	0,69	0,97	0,99	-0,10	-0,09	0,93	0,99	-0,02	-0,06	0,98*		1,00			
NO ₃	0,20	-0,01	-0,06	0,13	0,03	-0,16	-0,09	0,32	0,58	-0,10*		-0,07	1,00		
Al	0,00	-0,07	-0,06	0,36	-0,06	-0,07	-0,06	-0,05	-0,09	-0,09*		-0,06	-0,11	1,00	
NO ₂	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,00

Tabela 5. Matriz de Correlação dos parâmetros analisados na segunda campanha de campo em 12/2005.

	pH	Cond	TDS	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Al	NO ₂
pH	1,00														
Cond	0,66	1,00													
TDS	0,68	0,99	1,00												
Na	-0,04	0,03	0,03	1,00											
K	0,38	0,40	0,40	0,15	1,00										
Mg	0,45	0,80	0,83	-0,09	0,10	1,00									
Ca	0,64	1,00	0,99	0,03	0,41	0,83	1,00								
Mn	0,57	0,59	0,61	-0,14	-0,08	0,69	0,58	1,00							
Fe	0,52	0,20	0,17	-0,04	-0,09	-0,02	0,14	0,52	1,00						
Cl	0,15	-0,20	-0,17	0,13	-0,15	-0,17	-0,22	0,25	0,38	1,00					
SO ₄	-0,01	-0,02	-0,05	-0,01	-0,04	-0,04	-0,01	-0,08	0,05	0,17	1,00				
HCO ₃	0,65	0,99	0,98	0,05	0,40	0,77	0,99	0,56	0,19	-0,24	-0,03	1,00			
NO ₃	0,58	0,85	0,87	0,00	0,62	0,83	0,88	0,52	0,00	-0,23	-0,06	0,83	1,00		
Al	*	*	*	*										1,00	
NO ₂	*	*	*												1,00

Tabela 6. Matriz de Correlação dos parâmetros analisados na terceira campanha de campo em 05/2006

	PH	Cond	TDS	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Cl	SO4	HCO3	NO3	Al
pH	1,00													
Cond	0,54	1,00												
TDS	0,54	1,00	1,00											
Na	0,16	0,19	0,19	1,00										
K	0,51	0,72	0,72	0,23	1,00									
Mg	0,45	0,94	0,94	0,10	0,75	1,00								
Ca	0,49	0,97	0,97	0,12	0,78	0,99	1,00							
Mn	0,34	0,05	0,05	0,29	0,32	-0,10	-0,04	1,00						
Fe	0,35	0,07	0,07	0,36	0,30	-0,08	-0,03	0,94	1,00					
Cl	0,48	0,81	0,81	0,13	0,64	0,71	0,74	0,37	0,30	1,00				
SO4	0,42	0,87	0,87	0,09	0,77	0,92	0,92	0,02	0,09	0,65	1,00			
HCO3	0,54	1,00	1,00	0,19	0,74	0,95	0,98	0,06	0,08	0,80	0,88	1,00		
NO3	-0,12	-0,03	-0,03	-0,11	-0,01	-0,08	-0,07	0,10	0,17	0,08	0,03	-0,01	1,00	
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
PO4	0,18	0,25	0,25	0,53	0,03	-0,02	0,09	0,17	0,28	0,09	0,04	0,21	0,01	0,00
NO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 7 – Matriz de Correlação dos parâmetros analisados na quarta campanha de campo em 11/2006.

	PH	Cond	TDS	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Cl	SO4	HCO3	Al	NO3	NO2
pH	1,00														
Cond	0,71	1,00													
TDS	0,69	1,00	1,00												
Na	0,08	0,03	0,04	1,00											
K	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00										
Mg	0,54	0,89	0,90	-0,12	0,00	1,00									
Ca	0,61	0,91	0,92	-0,16	0,00	0,97	1,00								
Mn	0,17	-0,05	-0,06	0,24	0,00	-0,03	-0,04	1,00							
Fe	0,33	0,21	0,18	-0,10	0,00	0,03	0,07	0,37	1,00						
Cl	0,60	0,77	0,77	0,11	0,00	0,73	0,75	0,33	0,26	1,00					
SO4	0,45	0,80	0,81	0,28	0,00	0,79	0,71	-0,11	-0,06	0,65	1,00				
HCO3	0,61	0,90	0,91	0,03	0,00	0,91	0,92	0,14	0,08	0,87	0,75	1,00			
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00		
NO3	0,33	0,41	0,40	-0,12	0,00	0,26	0,42	0,08	0,27	0,42	-0,05	0,43	0	1,00	
NO2		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,00

Nota-se que para todas as campanhas houve um alto grau de correlação entre a Condutividade Elétrica e o TDS, como esperava-se, além dos parâmetros Ca e HCO₃, e em menor proporção o Mg. Ressalta-se que o cloreto apresentou-se com um alto grau de interdependência com a CE apenas na primeira campanha variando consideravelmente nas demais. Destaca-se ainda a boa correlação entre os íons Ca, Mg e Bicarbonatos. Apenas na terceira campanha foi constatada a correlação entre o sulfato e os íons Ca e Mg, e entre o Ferro e o Manganês.

Foi utilizado o Diagrama de Piper para a classificação das águas subterrâneas, ver figura 12 abaixo. Observa-se que para as quatro campanhas de amostragem as águas podem ser classificadas como ora mista ora bicarbonatada Cálcica ou Magnésiana.

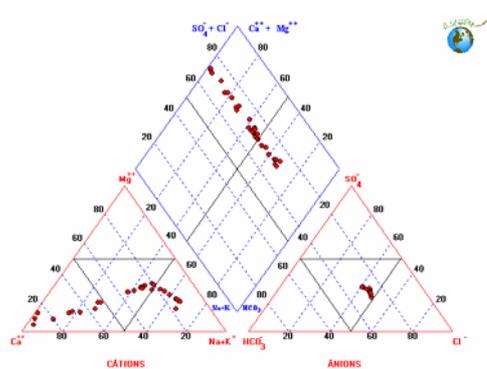


Diagrama de Piper – Campanha 4 – Águas Subterrâneas

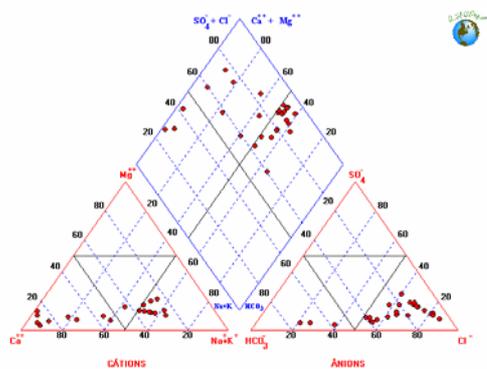


Diagrama de Piper – Campanha 3 – Águas Subterrâneas

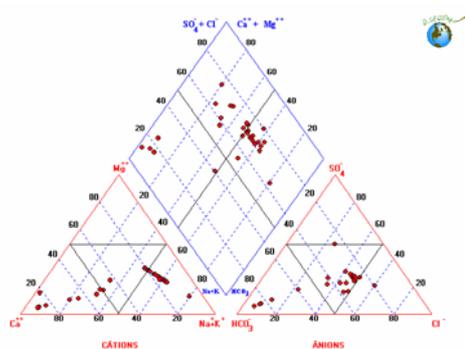


Diagrama de Piper – Campanha 2 – Águas subterrâneas

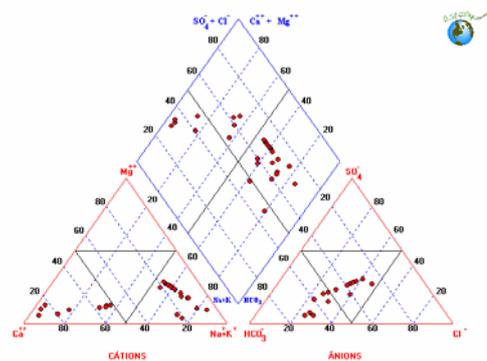


Diagrama de Piper _ Campanha 1 – Águas Subterrâneas

Figura 11 - Diagramas de Piper para as amostras de água subterrânea nas quatro campanhas realizadas

Considerando o percentual dos íons em miliequivalente por litro das quatro campanhas realizadas o resultado encontrado foi:

Campanhas	Ânions	Cátions
1 e 3		$\text{Ca}^{++} > \text{Na}^{+} > \text{Fe} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^{+}$
2 e 4		$\text{Ca}^{++} > \text{Fe} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}$
1 e 2	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-} > \text{NO}_3^{-}$	
3 e 4	$\text{Cl}^{-} > \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-} > \text{NO}_3^{-}$	

Nas campanhas 1 e 2 pode-se dizer que trata-se de uma água bicarbonatada Cálcica, já nas campanhas 3 e 4 predomina o tipo cloretada Cálcica.

1.3.2 - Águas superficiais

Os elementos químicos analisados e os procedimentos de análise laboratorial e de campo foram os mesmos empregados para as amostras de água subterrânea, inclusive os limites de detecção dos métodos analíticos. A tabela 8, apresentada a seguir mostra os valores médios, mínimos, máximos e o desvio padrão para os diversos elementos analisados.

Tabela 8. Valores Médios, Mínimos e Máximos dos parâmetros analisados nas amostras de água superficial, dados em mg/l.

	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				pH				STD			
	1ª.	2ª.	3a	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a	4a.
Média	4,30	5,99	9,86	5,10	4,88	5,13	6,03	5,77	4,60	7,40	5,33	—
Mín.	3,00	4,28	5,50	3,63	4,20	4,72	5,36	5,37	<4	4,00	<4	<4
Máx.	5,50	6,93	21,00	5,99	5,60	5,72	6,56	6,41	5,00	12,00	8,00	<4
Desvio padrão	1,20	1,10	5,74	0,88	0,51	0,45	0,46	0,36	0,55	2,97	1,51	—

Ca total (mg/l)				Mg total (mg/l)				Na total (mg/l)				K total (mg/l)			
1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4ª.
0,19	0,20	0,22	1,06	—	—	0,04	2,29	0,29	0,24	0,19	0,77	—	0,32	0,14	1,04
<0,1	<0,1	<0,1	0,19	<0,1	<0,1	0,03	<0,1	0,15	0,13	0,10	0,11	<0,3	<0,3	<0,1	<0,3
0,30	0,32	0,40	4,78	<0,1	<0,1	0,06	13,20	0,48	0,37	0,32	2,39	<0,3	0,40	0,22	4,74
0,09	0,09	0,10	1,83	—	—	0,07	5,34	0,13	0,10	0,07	0,87	—	0,04	0,05	1,81

	HCO ₃ ⁻ (mg/l)				Cl ⁻ (mg/l)				NO ₃ ⁻ (mg/l)				SO ₄ ⁻² (mg/l)				PO ₄ (mg/l)		
	1 ^a .	2a.	3a.	4a.	1 ^a .	2a.	3a.	4 ^a .	1 ^a .	2a.	3a.	4a.	1 ^a .	2a.	3a.	4a.	1a.	3a.	4a.
Média	2,56	-	1,18	-	-	2,36	5,13	-	0,24	-	0,5	-	-	-	1,2	-	-	-	0,075
Mín.	<2,5	<2,5	<1	<2,5	<2	<2	3,3	<2	0,22	<0,2	<0,2	<0,2	<2	<2	1,1	<2	<0,07	<0,02	<0,07
Máx.	2,8	<2,5	2	<2,5	<2	2,9	11	<2	0,26	<0,2	1,6	<0,2	<2	<2	1,4	<2	<0,07	<0,02	0,1
Desvio padrão	0,13	-	0,4	-	-	0,42	3,01	-	0,02	-	0,56	-	-	-	0,11	-	-	-	0,012

	Al total (mg/l)				Mn total (mg/l)				Fe total (mg/l)			
	1a.	2a.	3 ^a .	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.	1a.	2a.	3a.	4a.
Média	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,10	0,15	0,06	0,15
Mín.	<0,3	<0,3	<0,1	<0,3	<0,04	<0,04	<0,01	<0,04	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1
Máx.	<0,3	<0,3	<0,1	<0,3	<0,04	<0,04	<0,01	0,08	0,11	0,19	0,09	0,25
Desvio padrão	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,004	0,04	0,02	0,06

Além dos parâmetros acima descritos, foi analisado nas duas primeiras campanhas de campo, o nitrito, que apresentou valores abaixo do limite de detecção do método (0,15 mg/l) para todas as amostras coletadas.

A partir dos valores encontrados observa-se que a salinidade das águas das bacias do Arrojado e Formoso é baixíssima, com condutividade elétrica variando entre 3,0 e 6,93 µS/cm, sendo que apenas uma medida apresentou um valor anômalo de 21 µS/cm, e Sólidos Totais Dissolvidos variando entre <4 e 12 mg/l. Pode-se dizer que o valor médio aceitável para as águas da região está entre 4,3 e 5,99 µS/cm de condutividade elétrica e 5,3 mg/l de STD. Trata-se de águas ácidas com pH médio variando entre 4,88 e 6,03.

Quanto à potabilidade, avaliando-se apenas os parâmetros analisados, pode-se dizer que as águas superficiais encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela portaria 518 MS,03/2004 .

1.3.3 - Água de Chuva

Foi realizada a amostragem de um evento de chuva ocorrido entre os dias 12/12/05 e 13/12/05, tendo sido coletada do pluviômetro (favorecendo à análise da deposição úmida) instalado na fazenda Tropeiro Velho, ver anexo 2. Os valores de pH e condutividade foram de respectivamente 6,45 e 3,48 $\mu\text{s}/\text{cm}$, o resultado para os demais parâmetros está apresentado na tabela abaixo:

Tabela 4.9. Resultado da análise físico-química da amostra de chuva coletada na Faz. Tropeiro Velho

SH01	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	Al	NO ₂
mg/l	0,18	<0,30	<0,1	<0,1	<0.04	<0.1	3,8	<2	<2.5	<2.5	0,41	<0,3	<0.15

Observa-se que os limites de detecção do método analítico foram elevados para a maioria dos parâmetros analisados e que a água de chuva é pouco ácida.

1.3.4 - Análise Isotópica

A composição isotópica das amostras de água é uma ferramenta bastante útil para investigar processos hidrológicos tanto nos sistemas subterrâneos quanto superficiais.

Foram medidas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada da UFBA as composições isotópicas do Deutério e Oxigênio-18 em 106 amostras de águas subterrâneas, superficiais e de chuva.

Os resultados mostram que todos os pontos amostrados apresentam características bastante similares. Comparando-se com a Linha Meteórica Global (LMG), ver gráfico das figuras abaixo, observa-se que os valores obtidos estão distantes dessa linha, indicando não serem de origem puramente de precipitação. A presença dos dados de águas superficiais posicionadas no mesmo grupo das águas subterrâneas corrobora com a posição de que nos meses secos toda a contribuição das águas superficiais provém do fluxo de base subterrâneo.

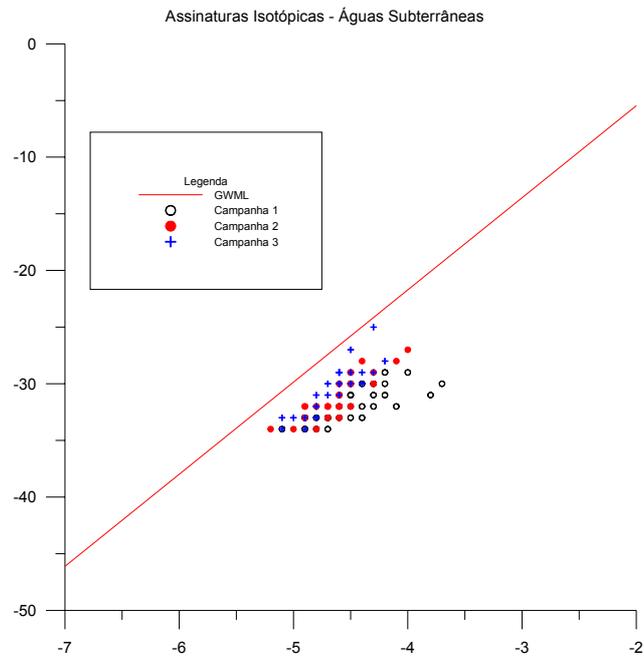


Figura 12 - Valores de Deutério e O das amostras de água subterrânea coletadas nas três primeiras campanhas de campo

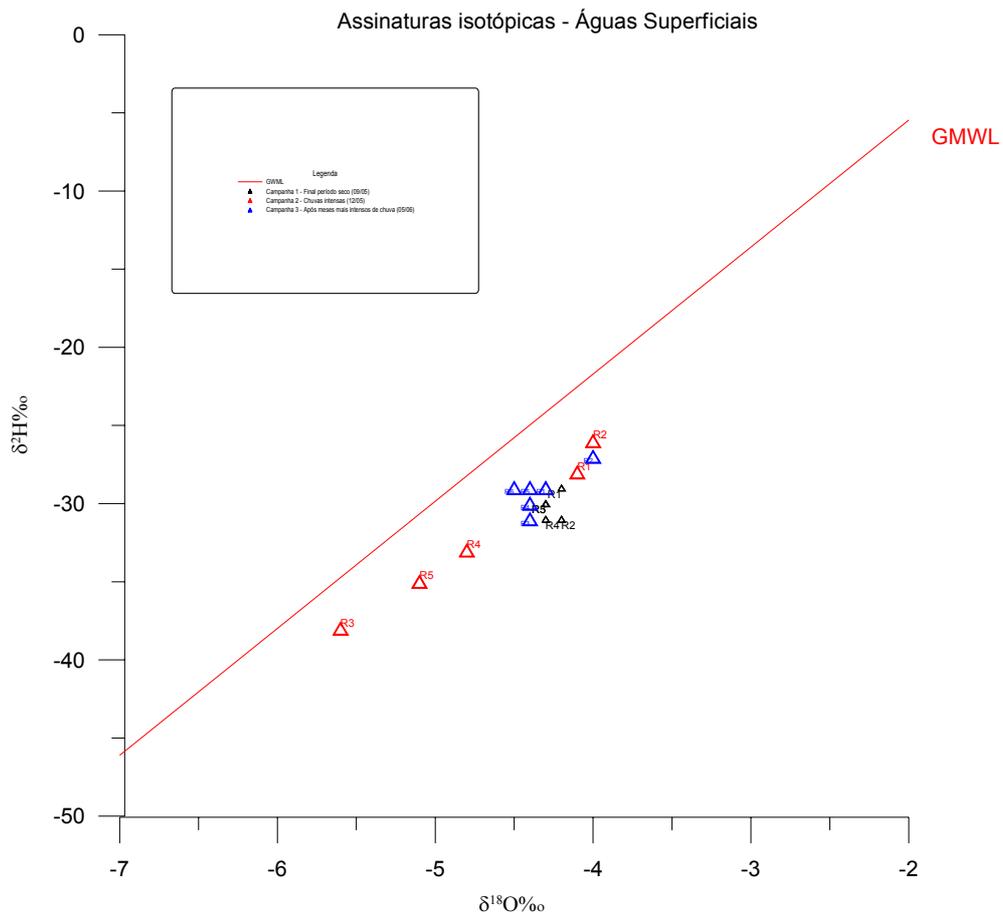


Figura 13 - Valores de Deutério e O das amostras de águas superficiais coletadas nas três primeiras campanhas de amostragem

2. VULNERABILIDADE DO AQUIFERO

Autores: Dra. Joana Angélica Guimarães da Luz – UFBA; MSc Leanize Teixeira Oliveira - CPRM

Nas últimas décadas tem sido crescente a preocupação da sociedade com os problemas de degradação dos recursos hídricos subterrâneos. A grande dependência em relação ao uso das águas subterrâneas como meio de abastecimento público e produção econômica tem forçado os governos a estabelecer programas efetivos de proteção da qualidade das águas dos aquíferos ou remediação de áreas contaminadas. Adicionalmente, os responsáveis pelo manejo dos recursos hídricos estão cada vez mais conscientes das limitações técnicas, econômicas, assim como a falta de disponibilidade de especialistas para resolver problemas de contaminação existentes, sobretudo nos países em desenvolvimento. Esta situação tem mostrado que é muito mais interessante proteger os aquíferos que remedia-los. Como resultado, nota-se uma popularização do uso das técnicas de manejo de vulnerabilidade, frente à problemas de contaminação, como uma ferramenta para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

Qualquer área urbana ou rural apresenta uma complexa ocupação, com a presença de várias atividades potencialmente contaminantes. Os programas de proteção das águas subterrâneas, em que se tentam controlar ou monitorar todas as atividades, são pouco viáveis economicamente e sua aplicação apresenta restrições econômicas, administrativas e sociais. Então, a melhor estratégia de proteção deve envolver:

- a) A identificação de áreas que necessitam de maior atenção ambiental ou atividades que representem maior ameaça a qualidade das águas subterrâneas, com a finalidade de dirigir a elas os recursos técnicos e financeiros de órgãos de controle ambiental, em estudos de detalhes e aplicação de programas de monitoramento;
- b) O condicionamento da vulnerabilidade da zona não saturada, que pode reduzir os custos e exigências ambientais para a instalação de novas atividades;
- c) O controle de ocupação das áreas mais sensíveis a contaminação de aquíferos;
- d) A proteção de mananciais subterrâneos importantes, que são ou serão utilizados para o abastecimento público.

O conceito de vulnerabilidade ainda denota incertezas no contexto da poluição das águas subterrâneas. Frequentemente, o termo “vulnerabilidade à poluição” é usado com um sentido composto que, talvez, pudesse melhor ser descrito como “risco de poluição”.

De acordo com as conclusões e recomendações da conferência internacional sobre “Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants” realizada nos Países Baixos, no ano de 1987 (Duijvenbooden & Waegeningh, 1987), a vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas pode ser definida como a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero.

Assim, é possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente, ou de haver risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo. É importante precisar a diferença entre vulnerabilidade e risco de poluição. O risco é causado não apenas pelas características intrínsecas do aquífero, mas também pela existência de atividades poluentes, fator dinâmico que, em princípio, pode ser controlado.

Dentre os métodos existentes para determinação do índice de vulnerabilidade de um aquífero, dois são mais utilizados, o primeiro é o GOD (Foster, 1987; Foster & Hirata, 1988), que leva em conta os seguintes parâmetros:

- Ocorrência das águas subterrâneas (Groundwater occurrence);
- Características do aquífero (Overall aquifer class);
- Profundidade do nível freático (Depth to groundwater Table).

O segundo é o DRASTIC que se constitui num sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos a partir de dados decodificados em planos de informações e é um dos índices de vulnerabilidade mais difundido atualmente. Esta metodologia foi desenvolvida pela National Ground Water Association, e é empregada pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (US-EPA), constituindo-se num modelo qualitativo para avaliar a poluição potencial das águas subterrâneas usando variáveis hidrogeológicas da região em estudo (ALLER et al., 1987). Este modelo foi desenvolvido para avaliar áreas maiores que 0,4 Km². As variáveis, ou fatores, arrolados neste modelo são:

- D - Profundidade das águas subterrâneas (**D**ePTH to groundwater);
- R - Recarga devido a chuva (**R**echarge);
- A - Meio aquífero (**A**quifer media);
- S - Solos (**S**oil media);

- T - Topografia (Topography);
- I - Impacto na zona vadoza (Impact of the vadose zone);
- C - Condutividade hidráulica (Conductivity hydraulic).
-

No caso do aquífero Urucuia na área das bacias dos rios Formoso e Arrojado, estes dois métodos não puderam ser aplicados por dois motivos, a escala de trabalho não permitiu a utilização de nenhum dos métodos, uma vez que o aquífero apresenta características bastante homogêneas para a escala disponível de mapeamento de solos, vegetação e outros índices que devem ser considerados nessas metodologias.

Quanto ao risco de contaminação, por se tratar de uma área essencialmente agrícola, com a inexistência de aglomerados urbanos, não existindo portanto problemas relacionados a esgotamento, resíduos sólidos e postos de combustível, que são os problemas de contaminação mais comuns em áreas urbanas.

Os riscos de contaminação na bacia estão relacionados principalmente às atividades agrícolas, através do uso de agrotóxicos e fertilizantes, uma vez que a prática de agricultura extensiva é utilizada em toda a bacia. Nesse caso como a fonte de poluição é não pontual, é difícil estabelecer-se áreas mais vulneráveis à contaminação no ponto de conhecimento do aquífero que foi alcançado até o momento. É necessário um detalhamento maior do aquífero para que se possa fazer um mapa de vulnerabilidade e risco de contaminação.

3. CONCLUSÕES

A partir das análises feitas é possível comprovar a característica principal das águas subterrâneas e superficiais da região de baixa mineralização e boa potabilidade. Trata-se de águas de boa qualidade para abastecimento humano, dessedentação de animais e para irrigação.

Os resultados encontrados para os íons Ferro total muito provavelmente estão relacionados às características construtivas do poço, poços geralmente mais antigos construídos com aço galvanizado. Os valores anômalos da primeira campanha para o parâmetro alumínio, não tendo sido comprovados nas campanhas subseqüentes, podem ser resultado de contaminação em alguma fase da amostragem.

Destaca-se que não foi identificado um comportamento sistemático do ponto de vista das variações sazonais, sendo que para projetos de pesquisas posteriores é importante diminuir o limite

de detecção dos métodos analíticos empregados e aumentar o número de parâmetros a serem analisados, principalmente no que diz respeito à avaliação de possíveis contaminações por agrotóxicos e fertilizantes utilizados na agricultura local.

A alta correlação da condutividade com o cálcio e Magnésio pode estar associada também a problemas construtivos do poço, uma vez que já foi detectado na região a prática inadequada de uso de brita de calcário como pré-filtro, contudo requer ainda de maior investigação.

Os resultados das análises isotópicas demonstram claramente a participação do aquífero Urucuia como alimentador das drenagens superficiais nos períodos secos. Contudo foi constatado a necessidade de complementação dos estudos com a utilização de um número maior de pontos de amostragem e de tempo de monitoramento.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aller, L. , Bennet, T. , Lehr, J.H. , Petty, R.J. , Hacket, G. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrological settings. Preparado por National water well association para US EPA Office of Research and Development, Ada, USA, 1987.
- BAHIA. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Corrente: Documento Síntese. Salvador: 1995.
- Bomfim, L.F.C. & Gomes, R. A. D. AQUÍFERO URUCUIA – GEOMETRIA E ESPESSURA: IDÉIAS PARA DISCUSSÃO. In Cong. Brás. De águas subterrâneas. Cuiabá, Anais. 9p.
- CAMPOS, J. E. G. & DARDENNE, M. A.: Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. Revista Brasileira de Geociência, 27(3), p.269-282, 1997.
- Campos,J.E.G.; Dardenne,M.A. 1997. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. In: SNET-Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 6, Pirenópolis/ GO,1997,SBG. Resumos:159-161.
- CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES & DARDENNE, MARCEL AUGUSTE - Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. Revista Brasileira de Geociências 27(3):283-294, setembro de 1997.
- Campos,J.E.G.; Dardenne,M.A. 1999. Distribuição, Estratigrafia e Sistemas Depositionais do Grupo Urucuiá – Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. Geociências, São Paulo (1999), 18(2):481-499.
- CAMPOS, JOSE ELOI GUIMARAES; DARDENNE, MARCEL AUGUSTE- Distribuição, Estratigrafia e Sistemas Depositionais do Grupo Urucuiá - Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana.GEOCIENCIAS,18(2):481- 499, JUL/DEZ.1999.
- Campos, J.E.G & DARDENNE,M.A.Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997.
- CAMPOS, J. E. G. & DARDENNE, M. A.: Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. Revista Brasileira de Geociência, 27(3), p.269-282, 1997.
- Campos,J.E.G.; Dardenne,M.A. 1997. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. In: SNET-Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 6, Pirenópolis/ GO,1997,SBG. Resumos:159-161.
- CAMPOS, JOSÉ ELOI GUIMARÃES & DARDENNE, MARCEL AUGUSTE - Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. Revista Brasileira de Geociências 27(3):283-294, setembro de 1997.
- Campos,J.E.G.; Dardenne,M.A. 1999. Distribuição, Estratigrafia e Sistemas Depositionais do Grupo Urucuiá – Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana. Geociências, São Paulo (1999), 18(2):481-499.
- CAMPOS, JOSE ELOI GUIMARAES; DARDENNE, MARCEL AUGUSTE- Distribuição, Estratigrafia e Sistemas Depositionais do Grupo Urucuiá - Cretáceo Superior da Bacia Sanfranciscana.GEOCIENCIAS,18(2):481- 499, JUL/DEZ.1999.

- Foster, S. , Ventura, M. , Hirata, R. Contaminação de las águas Subterraneas. Organização Mundial de la Salud, Organização Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Peru, 1987.
- FOSTER, S.S.D.A e HIRATA, R.C.A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1998. 78p.
- FOSTER, S.S.D.; MORRIS, B.L.; LAWRENCE, A.R. e CHILTON, P.J. Groundwater impacts and issues in developing cities – an introductory review. In Proceedings of the IHA XXVII Congress “Groundwater in the urban environment”. Nottingham/Sept, 1999). II/IAH international contributions of hydrogeology, 1999, (Vol. 21, pp. 3 – 18).
- FOSTER, S. S. D. – 1987 – Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability Pollution Risk and Protection Strategy. Noordwijk – Holanda.
- FOSTER, S. S. D e HIRATA, R. C. A – 1993 – Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: Um Método Baseado em Dados Existentes. São Paulo – Instituto Geológico, P. il., tabs. 23 cm (Boletim, 10).
- Lopes, R.C. Relatório de viagem do Projeto Urucuia. Relatório Interno da CPRM. Inédito. 2006.
- MONTEIRO, ADSON B., COSTA, W. D., LIMA FILHO, M. e BARBOSA, DAYSE LUNA 2002 – Hidrogeologia e Gestão do Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – ABAS, Florianópolis.
- Morais Filho, João Cardoso R. Programa de Levantamento Geológico Básico do Brasil. Coribe. Folha SD.23-X-C-V. Estado da Bahia. 1:100.000. Brasília, CPRM.1977.80p.il. mapa.
- National Research Council. Groundwater Vulnerability. Assessment: Predicting Relative Contamination Potential under Conditions of Uncertainty. National Academy Press, WASHINGTON, DC, USA , 1993.
- Sgarbi, G.N.C.; Sgarbi, P.B.A.; Campos, J.E.G.; Dardenne, M.A.; Penha, U.C. 2001. Bacia Sanfranciscana: o registro Fanerozóico da bacia do São Francisco. In: Bacia do São Francisco- Geologia e Recursos Naturais, 1a. ed. Belo Horizonte, SBG, 2001.
- Spigolon, A.L.D.; Alvarenga, C.J.S. Superfície Urucuia: Um limite de seqüência que separa o sistema eólico do sistema fluvial-eólico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, 2002, João Pessoa. Anais... João Pessoa: SBG, 2002. p.681-691.
- Spigolon, A.L.D.; Alvarenga, C.J.S. 2002. Supersuperfície Urucuia: Um limite de sequência que separa o sistema eólico do sistema fluvial-eólico. n: Congresso Brasileiro de Geologia, 41, 2002, João Pessoa, SBG Nucleo Nordeste. Anais: 691-681.
- Spigolon, A.L.D.; Alvarenga, C.J.S. 2002. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana, Brasil. Revista Brasileira de Geociências (2002), 32(4): 397 - 405.
- Spigolon, A.L.D.; Alvarenga, C.J.S. 2002. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana,

Brasil. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 6- Simposio sobre el Cretácico de America del Sur, 2, 2002, São Pedro-SP. Boletim, 1: 367 - 373.