



Universidade Federal do Ceará  
Centro de Ciências  
Departamento de Geologia

**IMPACTOS DA OCUPAÇÃO URBANA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS NA FAIXA COSTEIRA DO MUNICÍPIO DE  
CAUCAIA - CEARÁ.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HIDROGEOLOGIA**

**ROBÉRIO BÔTO DE AGUIAR**

**Dissertação apresentada e defendida  
publicamente no dia 27 de outubro de  
1999, diante do júri abaixo assinalado.**

**Presidente (Orientador): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago**

**Membros: Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo**

**Prof<sup>ª</sup>. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos**

**Fortaleza, Ce - 1999**



Universidade Federal do Ceará  
Centro de Ciências  
Departamento de Geologia

**IMPACTOS DA OCUPAÇÃO URBANA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS NA FAIXA COSTEIRA DO MUNICÍPIO DE  
CAUCAIA - CEARÁ.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: HIDROGEOLOGIA**

**ROBÉRIO BÔTO DE AGUIAR**

**Dissertação apresentada e defendida  
publicamente no dia 27 de outubro de  
1999, diante do júri abaixo assinalado.**


**Presidente (Orientador): Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago**

**Membros: Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo  
Prof<sup>a</sup>. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos**

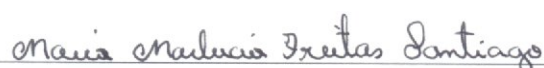
**Fortaleza, Ce - 1999**

Esta dissertação intitulada **Impactos da ocupação urbana na qualidade das águas subterrâneas na faixa costeira de Caucaia - Ceará**, foi submetida como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Geologia, na Área de Concentração de Hidrogeologia, do aluno **Robério Bôto de Aguiar**, em 27 de outubro de 1999, outorgado pela Universidade Federal do Ceará e encontra-se a disposição dos interessados em sua Biblioteca Central.

A citação de qualquer trecho desta tese é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

  
Robério Bôto de Aguiar

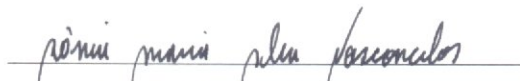
Dissertação aprovada com louvor em 27 de outubro de 1999



Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago  
Orientadora



Dr. Plínio Barbosa de Camargo  
Prof. do CENA/USP

  
Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos  
Prof.<sup>a</sup> do Depto. Geologia/UFC

*Em memória ao meu pai Francisco de Aguiar.*

*À minha mãe Luiza Bôto,*

*minha esposa Lúcia e*

*minha filha Heloísa.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora Maria Marlúcia Freitas Santiago, do Departamento de Física/UFC, pela excelente orientação, a grande paciência e a incansável dedicação em transmitir seus conhecimentos.

Aos Professores Josué Mendes Filho, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Física/UFC e Horst Frischkorn, do Departamento de Engenharia Hidráulica/UFC, pela valorosa e indispensável ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Aos Professores do Departamento de Geologia/UFC, na pessoa do Professor Clovis Vaz Parente, ex - Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Geologia e do Professor George Satander Sá Freire, atual Coordenador, pelo constante incentivo e colaboração na conclusão desse Curso.

À Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Maranhão, através da Coordenação de Projetos Especiais, por permitir meu afastamento para realização do Mestrado no DEGEO/UFC.

Ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, pela rapidez e eficiência na realização das análises isotópicas.

Ao Laboratório de Controle da Qualidade, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - Cagece, na pessoa do Eng. Químico Ednard Fonteles Freitas e da Química Marlyde de Sousa Lima, pelas análises químicas e bacteriológicas realizadas e pela atenção dispensada.

À Prefeitura Municipal de Caucaia, através da Fundação de Meio Ambiente, pelo apoio durante a etapa de cadastramento dos pontos d'água.

À CAPES e a Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa e Cultura pelo apoio financeiro na realização deste Curso de Mestrado.

Ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM, através de sua Residência em Fortaleza, pelo apoio indispensável na elaboração desta dissertação.

À Professora Carla Maria Salgado Vidal Silva e a Técnica Maria do Carmo Germano (Carminha), do Laboratório de Carbono-14/UFC, pela amizade, colaboração e apoio prestado.

Aos colegas do Curso de Mestrado/UFC pelo apoio e amizade, incentivando-me na conclusão desta dissertação.

À todas as pessoas e instituições que de alguma forma colaboraram para o êxito deste trabalho.

# SUMÁRIO

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

RESUMO

ABSTRACT

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - ÁREA DE TRABALHO.....	4
2.1 - ASPECTOS GERAIS.....	4
2.2 - CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	6
2.3 - GEOMORFOLOGIA.....	8
2.4 - GEOLOGIA.....	9
2.5 - RECURSOS HÍDRICOS.....	16
2.5.1 - Águas Superficiais.....	16
2.5.2 - Águas Subterrâneas.....	17
3 - HIDROQUÍMICA, ISÓTOPOS AMBIENTAIS E BACTERIOLOGIA DAS ÁGUAS.....	21
3.1 - HIDROQUÍMICA.....	21
3.2 - ISÓTOPOS AMBIENTAIS.....	22
3.3 - BACTERIOLOGIA DA ÁGUA.....	27
3.3.1 - Bactérias Autrótofas.....	28
3.3.2 - Bactérias Patogênicas .....	30
3.3.3 - Oxigênio Consumido .....	32

4 - METODOLOGIA.....	33
4.1 - TRABALHO DE CAMPO.....	34
4.2 - ANÁLISES DE LABORATÓRIO.....	35
4.2.1 - Concentração dos Elementos Maiores.....	35
4.2.2 - Análise Bacteriológica.....	36
4.2.3 - Análise Isotópica.....	36
4.3 - BALANÇO IÔNICO E ERRO PERCENTUAL.....	37
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 - POÇOS MONITORADOS.....	44
5.2 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	46
5.3 - pH.....	47
5.4 - CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA.....	48
5.5 - CORRELAÇÕES ENTRE IONS E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	60
5.6 - ÁGUAS CLORETADAS SÓDICAS.....	67
5.7 - ÁGUAS BICARBONATADAS.....	72
5.8 - ISÓTOPOS ESTÁVEIS.....	74
5.9 - PARÂMETROS BIOQUÍMICOS.....	78
5.10 - ELEMENTOS MENORES.....	82
6 - CONCLUSÕES.....	86
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

## FIGURAS

<b>FIGURA 1.1</b> - Fotos das praias (a) do Icarai e (b) do Cauipe.....	3
<b>FIGURA 2.1</b> - Mapa de localização da área de trabalho.....	5
<b>FIGURA 2.2</b> - Precipitações médias históricas mensais de Caucaia.....	7
<b>FIGURA 2.3</b> - Mapa geológico da área de trabalho.....	10
<b>FIGURA 2.4</b> - Mapa hidrogeológico da área de trabalho.....	18
<b>FIGURA 5.1</b> - Mapa de localização dos pontos amostrados.....	43
<b>FIGURA 5.2a</b> - Soma dos cátions em função da soma dos ânions das amostras coletadas em setembro/98.....	56
<b>FIGURA 5.2b</b> - Soma dos cátions em função da soma dos ânions das amostras coletadas junho/99.....	57
<b>FIGURA 5.3a</b> - Diagrama de Piper das amostras d'água coletadas em setembro/98.....	58
<b>FIGURA 5.3b</b> - Diagrama de Piper das amostras d'água coletadas em junho/99.....	59
<b>FIGURA 5.4a</b> - Cloretos em função da condutividade elétrica nas amostras d'água coletadas em setembro/98.....	61
<b>FIGURA 5.4b</b> - Cloretos em função da condutividade elétrica nas amostras d'água coletadas em junho/99.....	62
<b>FIGURA 5.5a</b> - Sódio em função da condutividade elétrica das amostras d'água coletadas em setembro/98.....	63
<b>FIGURA 5.5b</b> - Sódio em função da condutividade elétrica das amostras d'água coletadas em junho/99.....	64

<b>FIGURA 5.6a</b> - Sódio em função dos cloretos das amostras d'água coletadas em setembro/99.....	65
<b>FIGURA 5.6b</b> - Sódio em função dos cloretos das amostras d'água coletadas em junho/99.....	66
<b>FIGURA 5.7</b> - Histograma das razões $rCl^-/rNa^+$ das amostras coletadas em (a) setembro/98 e (b) junho/99.....	68
<b>FIGURA 5.8</b> - Histograma das razões $rMg^{++}/rCa^{++}$ das amostras coletadas em (a) setembro/98 e (b) junho/99.....	69
<b>FIGURA 5.9a</b> - Concentração de sódio em função da concentração de cloretos nas amostras coletadas em setembro/98.....	70
<b>FIGURA 5.9b</b> - Concentração de sódio em função da concentração de cloretos nas amostras coletadas em junho/99.....	71
<b>FIGURA 5.10a</b> - Concentração de $rCa^{++}$ em função da concentração de $rHCO_3^-$ nas amostras coletadas em setembro/98.....	72
<b>FIGURA 5.10b</b> - Concentração de $rCa^{++}$ em função da concentração de $rHCO_3^-$ nas amostras coletadas em junho/99.....	73
<b>FIGURA 5.11</b> - $\delta^{18}O$ versus condutividade elétrica nas amostras coletadas em fevereiro/99.....	76
<b>FIGURA 5.12</b> - $\delta D$ versus $\delta^{18}O$ nas amostras coletada em fevereiro/99.....	77
<b>FIGURA 5.13</b> - Tipos de bactérias e as quantidades encontradas nas coletas de setembro/98 e junho/99.....	80
<b>FIGURA 5.14</b> - Valores de Eh versus pH nas amostras coletadas em fevereiro/99.....	84

## TABELAS

<b>TABELA 2.1</b> - Coordenadas geográficas da área.....	4
<b>TABELA 5.1</b> - Tipo e localização dos pontos d'água amostrados em julho/98 na faixa costeira do município de Caucaia.....	39
<b>TABELA 5.2</b> - Profundidade, nível estático, condutividade elétrica e pH medidos nas quatro etapas de campo: julho e setembro/98, fevereiro e junho/99.....	45
<b>TABELA 5.3</b> - Condutividade elétrica e concentrações iônicas das amostras d'água coletadas em setembro/98.....	49
<b>TABELA 5.4</b> - Condutividade elétrica e concentrações iônicas das amostras d'água coletadas em junho/99.....	50
<b>TABELA 5.5</b> - Concentrações dos íons maiores em miliequivalente por litro das amostras d'água coletadas em setembro/98.....	52
<b>TABELA 5.6</b> - Concentrações dos íons maiores em miliequivalente por litro das amostras d'água coletadas em junho/99.....	53
<b>TABELA 5.7</b> - Medidas de oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica das amostras d'água coletadas em fevereiro/99.....	74
<b>TABELA 5.8</b> - Análises bacteriológica e de potabilidade das águas dos poços coletadas em setembro/98 e junho/99, na faixa costeira de Caucaia – Ce.....	78
<b>TABELA 5.9</b> - Concentrações dos elementos menores Fe, Al e Mn, Eh e ph dos pontos amostrados.....	82

## **QUADROS**

<b>QUADRO 3.1</b> - Limites de alguns parâmetros estabelecidos pela Resolução Nº 20/86, CONAMA, para as águas doces.....	32
<b>QUADRO 4.1</b> - Erro admissível nas análises dos íons maiores.....	37
<b>QUADRO 4.2</b> - Erro admissível nas análises dos íons maiores.....	38
<b>QUADRO 5.1</b> - Erro admissível nas análises dos íons maiores.....	55
<b>QUADRO 5.2</b> - Coeficientes de correlação entre cátions, ânions e condutividade elétrica de amostras d'água coletadas em setembro/98.....	60
<b>QUADRO 5.3</b> - Coeficientes de correlação entre cátions, ânions e condutividade elétrica de amostras d'água coletadas em junho/99.....	60

## **RESUMO**

Foi feita uma caracterização hidroquímica, isotópica e bacteriológica dos recursos hídricos subterrâneos no litoral de Caucaia, município que compõe a Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará, para identificar o efeito da ocupação urbana sobre este sistema. Em julho/98 foram cadastrados cem pontos com medidas de CE, pH, Eh e temperatura e selecionados quarenta poços para monitoramento realizado em três coletas, setembro/98, fevereiro/99 e junho/99, totalizando 80 análises físico-químicas, 71 análises bacteriológicas e 36 análises isotópicas, sendo, 26 amostras para oxigênio-18 e 10 para deutério. Os resultados mostram águas predominantemente bicarbonatadas mistas a cálcicas e cloretadas sódicas, independente do período climático e que a origem dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$  está associada a processos naturais como a deposição de aerossóis marinhos e a dissolução de carbonatos. Através das medidas isotópicas, foram identificadas águas provenientes de diferentes processos de recargas: recargas indiretas através de rios e lagoas; poços com infiltração direta e; águas com elevada salinidade por dissolução e não por processos de evaporação. Análises bacteriológicas das 71 amostras identificaram microrganismos indicadores de contaminação fecal em 52 amostras, predominando bactérias do tipo *Escherichia coli* e *Klebsiella*, o que evidencia a ausência de saneamento básico em toda área estudada. Os compostos nitrogenados, amônia, nitrito e nitrato, foram encontrados em todas as amostras e, em grande parte delas, acima dos valores máximos permissíveis, com a concentração de nitrato sempre maior que a do nitrito e da amônia, comprovando a existência de fonte de contaminação afastada do local de amostragem.

## **ABSTRACT**

An hydrochemical, isotopical and bacteriological characterization of groundwater resources was made in the coastal area of Caucaia that comprises the Metropolitan Area of Fortaleza - Ceará, in order to identify the effects of urban occupation. In July/98 a hundred collecting points were sampled for measuring CE, pH, Eh and temperature. Forty of these wells were selected to be sampled in three distinct campaigns; in September/98, February/99 and June/99, comprising 80 physical - chemical analyses, 71 bacteriological analyses and 36 isotopic analyses, of whom 26 for oxygen-18 and 10 for deuterium. Independent of climatic period, the results here shows waters predominantly mixed bicarbonate/mixed to calcic and of sodic/chlorite type. The origin of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  and  $\text{HCO}_3^-$  is associated with natural processes, such as deposition of marine aerosols and carbonate dissolution. Isotopic measurements were used to identify different water coming from different recharge processes: indirect recharge through rivers and ponds; as well as fast direct infiltration, and water of elevated salinity by dissolution (not by evaporation process). Bacteriologic analyses of the 71 samples have identified fecal contamination of 52 samples, prevailing bacterias of *Escherichia coli* and *Klebsiella* type, due to the absence of sanitation in the area. Ammonia, nitrite and nitrate, were found in all samples; a large part of them, above permissible maximum values, with nitrate concentration always higher than that of ammonia and nitrite, comproving that the source of pollution is distant from the sampling points.

## **1 - INTRODUÇÃO**

Desde os seus primórdios, o Brasil esteve voltado para o Oceano Atlântico. Os primeiros núcleos urbanos foram fundados na costa para servir de centros da administração colonial. As atividades econômicas para mandar matérias-primas para o mundo e dele receber manufaturados condicionaram a concentração da população no litoral. Durante os quatro séculos, porém, essa concentração foi pontual e segmentada, com as cidades entremeadas por extensas faixas de praias pouco habitadas.

Atualmente, segundo dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e da ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, a população costeira cresceu num ritmo 50% mais rápido do que a média brasileira desde 1970, o número de casas de veraneio aumentou 60% desde 1980 e a população explodiu. Com este crescimento foi gerado um déficit nas condições de infra-estrutura básica, pois são produzidos 225 milhões de litros por hora de esgoto e, apenas, 25% é tratado.

Essa ocupação do litoral brasileiro, incluindo o cearense, tem sido feita de forma desordenada, sem a observância de normas e critérios que garantam a conservação deste rico e frágil patrimônio, inclusive no aspecto de suas potencialidades econômicas. Outra consequência negativa desse crescimento, é a degradação qualitativa dos recursos hídricos superficiais, o que torna a água subterrânea uma reserva estratégica de abastecimento e decisiva no desenvolvimento político-sócioeconômico de qualquer região.

Na Região Metropolitana de Fortaleza, CAVALCANTE (1998) identificou as principais fontes de poluição oriundas do uso e ocupação do meio físico e da ausência de planejamento, capazes de influenciar a qualidade das águas subterrâneas e/ou superficiais. São

elas, a intrusão da cunha salina, os sistemas de esgotamento sanitário, as águas superficiais poluídas, a disposição de resíduos domésticos/industriais, os cemitérios e os poços mal construídos.

O risco de poluição por intrusão da cunha salina torna-se efetivo onde existem grandes quantidades de poços tubulares, localizados no sistema aquífero dunas/paleodunas e sendo operados de forma indiscriminada, conforme constataram MENEZES & ARAUJO (1988) na praia de Abreulândia, litoral leste de Fortaleza - Ce.

Também na Região Metropolitana de Fortaleza, VASCONCELOS et al. (1999) constataram a vulnerabilidade do sistema dunas/ paleodunas, através das flutuações nas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e oxigênio consumido, que estão associadas à poluição por fontes tais como fossas sépticas e depósitos de lixo.

A escolha do litoral de Caucaia para realização desse trabalho foi baseada no fato de possuir duas áreas contíguas e que apresentam níveis de uso e ocupação diferentes: Icaraí - Cumbuco, de intensa ocupação, com processos de degradação ambiental evidentes e; Cauípe, uma área praticamente virgem, de beleza cênica exuberante e onde medidas preventivas podem ainda ser tomadas para o planejamento do uso e ocupação.

Nestas áreas, além da ocupação desordenada do meio físico e da crescente expansão imobiliária, verifica-se a ausência de saneamento básico e de oferta d'água tratada, o que faz a população local recorrer, de forma indiscriminada, ao manancial subterrâneo para suprir suas necessidades hídricas e, às fossas sépticas e/ou negras para despejar seus esgotos.

Portanto, este trabalho se propõe a identificar o efeito dessa ocupação sobre os recursos hídricos subterrâneos, através da caracterização hidroquímica, isotópica e bacteriológica das águas, e contribuir com subsídios para uma política de utilização racional do meio físico e, conseqüentemente, das águas subterrâneas.





( a )



( b )

FIGURA 1.1 - Vista parcial das praias (a) da Tabuba e (b) do Cauipe

## 2 – ÁREA DE TRABALHO

### 2.1 – ASPECTOS GERAIS

A área em estudo, mostrada na figura 2.1, compreende parte do litoral do município de Caucaia, situado na porção norte/nordeste do Estado do Ceará e dista cerca de 15 km de Fortaleza pela rodovia federal BR 222 e estradas estaduais CE 085, CE 090 e CE 117.

Esta área, com aproximadamente 100 km<sup>2</sup>, limita-se ao norte com o Oceano Atlântico, ao sul com a Rodovia Estruturante (CE 085), a leste com a CE 117 (Estrada Caucaia-Icarai) e a oeste com o lagamar do rio Cauipe, formando um polígono de quatro vértices, cujas coordenadas geográficas estão mostradas na tabela 2.1.

TABELA 2.1 – Coordenadas geográficas da área.

Coordenadas UTM	Vértices			
	1	2	3	4
Longitude	524479	539464	537363	521563
Latitude	9604000	9592833	9587730	9598149

Caucaia, com uma área de 1.293 km<sup>2</sup>, é o maior dos municípios que formam a Região Metropolitana de Fortaleza e o terceiro em população, com 186.858 habitantes recenseados em 1994 (IPLANCE, 1995).

Por seus recursos naturais, o litoral do município de Caucaia tem entrado rapidamente no circuito turístico, com a implantação de residências, hotéis, restaurantes e clubes recreativos, muitas vezes, de forma inadequada, ocupando áreas sem condições de habitabilidade, produzindo impactos na saúde e na qualidade de vida da população local.

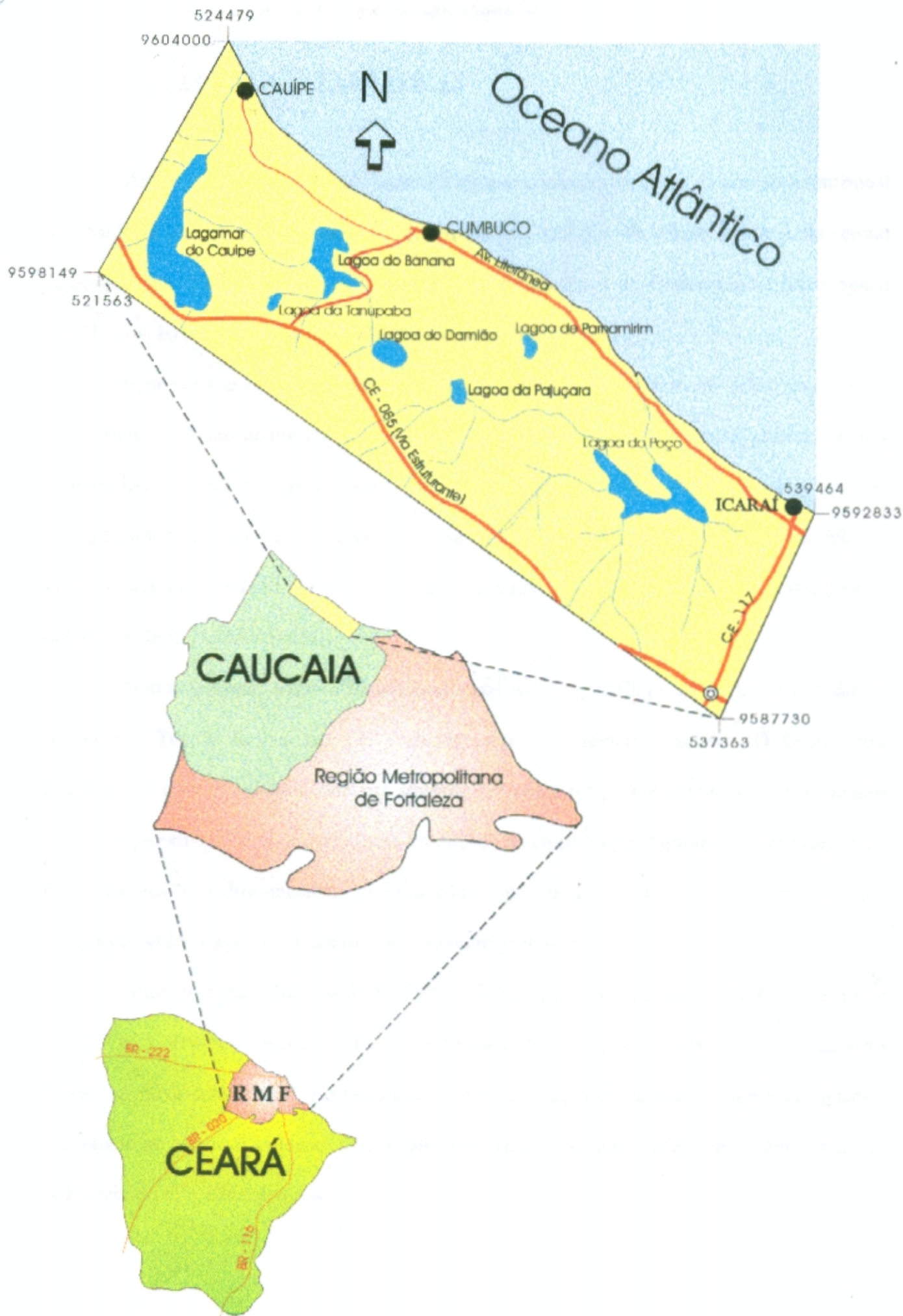


FIGURA 2.1 - Mapa de localização e acesso



## **2.2 – CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS**

As condições de circulação atmosférica que controlam o clima da porção setentrional do Nordeste são variadas. Destaca-se como sistema sinótico de maior importância, como regulador das condições climáticas, aquele gerado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que basicamente controla a marcha sazonal das chuvas.

Esta zona é um verdadeiro cinturão de baixa pressão formado sobre os oceanos equatoriais e é assim denominada por se tratar da faixa para onde os ventos alísios dos dois hemisférios convergem, constituindo uma banda de grande convecção, altos índices de precipitação e movimento ascendente. Ela se aproxima de sua forma quase linear sobre o Oceano Atlântico, onde se apresenta, geralmente, como uma faixa latitudinal bem definida de nebulosidade (STUDART, 1991).

Outros sistemas como a Massa Equatorial Atlântica (MEA), a Frente Polar Atlântica (FPA) e a Tépida Kallaariana (TK) atuam sobre o Nordeste Brasileiro. O Ceará, pela proximidade com o Equador, tem sua situação climática influenciada por esses mecanismos de circulação atmosférica, prevalecendo condições de clima tropical quente e semi-árido, com duas estações bem diferenciadas: precipitações concentradas em um pequeno período, com chuvas de verão-outono e o restante com estiagem prolongada.

Segundo a classificação de KOPPEN (1948), o Ceará tem dois tipos de clima: (1) o clima Aw' – Tropical chuvoso quente-úmido com chuvas de verão-outono que domina no litoral, na faixa setentrional, no leste e no sudeste; e (2) o clima Bsh - semi-árido quente, constatado no centro e sudoeste. Por localizar-se na faixa costeira, a área em estudo fica sob influência do tipo climático Aw'.

O regime pluviométrico caracteriza-se por uma estação chuvosa e outra seca. No primeiro semestre do ano, precipitam-se cerca de 90% do total anual com maiores intensidades no trimestre março-abril-maio, conforme a figura 2.2. A estação seca inicia-se em julho, indo até dezembro. A distribuição mensal das chuvas, se dá de maneira uniforme com uma média de 9 dias de chuvas em cada mês, todas de curta duração e distribuição espacial muito irregular (OLIVEIRA NERI, 1993).

As taxas de evapotranspiração são elevadas ao longo do ano, em geral, superiores a 130 mm mensais, atingindo valores anuais acima de 1.600 mm. Isso configura, um balanço hídrico negativo que somente de março a maio se torna positivo. Portanto, excedentes hídricos só são constatados neste trimestre quando a estação chuvosa atinge seu ápice.

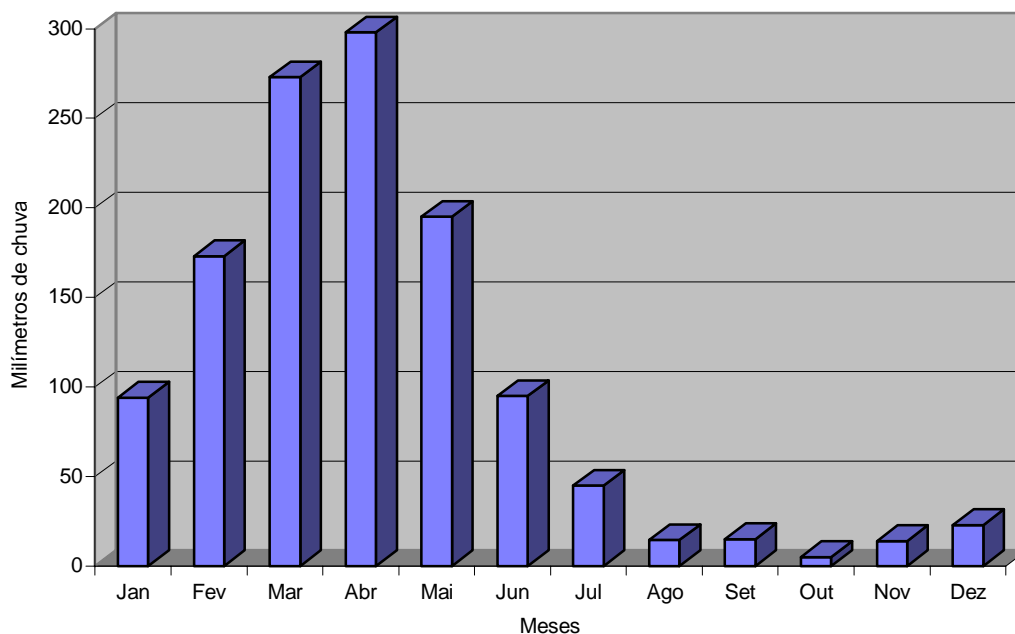


FIGURA 2.2 - Precipitações médias históricas mensais de Caucaia. (Fonte: Funceme)

### **2.3 – GEOMORFOLOGIA**

A geomorfologia da área estudada deriva da ação convergente de fatores litológicos, paleoclimáticos, eustáticos e morfodinâmicos. De modo predominante, a área encerra um elevado grau de instabilidade que se manifesta pela predominância de processos erosivos sobre as alterações e acréscimos de materiais superficiais.

Com base na compartimentação geomorfológica do Ceará (SOUZA, 1983 e 1988) a área enfocada integra o domínio dos depósitos sedimentares cenozóicos. Esse domínio apresenta duas unidades geomorfológicas que são os “glacis” pré-litorâneos dissecados em tabuleiros e a planície litorânea, comportando uma maior variedade de formas.

Os “glacis” se desenvolvem nas exposições terció-quadernárias da Formação Barreiras. Têm níveis altimétricos inferiores a 80 metros, com caimento topográfico suave na direção da faixa costeira e penetram cerca de 40 quilômetros, em média, para o interior. A morfologia exibe-se como uma rampa suavemente inclinada, comportando-se como um pedimento detrítico com declive inferior a 5%. A rede de drenagem conseqüente e de padrão paralelo diseca os “glacis” por meio de entalhes pouco profundos, isolando interflúvios tabulares. Os depósitos da Formação Barreiras onde se desenvolvem estas feições constituem depósitos correlativos continentais que compõem uma vasta superfície de agradação situada na porção pré-litorânea.

A planície litorânea é formada por sedimentos quadernários que repousam, discordantemente, sobre a Formação Barreiras. As feições morfológicas que a integram são muito variadas, incluindo-se as faixas praias, os campos de dunas, as planícies flúvio-marinhas, as planícies de marés, as planícies lacustres e falésias. Apresenta uma estrutura horizontal, característica das planícies, expondo um modelado predominantemente plano e suavemente ondulado que se modifica, um pouco, nas áreas ocupadas pelas formações dunares, cujo relevo mostra-se mais ondulado.

## **2.4 – GEOLOGIA**

Conforme a figura 2.3, baseada em BRANDÃO (1995), a área estudada é caracterizada geologicamente pela ocorrência de (A) terrenos cristalinos pré-cambrianos, denominados Complexo Gnáissico-Migmatítico, e coberturas sedimentares cenozóicas, representadas por: (B) Formação Barreiras, (C) Coberturas Colúvio-Eluviais, (D) Paleodunas, (E) Dunas Móveis e (F) Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues.

### A) Complexo Gnáissico-Migmatítico

O Complexo Gnáissico-Migmatítico corresponde, no contexto da geologia pré-cambriana da região norte do Ceará, a um conjunto de rochas estudado por diversos autores, com as seguintes denominações: “Complexo Fundamental” de CRANDALL (1910); “Complexo Cristalino” de BRASIL SOBRINHO (1941); e “Pré-Cambriano Indiviso” de SILVA & SILVA (1970).

BRAGA et al. (1977), baseando-se em critérios estritamente litoestratigráficos, adotam o termo “Complexo Caicó” para designar uma seqüência constituída de gnaisses variados, incluindo lentes de metarcósios, anfíbolitos, quartzitos e calcários cristalinos subordinados, além de migmatitos com estruturas diversas, desde as mais foliadas, próprias dos gnaisses, até as mais homogêneas, como a dos anatexitos. Definem, também, como “Grupo Ceará”, uma seqüência parametamórfica constituída de um quartzito basal, seguido de gnaisses, xistos e filitos com níveis de rochas carbonáticas preferencialmente situadas no topo da seqüência.

NASCIMENTO et al. (1981), na tentativa de uniformizar e homogeneizar a nomenclatura do conjunto de rochas de idade pré-cambriana inferior a média que ocorrem na Folha SA.24, propõem a designação formal de “Complexo Nordestino”, para caracterizar uma

**COLUNA GEOLÓGICA**

UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
QUATERNÁRIO	Depósitos Flúvio-lacustres e de Mangues
	Areias finas e médias, esbranquiçadas, bem selecionadas, quartzezas contendo níveis de minerais pesados
	Areias de granulometria fina e média, com matriz argilosa-esbranquiçada, acompanhadas por quartzezas.
TERCIÁRIO	Fermejo Borreiras
	Aventos de granulção fina e média, com matriz argilosa, semiomolida, com inclusões fragmentáticas e concreções lateríticas.
	Coberturas Colúvio-Eluviais
	Sedimentos arenó-argilosos, inconsolidados, coloração amarelo-esverdeada com tonalidades ferruginosas dispersas.
INFERIOR	Complexo And-sico Magnetítico
	Biotita-profilite, total ou parcialmente alterada, com matriz argilosa, silimosa e granada, intercalações de corpos de magnetitos (mg) e lentes de quartzeitos (qt).

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Área Urbana
- Rodovias
- Polígono de Estado
- Rio
- Lagoa
- Mangues

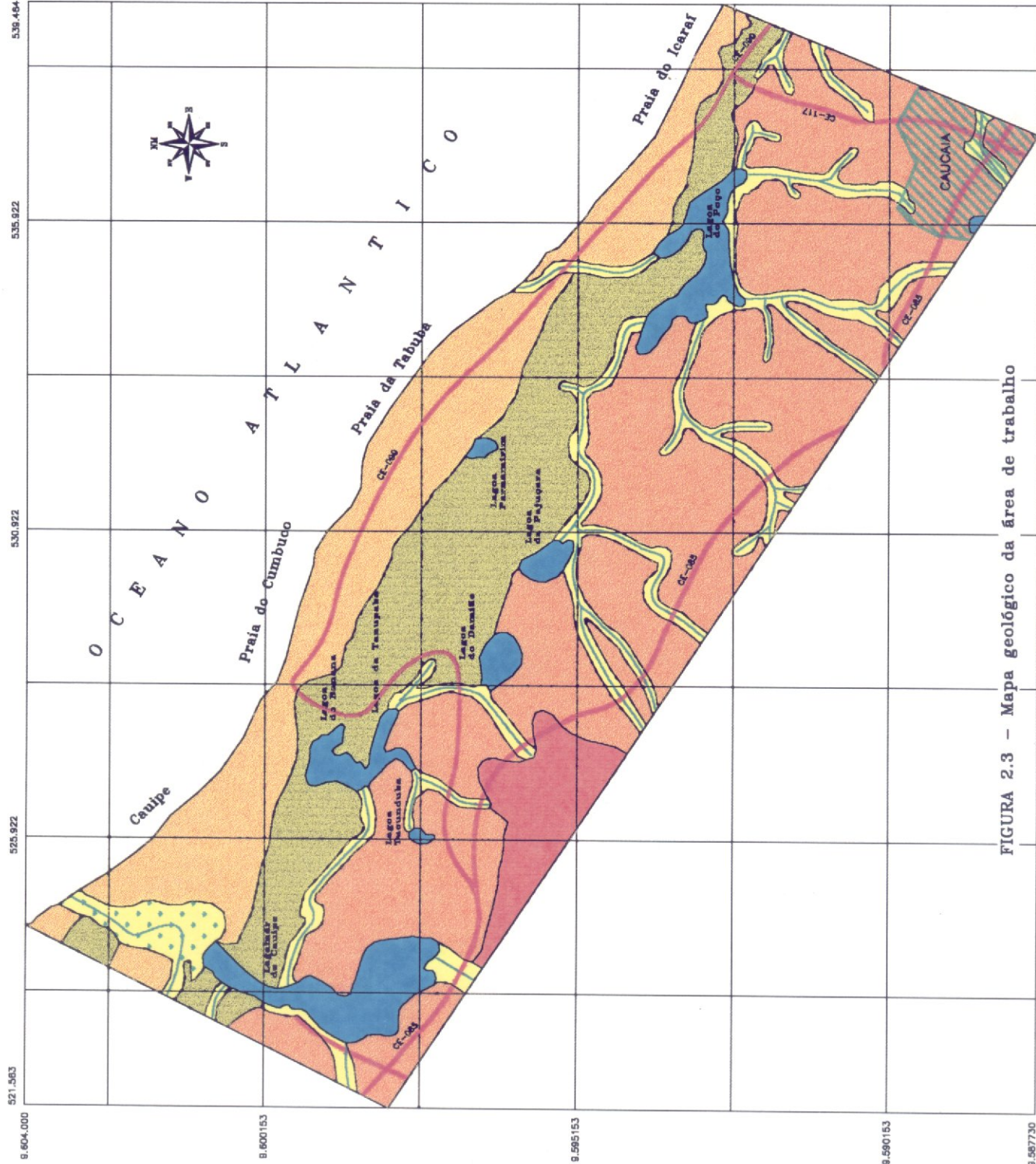


DECLINAÇÃO MAGNÉTICA NO CENTRO DA FOLHA 1987  
23º 28' W. GRESCE ANUALMENTE 5'

ESCALA GRÁFICA



FONTE:  
Mapa Geológico Escala 1:100.000  
D.N.P.M., Brasília, Ago / 98



**FIGURA 2.3 - Mapa geológico da área de trabalho**



associação de rochas parcialmente ou totalmente migmatizadas que apresentam litotipos e estilo estrutural especial e complicado, guardando entretanto características físicas próprias.

No presente trabalho, optou-se por utilizar a denominação de “Complexo Gnáissico-Migmatítico”, segundo BRANDÃO (1995), para designar uma associação petrotectônica constituída de gnaisses aluminosos, em parte migmatizados, freqüentemente intercalados por níveis quartzíticos e calcissilicáticos, em jazimento lenticulares de pequenas dimensões e conformáveis ao bandamento gnáissico. São biotita-gnaisses com ou sem muscovita, muitas vezes servindo de encaixante para *sheets* de leuco-ortognaisses, pegmatóides e *augen*-ortognaisses. Suas melhores exposições são observadas na porção sudoeste da área, na serra do Camará, onde predominam os litótipos migmatíticos.

## B) Formação Barreiras

MATOSO e ROBERTSON, em 1959 (In NASCIMENTO et al.,1981.) fizeram a seguinte análise sobre o uso geológico do termo “Barreiras”: “Os termos ‘Formação Barreiras’, ‘Formação das Barreiras’ e ‘Séries das Barreiras’ vêm sendo usados indistintamente no Brasil para designar todas as rochas não consolidadas que recobrem o cristalino ou que parecem ter sido depositadas discordantemente sobre rochas de idade cretácea estendendo-se com numerosas interrupções desde o Estado do Rio de Janeiro até o Pará e penetrando no vale Amazônico até a fronteira da Colômbia, Peru e Bolívia”.

COSTA et al. (1973) também fizeram um breve resumo a cerca do Grupo Barreiras analisando-o assim: “O termo ‘Barreiras’ foi usado por BRANNER, em 1902 (In MABESSONE et al., 1972), quando se referiu aos sedimentos variegados, inconsolidados, que ocorrem de forma contínua por toda faixa costeira desde o Estado do Rio de Janeiro até a foz do Amazonas. OLIVEIRA & LEONARDOS (op.cit.) reúnem esses depósitos costeiros sob o nome de ‘Série Barreiras’. OLIVEIRA & RAMOS (1956) chamaram ‘Formação Barreiras’ aos mesmos sedimentos na costa norte de Recife. KEGEL (op.cit.) restringiu o

termo ‘Formação Barreiras’, na região costeira do Rio Grande do Norte, às camadas variegadas superiores, e ‘Infra-Barreiras’, à camada de areias argilosas e caulínicas da base. BIGARELLA & ANDRADE (1964) estudaram alguns perfis em torno de Recife e propuseram o termo ‘Grupo Barreiras’, incluindo uma seqüência inferior, denominada de Formação Guararapes, e sobre esta depositada em discordância erosiva a Formação Riacho Morno, correlacionada à Formação Barreiras de Kegel”.

BRAGA et al. (1977) fundamentados principalmente nas proposições feitas por MABESOONE et al. (1972) para a região de Aracatí, adotaram a denominação de “Grupo Barreiras Indiviso” para toda a seqüência variegada, constituída de clásticos finos a grosseiros que ocorrem na costa, infrajacentes às dunas.

NASCIMENTO et al. (1981) adotaram o termo “Grupo Barreiras”, sem fazer possíveis correlações litoestratigráficas com as várias unidades litológicas já definidas em outras áreas do Nordeste Oriental, tanto pela falta de dados mais concretos, como pelas controvérsias já constatadas sob o ponto de vista de suas identificações nestas áreas.

No presente trabalho, adotou-se a denominação de “Formação Barreiras”, de BRANDÃO (1995.), para a seqüência constituída de sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado, mal selecionados, de granulação variando de fina a média, mostrando horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, sem cota definida, em geral associados à percolação de água subterrânea. A matriz é argilosa caulínica, com cimento argilo-ferruginoso e às vezes silicoso. A estratificação é geralmente indistinta, notando-se apenas um discreto paralelismo entre os níveis de constituição faciológica diferentes. Localmente, aparecem estratificações cruzadas e convolutas.

Considerada, por correlação estratigráfica, como pertencente ao Tércio-Quaternário, ou mais precisamente, a transição do Período Pliocênico para o Pleistocênico, esta Formação

ocorre por toda faixa litorânea apresentando a sua geomorfologia clássica em superfícies de tabuleiros e vez por outra em falésias. Todo este pacote sedimentar repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino em discordância erosiva angular. É capeada na linha da costa pelo cordão litorâneo de dunas, através de discordância e, no interior, passa transicionalmente, em alguns pontos, para as Coberturas Colúvio-Eluviais.

De acordo com BRAGA et al. (1977.), o caráter ambiental de formação da unidade foi predominantemente continental, conforme é demonstrado pelo tipo subanguloso a subarredondado dos grãos de quartzo da matriz e pela falta de orientação destes constituintes, o que sugere também deposição pelas correntes fluviais. A presença de fácies silicosas, bem como, a presença de algumas estruturas formadas por lentes argilosas são sugestivas, também, de uma participação de ambientes litorâneos, principalmente na desembocadura de antigos rios.

#### C) Coberturas Colúvio – Eluviais

A primeira tentativa de separação destas coberturas interioranas, denominando-as de Coberturas Colúvio-Eluviais Indiferenciadas, coube a CAMPOS et al. (1976). Porém, com base em estudos de campo, OLIVEIRA et al. (1974) definiram estes capeamentos como produtos da alteração de rochas cristalinas transformados em sedimentos areno-silto-argilosos inconsolidados de idade Tércio-Quaternário.

BRAGA et al. (op.cit.) caracterizam litologicamente esses sedimentos como um material areno-argiloso caulínico, com cimento argiloso e/ou ferruginoso. São constituídos por grãos de quartzo imaturos e pouco desgastados, ocasionais pontuações de opacos, palhetas de mica e grãos de feldspato em vias de alteração.

Morfologicamente caracterizam-se como tabuleiros aplainados, muitas vezes rebaixados ao nível da superfície cristalina. Na zona costeira as semelhanças verificadas com

os sedimentos litorâneos dificultam o traçado de um contato definido entre os dois tipos de depósitos (BRANDÃO, 1995).

A falta de estratificação, o caráter arcoseano, a morfoscopia dos grãos de quartzo e a presença de minerais micáceos e feldspáticos, caracterizam estes sedimentos como imaturos e, por outro lado, sugere as condições climáticas semi-áridas a que foram submetidas desde a degradação até os tempos atuais.

Em decorrência das pequenas exposições desses litótipos na área em apreço, bem como, da escala de trabalho, não foi possível sua delimita-la na representação cartográfica.

#### D) Paleodunas

Representam as dunas antigas rebaixadas quase ao nível dos tabuleiros costeiros, que repousam discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras. Ocorrem distribuídas de forma mais ou menos contínua ao longo da linha de costa e à retaguarda das dunas recentes, constituindo uma faixa de largura variável com uma média de 2 a 4 km na área estudada.

Trata-se de uma geração mais antiga de dunas, as quais apresentam o desenvolvimento de processos pedogenéticos, com a conseqüente fixação de um revestimento vegetal de maior porte. Morfologicamente exibem feições típicas de dunas parabólicas, com eixos alinhados segundo a direção E – W refletindo a predominância dos ventos que sopram do quadrante leste (BRANDÃO, op.cit.).

Conforme BRAGA et al (1977), as paleodunas constituem-se de areias de granulação fina a média, raramente siltosas, quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, com grãos arredondados e foscos, bem selecionados, de coloração variando de cinza-claro e alaranjado, no topo e avermelhado na base. Constituem depósitos homogêneos, não tendo sido observadas estratificações cruzadas típicas dos sedimentos eólicos.

No entanto, BRANDÃO (1995) observou em algumas exposições, estratificações plano-paralelas e cruzadas, além de níveis pelíticos de espessuras centimétricas intercalados no pacote arenoso, os quais podem ser interpretados como depósitos em ambiente úmido correspondente a áreas baixas de interdunas.

#### E) Dunas Recentes ou Móveis

São formadas a partir da acumulação de sedimentos removidos da face de praia pela deflação eólica e distribuem-se como um cordão contínuo, disposto paralelamente à linha de costa, somente interrompido pela presença de planícies fluviais e flúvio-marinhas, ou ainda, pela penetração até o mar de sedimentos da Formação Barreiras e promotórios formados por cangas lateríticas e quartzosas. Caracterizam-se pela ausência de vegetação ou fixação de um revestimento pioneiro, o qual detém ou atenua os efeitos da dinâmica eólica responsável pela migração das dunas.

#### F) Depósitos Flúvio-aluvionares e de Mangues

Conforme BRANDÃO (op.cit.), esses depósitos são representados, essencialmente, por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes.

Sobre os terrenos cristalinos os cursos d'água mostram-se, freqüentemente, controlados por fraturas e falhas, exibindo longos trechos retilinizados. Nessas áreas os depósitos constituem faixas estreitas, mormente formadas por sedimentos de granulometria grossa, ao longo dos canais ativos, enquanto nas planícies de inundação apresentam uma constituição mais fina. Sobre as coberturas sedimentares os rios e riachos formam depósitos mais possantes, provenientes do retrabalhamento da Formação Barreiras e das dunas, o que resulta em acumulações predominantemente constituídas por areias finas, siltes e argilas.

Nas lagoas costeiras e interiores são depositados, principalmente, sedimentos pelíticos e grande quantidade de matéria orgânica. Enquanto que, nos ambientes estuarinos ou de planícies flúvio-marinhas formam-se depósitos siltico-argilosos, ricos em matéria orgânica, que sustentam uma vegetação de mangue. Não se restringem apenas às desembocaduras, desenvolvendo-se também nos baixos cursos dos rios até onde se faz sentir a influência marinha.

## **2.5 – RECURSOS HÍDRICOS**

### **2.5.1 - Águas Superficiais**

Sob o aspecto de armazenamentos de águas superficiais, destacam-se, de leste para oeste da área, as bacias hidrográficas dos rios Ceará, Juá e Cauípe, que nascem em níveis elevados do embasamento cristalino e drenam os terrenos da Formação Barreiras e da Planície Litorânea.

Esses cursos d'água, têm em comum seus baixos vales fortemente influenciados pela energia das marés onde desenvolvem planícies flúvio-marinhas, todos com escoamento intermitente sazonal e dependente do ritmo anual das chuvas. Após a estação chuvosa, há uma drástica redução do fluxo hídrico que ao longo da estação seca tende a cessar inteiramente. Somente nas desembocaduras, os efeitos das marés se fazem refletir entre 10 e 2 km continente a dentro, justificando a permanência dos rios com água nestes trechos.

Os rios que formam as micro-bacias têm um percurso de poucos quilômetros, baixos gradientes fluviais e pequena capacidade de entalhe. Em alguns casos, representam emissários de lagoas costeiras que eventualmente se comunicam com o mar. Os tributários que confluem para os coletores de drenagem são inexpressivos e têm, também, regime intermitente sazonal.

Além dos cursos d'água, também existem na área diversas lagoas que são utilizadas para fins de abastecimento, pesca e lazer. Dentre elas, destacam-se: a Lagoa do Banana, com um espelho d'água de 90 ha e um volume armazenado de 973.480 m<sup>3</sup>; a Lagoa do Poço, ocupando uma área de 88 ha com um volume de 946.960 m<sup>3</sup> e; o lagamar do Cauipe com 45 ha de espelho d'água e de um volume armazenado de 415.282 m<sup>3</sup> (CAVALCANTE, 1998)

Geralmente, a formação destas lagoas está condicionada à existência de um relevo ondulado, característico do litoral, e de um nível estático sub-aflorante a aflorante, que oscila conforme o quadro climatológico.

### **2.5.2 - Águas Subterrâneas**

Conforme a figura 2.4, as águas subterrâneas na área em estudo ocorrem fundamentalmente em duas províncias hidrogeológicas: nos Terrenos Cristalinos e nos Terrenos Sedimentares.

No domínio dos terrenos cristalinos, o contexto hidrogeológico está intimamente associado aos fendilhamentos pois, suas rochas possuem uma porosidade primária quase nula, conferindo-lhes uma permeabilidade extremamente baixa. A infiltração da água ocorre, essencialmente nas zonas fraturadas, com circulação restrita às fraturas abertas.

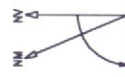
Os mantos de intemperismos ou as coberturas colúvio-eluviais estabelecidas sobre essas rochas podem armazenar, dependendo de suas espessuras, volumes de água que, eventualmente, podem ser aproveitados em captações pontuais. No entanto, a maior importância dessas coberturas está no fato de funcionarem como áreas de recarga para o meio fraturado subjacente. Do mesmo modo, os "riachos-fendas", ou seja, linhas de drenagem encaixadas em fraturas e diáclases do embasamento, são fundamentais, juntamente com aluviões a eles associados, para a alimentação dos aquíferos cristalinos, constituindo importantes guias na prospecção de água subterrânea (BRANDÃO, 1995).

COLUNA GEOLÓGICA

UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
QUATERNÁRIO	<p>Depósitos Flúvio-lacustres e de Mangues</p> <p>Areias finas e médias, esbranquiçadas, bem selecionadas, quartzoza contendo níveis de minerais pesados</p> <p>Aventais de granulometria fina e média, com areias esbranquiçadas, acompanhando quartzozos.</p>
TERCIÁRIO	<p>Fermejo Borreiras</p> <p>Coberturas Colúvio-Eluviais</p>
INFERROR	<p>Complexo And-sico Magnetítico</p>
PROTEROZOICO	<p>Sedimentos arenó-argilosos, inconsolidados, coloração amarelo-esverdeada com tonalidades ferruginosas dispersas.</p> <p>Biotita-praíses, talco ou parafina, epidota, mica, magnetita, hematita, silimanita e grenado, intercalações de corpos de magnetitos (mg) e lentes de quartzitos (qt).</p>

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Área Urbana
- Rodovias
- Polígono de Estado
- Rio
- Lagoa
- Mangues



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA NO CENTRO DA FOLHA 1987  
23º 28' W. CRESCER ANUALMENTE 5'

ESCALA GRÁFICA



FONTE:  
Mapa Geológico Escala 1:100.000  
D.N.P.M., Brasília, Ago / 98

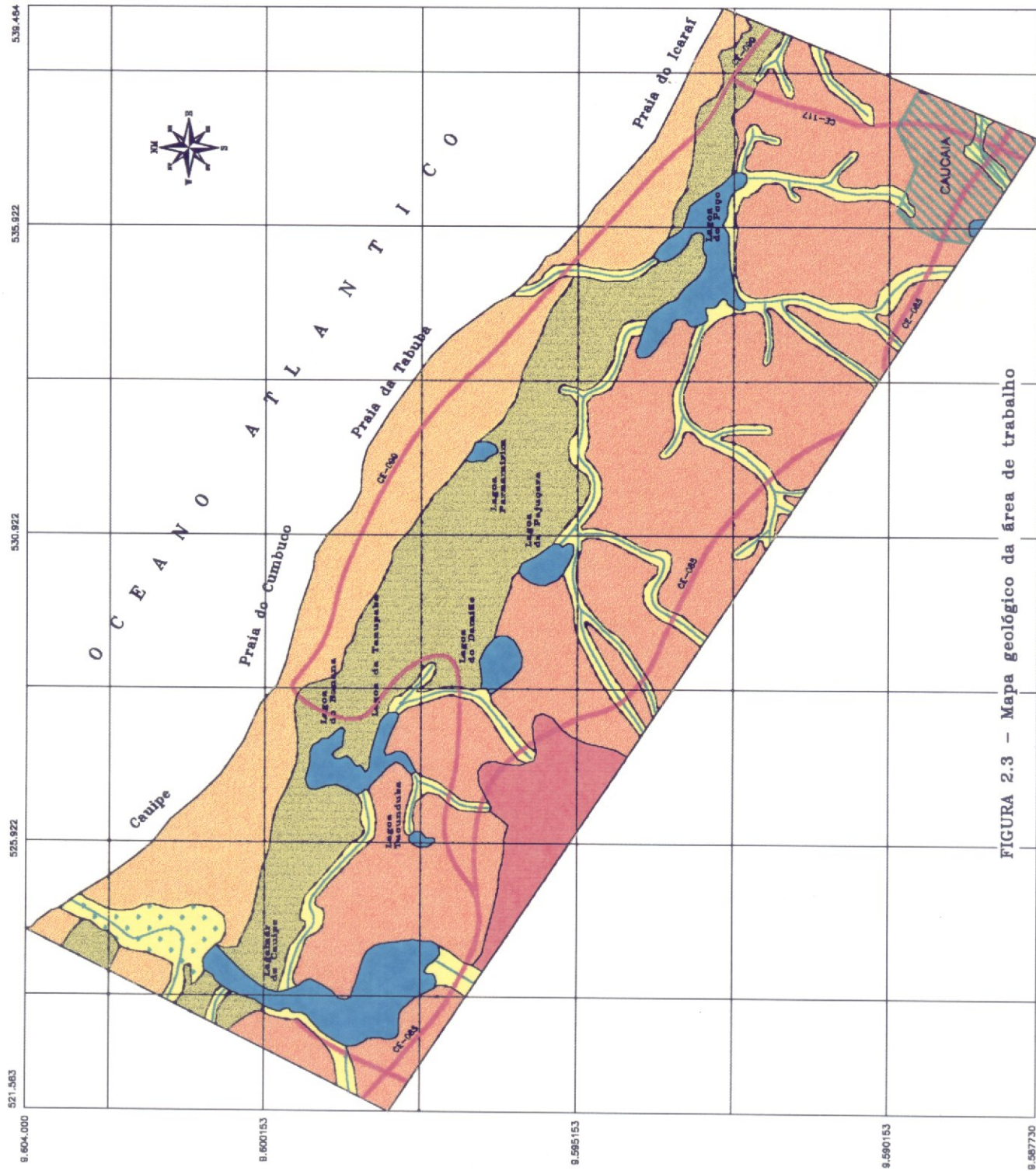


FIGURA 2.3 - Mapa geológico da área de trabalho



Segundo CAVALCANTE (1998), este meio possui fraca vocação aquífera e as melhores áreas são condicionadas pela existência de zonas cisalhantes, com fraturas abertas e associadas, muitas vezes, a reservatórios superficiais d'água que constituem fontes de recarga. As vazões predominantes são geralmente abaixo de 2 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica é normalmente inferior a 1,0 (m<sup>3</sup>/h)/m.

As águas subterrâneas, na porção sedimentar da área, estão localizadas em três sistemas aquíferos: as dunas/paleodunas, os aluviões e a Formação Barreiras.

A Formação Barreiras caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos diferenciados, de acordo com o contexto local. BIANCHI et al. (1984) estimaram um valor de  $1,8 \times 10^{-6}$  m/s para a condutividade hidráulica, refletindo mais as características de um aquítarde.

Segundo CAVALCANTE (op.cit.), as vazões predominantes são inferiores a 2,0 m<sup>3</sup>/h porém, em algumas áreas podem apresentar vazões bem superiores (máxima de 17,6 m<sup>3</sup>/h). Localmente, constitui um aquífero livre, com características regionais de semi-confinamento em função dos níveis silto-argilosos e sua recarga é proveniente da pluviosidade, da contribuição dos rios influentes, das lagoas e do sistema dunas/paleodunas que funciona como aquífero e unidade de transferência de água.

Das formações geológicas distribuídas na área de estudo as dunas/paleodunas se constituem os melhores reservatórios hídricos subterrâneos e podem contribuir substancialmente para o abastecimento de água. Representam o aquífero superior livre e desenvolvem-se ao longo do litoral, formando um cordão aproximadamente paralelo à costa, disposto discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras ou sobre manchas aluvionares, ocasionalmente recortados pela rede de drenagem.

Suas águas são captadas por poços tubulares rasos, com profundidades inferiores a 20 metros, que produzem vazão média de 6,0 m<sup>3</sup>/h podendo alcançar, localmente, até 16 m<sup>3</sup>/h. No entanto, testes de aquífero e produção nos campos de dunas do Pecém, próximo a área de trabalho, constata vazão média de 2,4 m<sup>3</sup>/h e valores médios de condutividade hidráulica e transmissividade de, respectivamente, 1,4x10<sup>-4</sup> m/s e 3,88 m<sup>2</sup>/h (CAVALCANTE, 1998).

Os aluviões são pouco utilizados na área do trabalho e, possivelmente, um dos motivos é a proximidade do litoral e a baixa declividade dos rios, que favorecem a penetração das marés ao longo dos cursos d'água, influenciando na qualidade das águas armazenadas na referida unidade.

### **3 – HIDROQUÍMICA, ISÓTOPOS AMBIENTAIS E BACTERIOLOGIA DAS ÁGUAS**

O estudo hidroquímico tem por finalidade identificar e qualificar as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas e superficiais, procurando estabelecer uma relação com o meio físico.

Como forma de complementar às diversas técnicas de prospecção hidrogeológica, principalmente a hidroquímica, utiliza-se as determinações dos isótopos ambientais, pois, oferecem um caminho mais fácil para interpretação dos resultados por serem pouco influenciados pelas reações no terreno.

#### **3.1 - HIDROQUÍMICA**

A água que infiltra no reservatório subterrâneo, ao lixiviar os solos e as rochas, se enriquece em sais minerais em solução, provenientes da dissolução dos seus minerais. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e pela facilidade de dissolver  $\text{CO}_2$  ao percolar o solo não saturado. Por essas razões, as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às das águas continentais superficiais em geral.

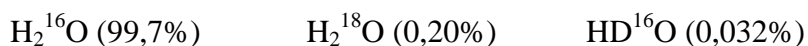
Alguns destes constituintes iônicos, os principais, estão presentes em quase todas as águas subterrâneas e a sua soma representa a quase totalidade dos íons presentes. No grupo dos cátions destacam-se o sódio ( $\text{Na}^+$ ), o potássio ( $\text{K}^+$ ), o cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) e o magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ).e dentre os ânions, têm-se os cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), os sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ) e os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Os constituintes iônicos secundários são inúmeros e em concentrações inferiores a 1% em relação aos principais, porém alguns são frequentemente encontrados nas águas subterrâneas, como ferro, manganês, alumínio, sílica etc., enquanto outros (os traços) são raros e estão presentes em quantidades dificilmente mensuráveis por meios químicos usuais, mas, nem por isso, deixam de ser importantes para a potabilidade da água.

### **3.2 - ISÓTOPOS AMBIENTAIS**

Os isótopos ambientais, estáveis ou radioativos, que estão envolvidos no ciclo hidrológico, vêm sendo intensamente empregados nas últimas décadas como traçadores naturais nos estudos das águas subterrâneas, destacando-se como os mais utilizados em hidrologia, os isótopos deutério ( $^2\text{H}$ ), oxigênio-18 ( $^{18}\text{O}$ ), trício ( $^3\text{H}$ ) e carbono-14 ( $^{14}\text{C}$ ).

Como os isótopos estáveis oxigênio-18 e o deutério são parte integrante da molécula de água, tornam-se os traçadores naturais ideais para o estudo hidrológico. Com eles são formadas diferentes tipos de moléculas de d'água. Segundo DANSGAARD (1964), as concentrações médias dos três tipos mais abundantes de moléculas presentes em águas naturais são:



No entanto, estas concentrações sofrem variações, ou seja, fracionamento isotópico, em decorrência de mudanças de fase ao longo do ciclo hidrológico.

Durante a evaporação, as moléculas leves da água ( $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ) evaporam mais rapidamente do que as moléculas pesadas ( $\text{H}_2^{18}\text{O}$  e  $\text{HD}^{16}\text{O}$ ) e à medida que a evaporação se processa, a água remanescente se enriquece em isótopos pesados, tornando o vapor relativamente mais leve. Na condensação, o vapor residual se torna mais pobre em isótopos

pesados, enquanto que o vapor liqüefeito, fica mais rico. Estes dois processos fazem com que sucessivas condensações do mesmo vapor sejam mais e mais pobres em isótopos pesados, como acontece nas precipitações à medida que entram no continente.

As abundâncias dos isótopos  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  em relação, respectivamente, aos isótopos  $^{16}\text{O}$  e  $^1\text{H}$  são muito pequenas, em média dadas por:

$$^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0,204\% \quad ^2\text{H}/\text{H} = 0,015\%$$

Por isso, as medidas isotópicas são feitas experimentalmente através das razões  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  e  $^2\text{H}/\text{H}$ . Além disso, estas razões nas amostras são comparadas com as razões de um padrão e expressas em valores de  $\delta$  (‰) definido pela equação:

$$\delta \text{‰} = \frac{R_x - R_p}{R_p} \times 10^3 \quad (3.1)$$

onde,  $R_x$  ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^2\text{H}/\text{H}$ ) é a razão do isótopo pesado em relação ao leve, na amostra, e  $R_p$  é esta razão para um padrão.

O padrão utilizado para as medidas de oxigênio-18 e deutério é o V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water), uma amostra de água obtida pela mistura de água destilada do Oceano Pacífico com pequenas quantidades de outras águas para ajustar as razões isotópicas do oxigênio e do deutério aos valores requeridos, ou seja, igual à média das razões isotópicas das águas dos oceanos (CRAIG,1961b, GONFIANTINI, 1981).

Os isótopos, oxigênio-18 e deutério, contidos nas chuvas são influenciados por uma complexa mistura de fatores geológicos e meteorológicos. A concentração desses isótopos decresce quando aumenta a quantidade de chuva, a altitude e a distância do mar. Verifica-se também que as concentrações desses isótopos decrescem com a latitude e apresentam nas chuvas de verão valores maiores do que nas de inverno.

Analisando, em escala mundial, águas de chuvas e águas superficiais que não sofreram evaporação excessiva, CRAIG (1961a) verificou que os conteúdos de  $^{18}\text{O}$  e D variam, em termos de  $\delta$  ‰, de acordo com a expressão:

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (3.2)$$

Para as águas do nordeste brasileiro, a expressão encontrada por SALATI et al. (1971) apresenta-se na forma de :

$$\delta\text{D} = 7,6 \delta^{18}\text{O} + 9,7 \quad (3.3)$$

Observa-se que os parâmetros angular e linear decresceram, em relação à reta mundial, indicando que a evaporação sofrida pelas gotas de chuvas, durante sua queda, ocorreu em condições de não equilíbrio, ou seja, houve um fracionamento mais intenso dos isótopos de oxigênio do que dos de hidrogênio.

Os isótopos ambientais vêm sendo empregados intensivamente em escala mundial e, nas últimas décadas, nos estudos hidrogeológicos de áreas do nordeste do Brasil, destacando-se os trabalhos realizados pelo Grupo de Física Isotópica da Universidade Federal do Ceará - UFC.

SANTIAGO et al. (1981), utilizando medidas  $^{14}\text{C}$  e análises químicas de águas de poços na região de Picos, no Piauí, concluíram que as idades das águas aumentam gradualmente de leste para oeste, tendo no mínimo 7807 e no máximo de 36440 anos. Observaram ainda que, do ponto de vista hidroquímico, a região pode ser dividida em três áreas distintas: com águas bicarbonatadas sódicas a leste; sulfatadas sódicas a oeste e; cloretadas sódicas ao sul.

SIQUEIRA et al. (1982), através de medidas de  $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  e análises químicas de águas de poços na região de Freicheirinha, no Ceará, definiram três sistemas aquíferos profundos: um com idade aparente de 5000 anos situado na área de ocorrência do Grupo Jaibaras, outro na Formação Serra Grande com idade aparente de 2500 anos e outro com idade aparente de 1000 anos que se localiza na Formação Freicheirinha. Concluíram também, que a influência dos aerossóis atmosféricos naturais na época invernososa contribuem para a salinização das águas da região.

FREIRE et al. (1983), estudando os aquíferos superficiais e subterrâneos da região de Iguatu, no Ceará, através das concentrações relativas de  $^{18}\text{O}$  e  $^{14}\text{C}$ , determinaram a existência de dois grupos de poços profundos; um que responde rapidamente às mudanças sazonais, e o outro, que reage com uma grande defasagem. Os poços amazonas refletem as variações sazonais, sendo influenciados diretamente pelas chuvas.

SANTIAGO et al. (1986), analisando medidas de  $^{14}\text{C}$ , trício e condutividade elétrica nas águas de 29 poços no cristalino do noroeste do Ceará, observaram que 20 deles têm água moderna, indicando recarga anual, recente, e somente 2 mostraram idade acima de 1000 anos. Concluíram ainda, que o tempo de contato da água com a rocha matriz não é o responsável pela salinização.

FRISCHKORN et al. (1988), estudando 17 poços na porção oriental da Bacia Potiguar através das razões  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  e D/H e da concentração de  $^{14}\text{C}$  nos bicarbonatos dissolvidos, constataram uma forte interação entre os aquíferos Jandaíra e Açu, com uma velocidade de fluxo em torno de 1m/ano, além da taxa de filtração vertical Jandaíra/Açu de  $65 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{ano}$  e a razão de mistura de aproximadamente 1:1.

SANTIAGO et al. (1991), trabalhando na bacia sedimentar do Cariri, no Ceará, separaram os aquíferos Missão Velha Superior e Inferior, o primeiro com água desde moderna até 3100 anos e o segundo, com tempo de residência de 1900 a 9200 anos, utilizando medidas

de  $^{14}\text{C}$ . A partir das concentrações de trício, mostraram que as águas na Formação Exu são estratificadas e a recarga anual produz a saída das águas mais antigas.

SANTIAGO et al. (1994) usaram medidas de  $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$  e da condutividade elétrica para caracterizar as águas oriundas dos aquíferos Missão Velha Superior, Missão Velha Inferior e Mauriti na bacia sedimentar do Cariri, no sul do Ceará. Os resultados permitiram identificar águas com distinto grau de mistura das contribuições dos aquíferos da região e constataram a presença de paleoáguas marcadas por mudanças climáticas ocorridas a cerca de 8 mil a 12 mil anos atrás.

SILVA et al. (1996), usando medidas de carbono-14 e condutividade elétrica, separaram águas provenientes do aquífero superior Rio da Batateira das águas dos aluviões, nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, no sul do Ceará. Para o primeiro observaram uma correlação positiva entre pmC e condutividade elétrica, para o segundo uma correlação negativa.

SANTIAGO et al. (1996), no Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe, formulam um modelo fenomenológico capaz de identificar e descrever a circulação e mistura de paleoáguas infiltradas na Chapada do Araripe e armazenadas nas diversas formações aquíferas, com águas infiltradas diretamente no Vale do Cariri.

COSTA FILHO et al. (1998) realizaram um estudo isotópico nos aquíferos da Planície do Recife utilizando medidas de  $^{18}\text{O}$  e deutério e concluíram que a salinização dessas águas é ocasionada por dissolução ou por mistura com águas de origem marinha provenientes dos manguezais, paleomangues, etc., e não por avanço da cunha salina.

BATISTA (1998), utilizando medidas dos isótopos ambientais  $^{18}\text{O}$  e deutério e da condutividade elétrica, identificou diferentes grupos de água correspondentes aos diferentes sistemas aquíferos no município de Picos, no Piauí. Na área de afloramento das Formações Serra Grande e Pimentiras identificou mistura de paleoáguas com infiltração recente



indicando baixa taxa de recarga. Na área de confinamento do aquífero Serra Grande verificou infiltração local de água armazenada no Pimenteiras, que se caracteriza por condutividades elétricas mais elevadas. O sistema aquífero Cabeças, livre na área, recebe água de chuva direta e água evaporada.

CARNEIRO (1998), utilizando as análises isotópicas ( $^{18}\text{O}$  e D) e físico-químicas de amostras d'água de 70 poços localizados no Vale do Gurguéia, no sul do Piauí, determinou que além da recarga por infiltração direta das precipitações nas áreas de afloramento, o aquífero Cabeças também é recarregado por filtração vertical ascendente do aquífero Serra Grande em decorrência de sua exploração excessiva na região e do gradiente hidráulico do aquífero Serra Grande com relação ao aquífero Cabeças.

### **3.3 – BACTERIOLOGIA DA ÁGUA**

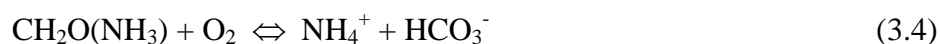
As bactérias constituem o principal grupo de organismos da microbiologia, devido ao grande número de espécies e de suas múltiplas atividades. São importantes porque aumentam a fertilidade dos solos pela conversão do nitrogênio atmosférico em compostos nitrogenados utilizados pelas plantas, produzem bebidas alcoólicas, alimentos, enzimas e causam doenças ao homem e animais, deterioram alimentos, etc. Estas variadas atividades constituem uma parte da imensa gama de processos úteis (maioria) e nocivos (minoria) realizados por estes seres.

Quanto ao tipo de alimento que consomem, as bactérias são denominadas autótrofas, quando consomem compostos inorgânicos simples, ou heterótrofas, quando necessitam alimentos orgânicos complexos. As chamadas bactérias nitrificantes são organismos autótrofos e as bactérias saprófitas, que se alimentam de tecidos de animais e vegetais mortos, são heterótrofas. Patogênicas são as que causam doenças quando encontrados no homem.

### 3.3.1 – Bactérias Autótrofas

A grande maioria das bactérias presentes na água é originária do solo e uma proporção considerável é constituída pelas espécies nitrificantes e fixadoras de nitrogênio envolvidas no ciclo de decomposição da matéria orgânica na natureza.

Os resíduos orgânicos oriundos da morte de animais ou de vegetais, ou da excreção, sofrem sua primeira transformação através do processo de decomposição pelas bactérias saprófitas, liberando o íon amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) de acordo com a reação 3.4. Neste ponto termina a função das bactérias saprófitas que são substituídas pelas autótrofas.



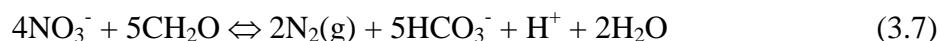
O composto liberado, a amônia, tanto pode ser adsorvido pelo solo e usado pelas plantas como nutriente, como também, pode ser oxidado biologicamente por bactérias para formar nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) e posteriormente nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) que chegam às águas subterrâneas. O fenômeno é conhecido como nitrificação e processa-se mediante as reações.



Portanto, a oxidação da amônia para formação de nitritos (3.5) é mediada pelas bactérias do gênero nitrosomonas e a oxidação do nitrito para a formação de nitratos (3.6) requer a participação de bactérias do gênero nitrobactérias.

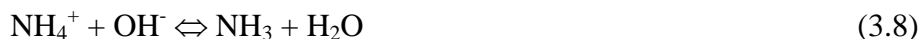
A amonificação e a nitrificação são processos que normalmente ocorrem na zona insaturada, principalmente na zona do solo propriamente dito, onde está presente a matéria orgânica, que produz amônia, e existe abundância do oxigênio, necessário para as reações de oxidação.

Os nitratos, tanto aqueles de contaminação direta como os oriundos das transformações bioquímicas, sob condições anaeróbicas e com presença de matéria orgânica, podem ser reduzidos a amônio ( $\text{NH}_4^-$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) através do processo de desnitrificação, sempre com a participação de bactérias características de cada processo. A reação química que produz o nitrogênio mediante este processo é a seguinte:

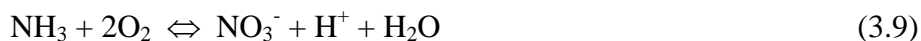


A desnitrificação geralmente ocorre abaixo do nível d'água, sob condições de deficiência de oxigênio.

Nas águas ambientais o gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) está em equilíbrio com o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), conforme a reação:



O gás amônia predomina para pH igual ou maior que 7. Neste caso, tem-se:



Segundo HEM (1985), nitrito é indicador de poluição, mas embora nitrato e amônia indiquem poluição, ela ocorreu longe do local de amostragem ou muito antes da amostragem. Isto acontece porque o ciclo do nitrogênio, a partir da degradação da matéria orgânica obedece a seguinte seqüência:  $\text{NH}_3$  (amônia),  $\text{NO}_2^-$  (nitrito) e  $\text{NO}_3^-$  (nitrato). Desse modo, a

distância provável do ponto de poluição ao ponto de coleta da amostra cresce segundo a mesma ordem de ocorrência. A presença de nitrogênio na forma de nitratos corresponde, assim, à poluição mais remota e, portanto, menos perigosa, porque os organismos patogênicos de transmissão hídrica, prováveis participantes da matéria orgânica poluidora, praticamente são só os de ordem intestinal e perecem em poucos dias, quando excretados para fora do seu habitat natural.

### **3.3.2 – Bactérias Patogênicas (Organismos Indicadores de Contaminação Fecal)**

Segundo VON SPERLING (1995), a detecção dos agentes patogênicos, principalmente bactérias, protozoários e vírus, em uma amostra d'água é extremamente difícil, em razão das suas baixas concentrações, o que demandaria o exame de grandes volumes da amostra para que fosse detectado um único ser patogênico.

Este obstáculo é superado através do estudo dos chamados *organismos indicadores de contaminação fecal*. Tais organismos não são patogênicos, mas dão uma satisfatória indicação de quando uma água apresenta contaminação por fezes humana ou de animais e, por conseguinte, a sua potencialidade para transmitir doenças. Este grupo de bactérias é composto por espécies dos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Citrobacter*.

O grupo dos coliformes apresenta uma série de vantagens como indicadores de poluição fecal da água, a saber: constância e alto número nas fezes; facilidades de isolar e identificar; proporcionalidade entre a concentração de coliformes na água e a das bactérias patogênicas intestinais (SOARES, 1997). Os principais indicadores de contaminação fecal comumente utilizados são: os coliformes totais, os coliformes fecais e os estreptococos fecais.

O grupo de **coliformes totais** constitui-se em um grande grupo de bactérias que têm sido isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente.

Os **coliformes fecais** são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários do trato intestinal humano e de outros animais. O teste é feito a uma temperatura, na qual o crescimento de bactérias de origem não fecal é suprimido. A *Escherichia coli* é uma bactéria pertencente a este grupo.

Os **estreptococos fecais** incluem várias espécies ou variedades de estreptococos, tendo no intestino de seres humanos e outros animais o seu habitat usual.

O lançamento de esgotos de origem humana em corpos d'água pode resultar na introdução desses microrganismos, tendo como consequência a transmissão de doença às pessoas, através da ingestão ou contato. Como norma preventiva, foram estabelecidos padrões de qualidade para as águas, em função dos fins a que se destinam. Uma água destinada ao abastecimento humano, por exemplo, deve atender a requisitos diferentes dos estabelecidos para as águas usadas em recreação.

A classificação das águas, estabelecidas no Brasil pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), teve como finalidade definir níveis de qualidade de modo a assegurar o uso das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.

Uma água em condição de ser usada no abastecimento público sem prévia ou com simples desinfecção é considerada como de Classe Especial, pela Resolução N<sup>o</sup>-20 do CONAMA. As águas que se destinam ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado, são enquadradas como de Classe 1. As águas de Classe 2 e 3 podem ser usadas para o abastecimento doméstico após tratamento convencional. Já as águas de Classe 4 não são indicadas para o abastecimento humano, pois o tratamento convencional não seria suficiente para tratá-la.

No quadro 3.1 apresentamos alguns dos principais parâmetros estabelecidos pela Resolução N<sup>o</sup>-20/86, do CONAMA, para as águas consideradas doces (Classe Especial à Classe 4).

QUADRO 3.1 – Limites de alguns parâmetros estabelecidos pela Resolução N<sup>o</sup> 20/86, CONAMA, para as águas doces. CT: coliforme total; CF: coliforme fecal; OD: oxigênio dissolvido; NMP: número mais provável.

<b>Classificação</b>	<b>CT</b> (NMP)	<b>CF</b> (NMP)	<b>OD</b> (≥ mg/L)	<b>Nitrito</b> (mg/L)	<b>Nitrato</b> (mg/L)
Classe Especial	Ausente	Ausente	-	-	
Classe 1	1000	200	6,0	1,0	10
Classe 2	5000	1000	5,0	1,0	10
Classe 3	20.000	4000	4,0	1,0	10
Classe 4	-	-	2,0	-	10

### 3.3.3 - Oxigênio Consumido

Segundo LOGAN (1965), o oxigênio consumido, ou “demanda química de oxigênio”, não mede a quantidade de oxigênio existente em uma água, mas somente a quantidade necessária para oxidar certos materiais orgânicos existentes na amostra. Quanto maior a quantidade de material orgânico, maior a quantidade de oxigênio exigida para oxidá-los. O teste padrão não nos dá indicação de todos os materiais orgânicos que se encontram presentes na água, pois algumas substâncias (p.ex. proteínas) não se oxidam por este processo.

Quando o oxigênio consumido é superior à 3,5 mg/L, pode-se suspeitar da existência de poluição na água, mas na maioria delas o seu valor é inferior a 1 mg/L.

## **4 – METODOLOGIA**

A primeira etapa do trabalho consistiu na análise dos bancos de dados de poços tubulares, existentes na época, na CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e na Funceme - Fundação Cearense de Meteorologia, quando observou-se a ausência de informações sobre os poços perfurados nos terrenos sedimentares que compõem a faixa costeira do município de Caucaia. Os dados encontrados limitavam-se, na grande maioria, aos poços construídos totalmente no embasamento cristalino, portanto, fora dos objetivos dessa dissertação.

Por isso, foi necessário efetuar um cadastramento próprio dos poços existentes na região, contemplando todos os tipos (tubular, amazonas ou cacimba), e obtendo as informações com o proprietário com relação a profundidade do poço, características e propriedades do material encontrado.

Cada ponto visitado foi identificado com as coordenadas geográficas em UTM, obtidas com o GPS (Global Positioning System) portátil e em cada um deles foi coletada uma amostra de água, antes de passar por processo de tratamento ou de armazenamento, para medição, no local, da temperatura, pH, Eh e condutividade elétrica.

Algumas lagoas também foram amostradas, tomando-se um cuidado especial para não coletar água das bordas, onde a evaporação é mais intensa do que no centro do corpo d'água.

Posteriormente, selecionou-se 40 (quarenta) desses poços para novas coletas de água objetivando as análises físico-química, bacteriológica e isotópica. Em todas as coletas, o vasilhame foi lavado três vezes com a própria água do local amostrado para evitar a contaminação da amostra.

#### **4.1 – TRABALHO DE CAMPO**

O cadastramento dos pontos d'água foi realizado em oito dias, durante o mês de julho de 1998, sendo visitados 100 (cem) locais, dos quais 57 (cinquenta e sete) são poços tubulares, 39 (trinta e nove) do tipo amazonas ou cacimba, que neste trabalho são genericamente denominados de poços manuais, e 4 (quatro) são lagoas. Em todos os pontos foram feitas medidas de temperatura, condutividade elétrica, pH e Eh da água.

A segunda etapa de campo, com a coleta de 31 (trinta e uma) amostras para realização de análise físico-química e bacteriológica, foi efetuada em três dias alternados (22/09/98, 30/09/98 e 07/10/98) em virtude da disponibilidade do laboratório encarregado de fazer as referidas análises. Em 19/10/98 efetuou-se outra etapa de campo, onde foram coletadas 9 (nove) amostras, apenas, para análise físico-química. Desse total de amostras analisadas, 30 (trinta) são de poços tubulares e 10 (dez) de poços do tipo manual.

Com o objetivo de coletar amostras de água para análises isotópicas (oxigênio-18 e deutério), dos mesmos pontos da coleta anterior, realizou-se uma terceira etapa de campo entre os dias 23 e 26 de fevereiro de 1999. Na oportunidade, mediu-se também a profundidade e o nível estático dos poços, bem como, a condutividade elétrica, a temperatura, o pH e o Eh das referidas amostras.

A quarta e última etapa de campo realizou-se entre os dias 08 e 22 de junho de 1999, com o objetivo de coletar amostras dos 40 (quarenta) pontos anteriormente visitados para análises físico-química e bacteriológica. Novamente foram medidas a condutividade elétrica, o pH e a temperatura das referidas amostras no local de coleta.



## **4.2 – ANÁLISES DE LABORATÓRIO**

As amostras de água dos poços foram encaminhadas ao Laboratório de Controle da Qualidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece, através de Convênio com o Curso de Pós-Graduação/Departamento de Geologia/UFC, para análise bacteriológica e dos elementos maiores;  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , além de outros elementos como Ferro total,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Al}^{++}$  e  $\text{O}_2$  consumido.

As medidas de oxigênio-18 e deutério foram feitas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, em Piracicaba – SP.

### **4.2.1 – Concentração dos Elementos Maiores**

As determinações das concentrações dos íons principais foram feitas usando os métodos padrões do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*: titrimétrico para  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ; agentométrico para  $\text{Cl}^-$  e; espectrofotometria de chama para  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ .

Determinação do cálcio e do magnésio - Para a determinação das concentrações de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  foi tomada uma amostra de 50mL e adicionado 2mL de hidróxido de sódio 1N. Em seguida, adicionado uma medida de Muxerida e agitado. A titulação foi feita com EDTA 0,01M.

Determinação do bicarbonato - A determinação da concentração de  $\text{HCO}_3^-$  foi feita tomando-se uma alíquota de 50mL e acrescentando-se 3 gotas de fenolftaleína. Após agitar, foi adicionado 3 gotas do indicador misto. A titulação foi feita com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 0,02N.

Determinação dos cloretos - A determinação da concentração de cloretos foi feita tomando-se uma amostra de 50mL e adicionando-se 3 gotas do indicador cromato de potássio. Em seguida, titulando-se com nitrato de prata 0,014N até a viragem de amarelo para

alaranjado. Após fazer-se um branco com água destilada e adicionar 3 gotas do indicador cromato de prata, novamente, titula-se com nitrato de prata.

Determinação do potássio e do sódio - A determinação das concentrações de  $K^+$  e  $Na^+$  foi feita por espectrofotometria de chama.

#### **4.2.2 – Análise Bacteriológica**

Para a determinação de coliformes foi utilizado o método cromogênico, que consiste basicamente de um meio reacional composto de sais e substratos específicos para o grupo dos coliformes totais e fecais, com resultados em 24 horas.

#### **4.2.3 – Análise Isotópica**

As medidas de  $^{18}O$  e D são feitas utilizando espectrômetro de massa, que consta essencialmente, de uma fonte que produz íons que são separados num campo magnético. O sistema de admissão de amostra é duplo para medir alternadamente a amostra e um padrão.

A análise de oxigênio-18 nas amostras é feita utilizando  $CO_2$  resultante do processo de troca isotópica entre uma amostra padrão de  $CO_2$  e a amostras de água a ser analisada. Após atingir o equilíbrio isotópico com a água, o  $CO_2$  é levado para medida em um espectrômetro de massa.

A medida de deutério com espectrômetro de massa é feita com a amostra de hidrogênio gasoso preparado em uma linha de vácuo. O método consiste em passar vapor de água sobre urânio metálico aquecido à temperatura de  $\approx 600^0 C$  ou acima. O urânio reage com o vapor de água formando óxido de urânio com desprendimento de hidrogênio.

### 4.3 - BALANÇO IÔNICO E ERRO PERCENTUAL

É de suma importância para os resultados da pesquisa hidroquímica, avaliar as informações das análises fornecidas pelos laboratórios. Essa avaliação é feita através do cálculo do erro da análise.

Numa análise hidroquímica completa, a concentração total dos cátions deve ser aproximadamente igual à concentração total dos ânions. O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise (E%) da seguinte maneira:

$$\text{Erro}(\%) = \left| \frac{\sum \text{ânions} + \sum \text{cátions}}{\sum \text{ânions} - \sum \text{cátions}} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

Conforme a definição de LOGAN (1965), o erro teórico é o erro prático máximo permitido levando-se em consideração os valores dos ânions ou cátions, conforme o quadro 4.1 a seguir:

QUADRO 4.1 - Erro admissível nas análises dos íons maiores (Fonte: LOGAN, 1965).

$\sum$ ânions ou $\sum$ cátions (meq/L)	< 1	1	2	6	10	30	> 30
Erro percentual (%)	15	10	6	4	3	2	1

O erro teórico também foi definido por CUSTÓDIO & LLAMAS (1983) como sendo o erro prático máximo permitido levando-se em consideração os valores de condutividade elétrica da água, conforme o quadro 4.2 a seguir:

QUADRO 4.2 - Erro admissível nas análises dos íons maiores, (Fonte: CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983) .

Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	50	200	500	2000	>2000
Erro percentual (%)	30	10	8	4	< 4

SHOELLER (1962) admite simplesmente que o erro do balanço iônico não pode ser superior a 5% para que a análise seja aceita como correta.

## **5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na figura 5.1 e na tabela 5.1 são apresentadas a localização e as respectivas coordenadas geográficas em UTM (Referente ao meridiano 39° e paralelo 10.000 Km) dos cem (100) pontos d'água amostrados na etapa de campo realizada dos dias 20 a 28 de julho de 1998, dos quais, cinquenta e sete (57) são poços tubulares, trinta e nove (39) são manuais (cacimbas ou poços amazonas) e quatro (4) são lagoas. Desses cem locais, quarenta que encontram-se destacados na referida tabela em vermelho, foram escolhidos para monitoramento de suas águas em etapas de campo subsequentes.

TABELA 5.1 - Tipo e localização dos pontos d'água amostrados em julho/98 na faixa costeira do município de Caucaia - Ce.

Poço Nº	Tipo	Localização	Coordenadas (UTM)	
			Long.	Lat.
P1	Tubular	Condomínio da Curva (Posto)	538033	9593060
P2	Manual	Restaurante Parada dos Amigos	537560	9593310
P3	Manual	Restaurante Parada dos Amigos	537560	9593310
<b>P4</b>	<b>Manual</b>	<b>Condomínio Super Quadra Klim</b>	<b>537377</b>	<b>9593430</b>
P5	Tubular	Condomínio Super Quadra Klim	537377	9593430
P6	Manual	Condomínio Caraçuí	537096	9593746
P7	Manual	Condomínio Ocean Pacific	536957	9593670
P8	Tubular	Condomínio Ocean Pacific	536957	9593670
P9	Manual	Condomínio José Vítor	536882	9593646
<b>P10</b>	<b>Manual</b>	<b>Condomínio Trevo</b>	<b>536946</b>	<b>9593550</b>
<b>P11</b>	<b>Manual</b>	<b>Condomínio Portal do Icaráí</b>	<b>536885</b>	<b>9593745</b>
P12	Manual	Condomínio Morada do Sol	536923	9594055
<b>P13</b>	<b>Tubular</b>	<b>Barraca Kabana</b>	<b>536545</b>	<b>9594343</b>
P14	Manual	Condomínio Village	536840	9594084
P15	Manual	Condomínio Village	536840	9594084

TABELA 5.1 – Continuação

Poço N <sup>o</sup>	Tipo	Localização	Coordenadas (UTM)	
			Long.	Lat.
P16	Manual	Condomínio Stela Maris	536478	9594165
<b>P17</b>	<b>Tubular</b>	<b>Condomínio Boa Vista</b>	<b>536317</b>	<b>9593922</b>
P18	Tubular	Condomínio Ivana Guimarães	536444	9593759
P19	Manual	Condomínio Santa Isabel	536537	9594252
P20	Manual	Condomínio Intermares	536371	9594315
<b>P21</b>	<b>Tubular</b>	<b>Condomínio Vereda Atlântica</b>	<b>536311</b>	<b>9594239</b>
P22	Tubular	Condomínio Vila Romana	535770	9594381
<b>P23</b>	<b>Manual</b>	<b>Condomínio Morada Ventos Leste</b>	<b>536045</b>	<b>9594626</b>
P24	Manual	Condomínio Morada Sol Nascente	536008	9594220
P25	Manual	Condomínio Viva Village	536086	9594397
P26	Tubular	Condomínio Frei Damião	535019	9595012
P27	Manual	Condomínio Terra do Sol	535510	9594749
P28	Tubular	Condomínio Mar del Plata II	535550	9594890
P29	Manual	Condomínio Icaraí Beach I	535517	9594847
P30	Tubular	Condomínio Village Mares do Sol	535719	9594773
<b>P31</b>	<b>Manual</b>	<b>Condomínio Panorama Privê</b>	<b>535789</b>	<b>9594903</b>
P32	Manual	Condomínio Esplanada do Icaraí	535606	9594887
P33	Manual	Residencial Ipacará	535006	9595006
<b>P34</b>	<b>Manual</b>	<b>Condomínio Mirante da Tabuba</b>	<b>534928</b>	<b>9595255</b>
P35	Tubular	Mercearia Tropicigas	534585	9595699
P36	Manual	Condomínio Donassé	534435	9595933
P37	Tubular	Condomínio Ondas Verdes	534418	9596028
<b>P38</b>	<b>Manual</b>	<b>Hotel Chalés do Atlântico</b>	<b>534463</b>	<b>9596136</b>
P39	Manual	Condomínio Mares da Tabuba	534135	9596454
P40	Manual	Condomínio Mirante da Atlântico	534198	9596529
P41	Manual	Condomínio Oceano Azul	533786	9596910
P42	Tubular	Condomínio Praia da Tabuba	533716	9596713
P43	Tubular	Condomínio Ventos do Mar	533771	9596680
P44	Tubular	Condomínio Blue Star	533714	9596562
<b>P45</b>	<b>Tubular</b>	<b>Condomínio Ornélia Reis</b>	<b>533590</b>	<b>9596533</b>

TABELA 5.1 – Continuação

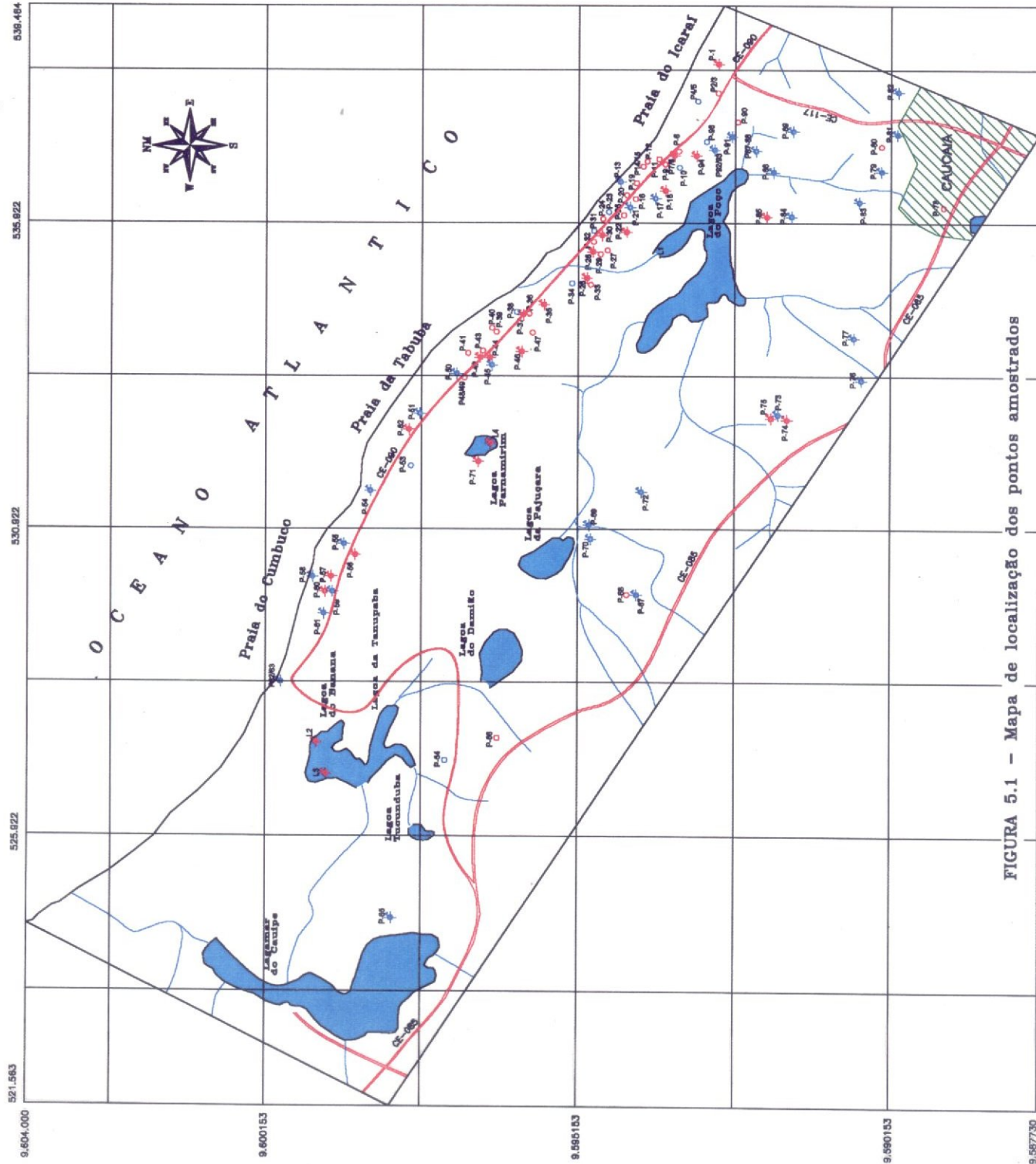
Poço N <sup>o</sup>	Tipo	Localização	Coordenadas (UTM)	
			Long.	Lat.
P46	Tubular	Residencial Tabuba	533814	9596053
P47	Manual	Condomínio Hilton Jr.	534120	9595882
P48	Manual	Tabuba Park Hotel	533387	9596966
P49	Tubular	Tabuba Park Hotel	533387	9596966
P50	Tubular	Poço Teste VBA/Cogerh	533422	9597008
P51	Tubular	Pousada Azumara	532802	9597680
P52	Tubular	Condomínio Vivendas do Cumbuco	532540	9597852
P53	Manual	Comunidade de Parazinho	531947	9597820
P54	Tubular	Pousada Tendas do Cumbuco	531540	9598470
P55	Tubular	Pousada Pouso das Águias	530671	9598890
P56	Tubular	Clube da Polícia Federal	530492	9598706
P57	Tubular	Residências no Cumbuco	530139	9599091
P5	Tubular	Barracas do Cumbuco	530207	9599495
P59	Tubular	Hotel Dunas do Cumbuco	529893	9599075
P60	Tubular	Restaurante Velas	529892	9599191
P61	Tubular	Pousada Elite	529534	9599214
P62	Tubular	Hotel Chalés dos Franceses	528424	9599909
P63	Tubular	Hotel Chalés dos Franceses	528424	9599909
P64	Manual	Sítio Santa Helena	527145	9597271
P65	Tubular	Chafariz de Pirapora	524594	9598126
P66	Manual	Rodovia Estruturante	527686	9596245
P67	Tubular	Chafariz Fazenda Garrote	529844	9594214
P68	Manual	Mercearia J.F.N. - Garrote	529922	9594240
P69	Tubular	Chafariz do Buriti do Emídio	530982	9594976
P70	Tubular	Chafariz da Pajuçara	530752	9594949
P71	Tubular	Unidade de Captação da Cagece	531891	9597003
P72	Tubular	Chafariz de São João Del Rey	531525	9594140
P73	Tubular	Chafariz do Alto do Garrote I	532785	9591955
P74	Tubular	Chafariz do Alto do Garrote II	532739	9591844
P75	Tubular	Lavanderia do Alto do Garrote	532729	9592064
P76	Tubular	Chafariz do Cipó	533350	9590619

TABELA 5.1 – Continuação

Local N <sup>o</sup>	Tipo	Localização	Coordenadas (UTM)	
			Long.	Lat.
P77	Tubular	Chafariz do Alto Alegre	534038	9590741
P78	Manual	Rua José Ferreira/ Mestre Antônio	536173	9589294
P79	Tubular	Chafariz de Mestre Antônio	536762	9590301
P80	Manual	Residência de Dona Clarice	537168	9590299
P81	Tubular	Chafariz do Camurupim I	537365	9590045
P82	Tubular	Chafariz do Camurupim II	538056	9590034
P83	Tubular	Chafariz de Santa Fé	536403	9590712
P84	Tubular	Colônia de Férias dos Securitários	536025	9591743
P85	Tubular	Chafariz do Gavião	536018	9592138
P86	Tubular	Chafariz da Barra Nova	536748	9592031
P87	Tubular	Sesc/Barra Nova	537097	9592315
P88	Tubular	Sesc/Barra Nova	537097	9592315
P89	Tubular	Sítio Sr. Arnóbio	537417	9591719
P90	Manual	Área Verde II	537347	9592765
P91	Tubular	Chafariz da Área Verde II	537330	9592698
P92	Tubular	Residência de Dona Zoé	537170	9593120
P93	Manual	Residência de Dona Zoé	537170	9593120
P94	Tubular	Residência do Sr. Valdir Sombra	536937	9593164
P95	Tubular	Residência do Sr. Fernando	537026	9593315
P96	Manual	Residência do Sr. Fernando	537026	9593315
L1	Lagoa	Barramento do rio Juá	536096	9594325
L2	Lagoa	Lagoa do Banana (margem)	527439	9599331
L3	Lagoa	Lagoa do Banana (meio)	527439	9599331
L4	Lagoa	Lagoa do Parnamirim	531891	9597003

Nesta tabela pode-se observar que, dos noventa e seis (96) poços cadastrados, cinquenta e oito (58) são utilizados por residências e condomínios, dezenove (19) estão em hotéis, pousadas e restaurantes e dezenove (19) poços estão em chafarizes públicos. As lagoas são utilizadas pela população para recreação e abastecimento doméstico.





**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- Área Urbana
- Rodovias
- Polygono de Estudo
- Poço Tubular Monitorado
- Poço Manual Monitorado
- Rio
- Lagoa
- Mangues
- Poço Tubular
- Poço Manual

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA NO CENTRO DA FOLHA 1997  
23o 28' W. CRESCER ANUALMENTE 5''

ESCALA GRÁFICA



FORNTE:  
Mapa de Localização Escala 1:100.000  
D.A.P.M., Brasília, Ago / 88

FIGURA 5.1 - Mapa de localização dos pontos amostrados

## 5.1 – POÇOS MONITORADOS

A tabela 5.2 mostra os valores de profundidade e nível estático medido em fevereiro e junho/99, condutividade elétrica e pH medidos nas quatro etapas de campo, das amostras coletadas em quarenta poços previamente selecionados do grupo de cem, representativos da área em estudo. Do total de amostras, trinta (30) são de poços tubulares e dez (10) são de poços manuais (cacimbas ou amazonas).

Estes dados mostram que vinte e um poços (52,5%) possuem profundidades iguais ou inferiores a 15 metros, onze (27,5%) têm profundidades maiores que quinze e menores ou iguais a trinta metros e oito poços (20%) apresentam profundidades maiores que trinta metros.

Com relação aos níveis estáticos, medidos em fevereiro de 1999, os valores variam de 2,0 metros a 25 metros, tendo dezesseis poços (40%) valores iguais ou inferiores a 5 metros, quinze (37,5%) valores variando entre 5 metros e 15 metros e, em nove poços (22,5%) o nível estático está acima de 15 metros. Em junho de 1999, vinte e três poços (57,5%) apresentaram nível estático menor ou igual a 5 metros, seis (15%) tinham valores entre 5 metros e 15 metros e um poço (2,5%) tinham nível estático acima de 15 metros.

Comparando os valores dos níveis estáticos medidos antes (fevereiro) e depois (junho) do período chuvoso, observa-se um significativo aumento em todos os pontos amostrados, com exceção dos poços P13 (0,2 m) e P72 (0,6 m). Os poços P79, P84, P87 e P89 apresentaram as maiores variações de, respectivamente, 16 m, 16,5 m, 18 m e 16 m. Este comportamento do nível estático demonstra a facilidade de recarga das zonas aquíferas na área estudada.

TABELA 5.2 - Profundidade, nível estático medido em fevereiro e junho/99, condutividade elétrica e pH medidos julho e setembro/98, fevereiro e junho/99.

Poço N <sup>o</sup>	Prof (m)	NE (m)		CE (µS/cm)				pH			
		2/99	6/99	7/98	9/98	2/99	6/99	7/98	9/98	2/99	6/99
P4	8,0	5,0	2,5	500	563	605	652	6,7	5,9	6,0	6,6
P10	9,2	7,0	2,5	500	535	442	462	6,1	5,9	6,0	6,7
P11	8,0	5,3	2,0	791	788	893	799	6,5	6,3	6,4	6,7
P13	4,5	3,7	3,5	-	530	605	418	-	7,7	7,2	7,2
P17	22,0	21,5	17,0	348	345	365	338	6,6	6,5	6,6	6,3
P21	5,2	4,7	1,8	600	600	662	749	6,6	6,5	6,5	6,6
P23	5,0	4,5	3,0	840	777	794	885	6,6	6,7	6,7	6,4
P31	4,5	4,0	3,0	413	464	495	454	7,0	7,0	7,1	7,0
P34	5,4	4,0	2,5	358	528	709	450	5,8	5,4	5,9	5,9
P38	6,0	4,0	3,2	552	578	562	611	7,0	7,1	7,0	6,7
P45	5,0	3,0	1,0	224	216	170	464	6,2	6,0	6,0	6,0
P50	16,0	2,5	1,5	-	212	-	187	-	6,3	-	5,7
P51	6,5	3,4	1,0	369	355	324	295	7,1	7,0	6,8	6,5
P53	6,0	2,0	0,0	-	167	429	157	-	7,1	7,3	8,9
P54	3,0	3,0	2,5	465	439	1012	444	7,0	7,0	7,7	6,8
P55	6,0	3,3	2,0	219	206	-	328	6,4	6,0	-	6,3
P58	6,0	2,0	1,0	488	438	1414	607	6,8	6,5	6,8	6,5
P59	11,0	7,0	5,0	188	231	226	212	6,1	5,9	6,1	5,9
P61	11,0	8,7	6,5	210	223	206	253	6,7	6,5	6,7	6,8
P62	4,5	2,5	1,5	362	370	530	572	6,5	6,6	6,9	6,3
P64	6,5	5,1	2,5	-	534	939	415	-	8,3	5,4	5,5
P65	21,0	8,2	6,3	-	206	173	205	-	7,5	5,0	4,6
P67	15,0	6,7	4,2	1075	1625	1871	904	6,0	7,8	6,6	5,6
P69	52,0	5,9	4,0	1866	1749	1700	1891	5,4	7,8	5,5	5,4
P70	19,0	11,5	2,0	3940	3810	3820	4050	6,2	7,8	6,3	6,1
P72	30,0	14,6	14,0	4700	4630	4400	4140	6,5	7,3	6,8	6,2
P73	26,0	20	13,0	1261	1282	1251	1269	6,7	5,0	6,7	6,6
P76	35,0	2,5	1,0	1193	1159	1208	728	5,8	7,6	7,0	5,7
P77	23,0	14,3	7,0	370	378	390	444	6,0	7,6	6,0	5,7
P79	35,0	25	9,0	1144	1127	1158	968	5,8	5,8	6,1	5,5

TABELA 5.2 – Continuação

Poço N <sup>o</sup>	Prof (m)	NE (m)		CE (µS/cm)				pH			
		2/99	6/99	7/98	9/98	2/99	6/99	7/98	9/98	2/99	6/99
P81	25,0	16,8	5,0	570	589	682	657	5,7	5,7	5,8	5,0
P82	35,0	20,0	11,0	-	815	810	805	-	6,9	7,1	6,4
P83	28,0	7,8	0,0	513	528	554	542	6,5	6,4	6,9	6,2
P84	37,0	17,0	0,5	503	475	741	485	6,9	6,8	6,9	6,7
P86	20,0	9,5	5,0	782	775	800	921	6,3	6,4	6,7	6,4
P87	50,0	25,0	7,0	520	529	622	592	6,3	6,6	7,2	6,6
P89	40,0	20,0	4,0	-	841	857	899	7,5	7,6	7,8	7,2
P91	50,0	20,0	15,0	1241	1349	1387	1237	7,5	7,6	7,4	7,1
P92	28,0	14,6	9,0	973	948	-	378	6,6	6,8	-	5,1
P96	12,0	11,0	4,0	462	604	-	639	5,1	5,0	-	5,5

## 5.2 – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Medidas de condutividade elétrica nos poços selecionados, feitas no campo em julho/98, setembro/98, fevereiro/99 e junho/99, estão mostradas na tabela 5.2. As três primeiras medidas foram feitas no período seco e a última depois do período chuvoso. Estas medidas são utilizadas para expressar a salinidade das águas.

As medidas nas trinta e três amostras coletadas em julho de 1998 mostram quinze valores inferiores a 500 µS/cm, dez na faixa de 500 µS/cm a 1000 µS/cm, cinco acima de 1000 µS/cm e abaixo de 1500 µS/cm e três têm valores superiores a 1500 µS/cm. A amostra P72 é a que apresenta maior condutividade elétrica, com 4700 µS/cm, seguida pelas amostras P70 e P69, respectivamente, com 3940 µS/cm e 1866 µS/cm.

Na segunda coleta, em setembro de 1998, do total de quarenta amostras, quinze apresentam valores de condutividade elétrica inferiores a 500 µS/cm, dezessete estão acima

desse valor e abaixo de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , quatro são superiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e inferiores a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e quatro têm valores acima de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Novamente as amostras P72, P70 e P69 apresentaram os maiores valores de condutividade com, respectivamente, 4630  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 3810  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1749  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , seguidas pela amostra P67, com 1625  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Das trinta e seis amostras coletadas na terceira etapa de campo, realizada em fevereiro de 1999, dez apresentam valores de condutividade inferiores a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dezesseis têm valores entre 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , seis estão na faixa de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e, como nas etapas anteriores, as amostras P72, P70, P67 e P69 são as que apresentam os maiores valores, respectivamente com 4400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 3820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 1871  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Na quarta e última coleta, em junho de 1999, dezoito amostras apresentam valores de condutividade elétrica inferiores a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dezessete estão acima deste valor e abaixo de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , duas são superiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e inferiores a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e três amostras (P69, P70 e 72) têm valores acima de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo respectivamente, 4140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 4050  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 1891  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Comparando os resultados das quatro coletas, observa-se que as amostras P69, P70 e P72, as de maiores condutividades elétricas, pertencem a uma zona aquífera distinta das demais, assim como, as amostras P67, P73, P76 e P91 também se destacam da maioria, formando o conjunto das águas mais salinas.

### **5.3 – pH**

Medidas de pH na primeira coleta, em julho de 1998, mostram que, das trinta e quatro amostras coletadas, vinte e oito são ácidas, três são alcalinas e três são neutras. Os valores variam entre 5,1 e 7,5, respectivamente, nos pontos P96 e P89.

Na segunda coleta, das quarenta amostras coletadas, vinte e quatro são ácidas, treze são alcalinas e 3 são neutras. A amostra do poço P96 continua sendo a mais ácida, com pH 5,0, enquanto que a amostra P64, com pH 8,3, é a mais alcalina.

Na coleta realizada em fevereiro de 1999, do total de trinta e seis amostras, vinte e seis apresentam valores de pH ácido, oito têm pH alcalino e duas amostras têm valores neutros. Os valores variam entre 5,9 e 7,4, exceto os das amostras P65, P64 e P69 que são mais ácidas, respectivamente, com pH 5,0, 5,4 e 5,5, e das amostras P89 (pH 7,8) e P54 (pH 7,7) que são as mais alcalinas.

Na quarta e última etapa de campo, realizada em junho de 1999, os valores de pH das quarenta amostras coletadas variam de 4,6 a 8,9, sendo que, trinta e cinco delas apresentam valores de pH ácido, quatro têm pH alcalino e apenas uma amostra possui pH neutro

Uma comparação das medidas de pH de campo nas quatro coletas, pode ser feita com os dados da tabela 5.2 que mostra a predominância de águas ácidas. Valores acima de 7,0 aparecem somente nos locais P13, P31, P38, P51, P53, P54, P89 e P91.

Essas variações nos valores de pH indicam que as águas estão em constante interação com as águas de recarga ou com as rochas formadoras do aquífero.

#### **5.4 – CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA**

As tabelas 5.3 e 5.4 apresentam os valores de condutividade elétrica e concentrações iônicas, em miligramas por litro (mg/L), das amostras coletadas em setembro de 1998 e em junho de 1999, respectivamente. Os referidos valores das concentrações dos íons expressos em miliequivalente por litro (meq/L) estão mostrados nas tabelas 5.5 e 5.6, onde aparecem também a soma dos cátions e a soma dos ânions, além do erro percentual das análises expresso pela equação 4.1 de acordo com a definição de LOGAN (1965).

TABELA 5.3 - Condutividade elétrica e concentrações iônicas das amostras d'água coletadas em setembro/98.

Poço N <sup>o</sup>	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	Concentrações (mg/L)							
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub>
P4	563	42,4	20,8	19,3	7,3	55	82	10,6	56,0
P10	535	33,6	17,7	31,3	7,3	57	60	51,8	2,9
P11	788	40,0	30,7	66,8	9,4	100	109	24,1	53,5
P13	530	28,0	31,4	22,7	4,2	38	113	7,6	31,6
P17	345	44,4	19,2	9,9	3,1	25	113	9,5	5,4
P21	600	58,0	17,5	31,3	3,8	59	129	10,4	14,9
P23	777	68,4	18,9	49,0	9,4	66	154	9,7	49,1
P31	464	45,2	16,3	24,8	3,4	42	123	18,5	3,8
P34	528	25,4	20,6	40,4	8,3	68	23	22,8	42,8
P38	578	28,0	34,8	34,3	4,6	52	161	14,8	4,5
P45	216	24,0	5,5	9,9	2,7	16	53	8,9	2,8
P50	212	25,2	7,7	8,8	2,7	18	75	1,7	1,8
P51	355	43,6	14,8	11,0	2,4	26	120	2,1	2,2
P53	167	20,0	12,0	6,0	2,4	20	49	6,37	3,2
P54	439	44,4	21,3	9,4	3,4	16	178	2,1	2,0
P55	206	29,2	6,0	6,0	2,4	21	66	6,5	2,0
P58	438	54,8	12,9	14,1	3,1	28	136	9,6	7,0
P59	231	22,0	10,5	7,8	3,8	33	53	3,19	2,0
P61	223	30,4	13,9	5,6	3,4	15	8,3	1,1	5,4
P62	370	35,2	13,4	29,4	3,8	31	110	9,3	3,8
P64	534	13,6	14,6	70,6	6,8	155	26	4,3	1,1
P65	206	27,2	15,8	8,6	2,7	45	58	0,4	1,4
P67	1625	32,4	43,9	169,0	60,0	393	74	13,5	1,2
P69	1749	66,8	63,1	502,0	30,0	1131	119	15,8	0,8
P70	3810	111,0	72,5	150,0	14,2	336	337	17,4	0,7
P72	4630	71,2	121,0	662,0	35,8	1714	105	7,3	0,8
P73	1282	12,4	13,2	245,0	7,3	312	107	4,7	0,7
P76	1159	30,8	31,4	132,0	19,1	232	70	46,7	12,6
P77	378	16,0	13,7	44,2	4,2	60	44	2,9	9,5

TABELA 5.3 – Continuação

Poço N <sup>o</sup>	CE ( $\mu$ S/cm)	Concentrações (mg/L)							
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
P79	1127	36,8	37,0	99,5	9,4	302	80	3,4	1,7
P81	589	9,6	13,9	81,2	6,4	139	76	6,1	1,3
P82	815	12,0	10,8	133,0	5,9	157	142	9,7	3,1
P83	528	19,6	18,7	51,4	5,9	80	110	4,8	2,1
P84	475	9,2	7,7	76,6	4,2	66	118	7,07	1,2
P86	775	35,2	88,0	67,6	4,6	245	128	6,15	5,4
P87	529	10,0	9,1	82,8	4,6	82	127	9,5	1,2
P89	841	35,2	21,8	103,5	5,9	178	150	28,5	1,8
P91	1349	43,2	34,6	198,0	10,5	344	133	15,6	2,5
P92	948	17,2	16,3	137,5	8,3	206	120	12,6	1,7
P96	604	15,2	9,6	78,1	11,7	137	19	10,4	0,2

TABELA 5.4 - Condutividade elétrica e concentrações iônicas das amostras d'água coletadas em junho/99.

Poço N <sup>o</sup>	CE ( $\mu$ S/cm)	Concentrações (mg/L)							
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
P4	652	42,0	13,4	32,0	6,4	77	109	21,5	20,7
P10	462	42,0	15,6	13,1	7,3	30	127	30,8	3,4
P11	799	54,4	22,5	39,0	8,9	80	125	34,1	34,8
P13	418	42,4	12,4	14,5	4,2	48	95	15,1	5,8
P17	338	41,5	10,3	9,2	2,7	23	142	11,3	6,3
P21	749	54,0	27,6	32,0	6,4	66	118	41,4	20,3
P23	885	64,0	27,6	49,0	11,7	92	146	30,4	49,0
P31	454	39,6	13,4	20,8	3,8	52	120	24,3	2,4
P34	450	40,0	10,3	32,0	7,8	57	42	30,8	16,7
P38	611	53,2	16,0	28,0	3,4	68	154	50,7	2,3
P45	464	53,2	9,6	13,1	3,8	43	125	39,6	1,9
P50	187	17,6	12,2	7,1	2,4	15	52	13,5	2,1
P51	295	40,0	4,3	12,1	3,4	23	113	5,16	1,7
P53	157	24,0	0,24	4,8	2,4	12	37	4,5	2,0



TABELA 5.4 – Continuação

Poço N <sup>o</sup>	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Concentrações (mg/L)							
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
P54	444	64,4	8,6	9,2	3,4	14	165	17,2	1,1
P55	328	42,0	6,9	6,1	2,1	11	100	8,0	1,2
P58	607	56,0	22,8	16,7	6,4	29	184	40,4	1,7
P59	212	20,0	6,7	7,1	3,4	12	65	6,8	2,3
P61	253	32,4	9,3	4,8	2,7	7	86	8,0	1,6
P62	572	52,0	24	25,4	3,8	53	162	22,7	1,7
P64	415	12,4	9,3	37,0	5,0	88	30	14,0	2,1
P65	205	0,0	5,7	18,3	3,1	39	10	2,9	4,1
P67	904	22,4	11,7	75,7	107	126	132	41,3	5,7
P69	1891	132,0	100,8	117,5	12,9	395	365	15,7	1,4
P70	4050	80,0	90,0	480,0	31,9	1198	141	25,2	0,9
P72	4140	30,0	112,0	520,0	23,9	1111	58	11,3	9,1
P73	1269	10,0	14,6	147,5	6,4	279	100	6,3	2,1
P76	728	22,0	18,0	80,3	13,6	120	80	39,6	11,6
P77	444	14,4	12,0	46,0	4,6	68	39	3,2	26,4
P79	968	20,8	29,5	62,5	10,5	191	33	7,0	23,3
P81	657	10,8	12,7	91,7	7,8	149	52	9,5	2,9
P82	805	12,4	10,6	108,5	7,3	149	131	19,2	3,8
P83	542	17,2	19,7	42,0	7,3	77	109	6,3	2,9
P84	485	9,6	10,6	81,9	5,0	61	111	14,4	1,7
P86	921	35,6	33,6	77,2	5,9	156	122	8,4	4,8
P87	592	12,0	10,8	90,0	5,5	87	126	20,4	2,0
P89	899	27,2	17,3	80,3	6,4	97	127	11,1	8,1
P91	1237	31,2	27,1	127,0	8,9	30,8	110	36,0	1,7
P92	378	3,6	9,8	30,0	3,8	84	9	6,6	3,2
P96	639	31,6	19,4	41,0	5,9	123	62	26,3	11,1

TABELA 5.5 - Concentrações dos íons maiores em miliequivalente por litro das amostras d'água coletadas em setembro/98.

Poço N <sup>o</sup>	Concentrações (meq/L)										Erro %
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ <sup>-</sup>	
P4	2,12	1,71	0,84	0,19	4,85	1,55	1,64	0,22	4,00	7,41	<b>20,9</b>
P10	1,68	1,46	1,36	0,19	4,68	1,61	1,20	1,08	0,21	4,09	<b>6,7</b>
P11	2,00	2,52	2,91	0,24	7,67	2,82	2,18	0,50	3,82	9,32	<b>9,7</b>
P13	1,40	2,58	0,99	0,11	5,07	0,99	2,26	0,16	2,26	5,66	<b>5,5</b>
P17	2,22	1,58	0,43	0,08	4,30	0,71	2,26	0,20	0,39	3,55	<b>9,7</b>
P21	2,89	1,44	1,36	0,10	5,79	1,66	2,58	0,22	1,06	5,52	<b>2,4</b>
P23	3,41	1,55	2,13	0,24	7,34	1,86	3,08	0,20	3,51	8,65	<b>8,2</b>
P31	2,26	1,34	1,08	0,09	4,76	1,18	2,46	0,39	0,27	4,30	<b>5,1</b>
P34	1,27	1,69	1,76	0,21	4,93	1,92	0,46	0,47	3,06	5,91	<b>9,0</b>
P38	1,40	2,86	1,49	0,12	5,87	1,47	3,22	0,31	0,32	5,31	<b>5,0</b>
P45	1,20	0,45	0,43	0,07	2,15	0,45	1,06	0,19	0,20	1,90	<b>6,3</b>
P50	1,26	0,63	0,38	0,07	2,34	0,51	1,50	0,04	0,13	2,17	<b>3,8</b>
P51	2,18	1,22	0,48	0,06	3,93	0,73	2,40	0,04	0,16	3,33	<b>8,3</b>
P53	1,00	0,99	0,26	0,06	2,31	0,56	0,98	0,13	0,23	1,90	<b>9,5</b>
P54	2,22	1,75	0,41	0,09	4,46	0,45	3,56	0,04	0,14	4,19	<b>3,1</b>
P55	1,46	0,49	0,26	0,06	2,27	0,59	1,32	0,14	0,14	2,19	<b>1,9</b>
P58	2,73	1,06	0,61	0,08	4,49	0,79	2,72	0,20	0,50	4,21	<b>3,2</b>
P59	1,10	0,86	0,34	0,10	2,40	0,93	1,06	0,07	0,14	2,20	<b>4,3</b>
P61	1,52	1,14	0,24	0,09	2,99	0,42	1,66	0,02	0,39	2,49	<b>9,1</b>
P62	1,76	1,10	1,28	0,10	4,23	0,87	2,20	0,19	0,27	3,54	<b>9,0</b>
P64	0,68	1,20	3,07	0,17	5,12	4,37	0,52	0,09	0,08	5,06	<b>0,6</b>
P65	1,36	1,30	0,37	0,07	3,10	1,27	1,16	0,01	0,10	2,54	<b>10,0</b>
P67	1,62	3,61	7,34	1,53	14,10	11,09	1,48	0,28	0,09	12,93	<b>4,3</b>
P69	3,33	5,19	21,84	0,77	31,13	31,90	2,38	0,33	0,06	34,67	<b>5,4</b>
P70	5,55	5,96	6,52	0,36	18,40	9,48	6,73	0,36	0,05	16,62	<b>5,1</b>
P72	3,55	9,95	28,80	0,92	43,21	48,35	2,10	0,19	0,06	50,69	<b>8,0</b>
P73	0,62	1,09	10,66	0,19	12,55	8,80	2,14	0,10	0,05	11,09	<b>6,2</b>
P76	1,54	2,58	5,76	0,49	10,37	6,54	1,40	0,97	0,90	9,81	<b>2,7</b>
P77	0,80	1,13	1,92	0,11	3,96	1,69	0,88	0,06	0,68	3,31	<b>8,9</b>

TABELA 5.5 – Continuação

Poço N <sup>o</sup>	Concentrações (meq/L)										Erro %
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ <sup>-</sup>	
P79	1,84	3,04	4,33	0,24	9,45	8,52	1,60	0,07	0,12	10,31	<b>4,4</b>
P81	0,48	1,14	3,53	0,16	5,32	3,92	1,52	0,13	0,09	5,66	<b>3,1</b>
P82	0,60	0,89	5,79	0,15	7,42	4,43	2,84	0,20	0,22	7,69	<b>1,8</b>
P83	0,98	1,54	2,24	0,15	4,90	2,26	2,20	0,10	0,09	4,64	<b>2,7</b>
P84	0,46	0,63	3,33	0,11	4,53	1,86	2,36	0,15	0,09	4,54	<b>0,9</b>
P86	1,76	7,24	2,94	0,12	12,05	6,91	2,56	0,13	0,39	9,98	<b>9,4</b>
P87	0,50	0,75	3,60	0,12	4,97	2,31	2,54	0,20	0,09	5,13	<b>1,7</b>
P89	1,76	1,79	4,50	0,15	8,20	5,02	3,00	0,59	0,13	8,74	<b>3,2</b>
P91	2,16	2,85	8,61	0,27	13,88	9,70	2,66	0,32	0,18	12,86	<b>3,8</b>
P92	0,86	1,34	5,98	0,21	8,39	5,81	2,40	0,26	0,12	8,59	<b>1,2</b>
P96	0,76	0,79	3,40	0,30	5,24	3,86	0,38	0,22	0,00	4,47	<b>7,9</b>

TABELA 5.6 - Concentrações dos íons maiores em miliequivalente por litro das amostras d'água coletadas em junho/99

Poço N <sup>o</sup>	Concentrações (meq/L)										Erro %
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ <sup>-</sup>	
P4	2,59	1,10	1,39	0,16	5,25	2,17	2,18	0,45	1,48	6,28	<b>8,9</b>
P10	2,10	1,28	0,57	0,19	4,14	0,85	2,54	0,64	0,24	4,27	<b>1,6</b>
P11	2,71	1,85	1,70	0,23	6,49	2,26	2,50	0,71	2,49	7,95	<b>10,1</b>
P13	2,12	1,02	0,63	0,11	3,87	1,35	1,90	0,31	0,41	3,98	<b>1,4</b>
P17	2,07	0,85	0,40	0,07	3,39	0,65	2,84	0,24	0,45	4,17	<b>10,4</b>
P21	2,69	2,27	1,39	0,16	6,52	1,86	2,36	0,86	1,45	6,53	<b>0,1</b>
P23	3,19	2,27	2,13	0,30	7,89	2,59	2,92	0,63	3,50	9,65	<b>10,0</b>
P31	1,98	1,10	0,90	0,10	4,08	1,47	2,40	0,51	0,17	4,54	<b>5,4</b>
P34	2,00	0,85	1,39	0,20	4,44	1,61	0,84	0,64	1,19	4,28	<b>1,8</b>
P38	2,65	1,32	1,22	0,09	5,28	1,92	3,08	1,06	0,16	6,21	<b>8,2</b>
P45	2,65	0,79	0,57	0,10	4,11	1,21	2,50	0,82	0,14	4,67	<b>6,4</b>
P50	0,88	1,00	0,31	0,06	2,25	0,42	1,04	0,28	0,15	1,89	<b>8,6</b>
P51	2,00	0,35	0,53	0,09	2,96	0,65	2,26	0,11	0,12	3,14	<b>2,8</b>

TABELA 5.6 – Continuação

Poço N <sup>o</sup>	Concentrações (meq/L)										Erro %
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ <sup>-</sup>	
P53	1,20	0,02	0,21	0,06	1,49	0,34	0,74	0,09	0,14	1,31	<b>6,2</b>
P54	3,21	0,71	0,40	0,09	4,41	0,39	3,30	0,36	0,08	4,13	<b>3,3</b>
P55	2,10	0,57	0,27	0,05	2,98	0,31	2,00	0,17	0,09	2,56	<b>7,6</b>
P58	2,79	1,88	0,73	0,16	5,56	0,82	3,68	0,84	0,12	5,46	<b>0,9</b>
P59	1,00	0,55	0,31	0,09	1,94	0,34	1,30	0,14	0,16	1,94	<b>0,0</b>
P61	1,62	0,76	0,21	0,07	2,66	0,20	1,72	0,17	0,11	2,20	<b>9,5</b>
P62	2,59	1,97	1,10	0,10	5,77	1,49	3,24	0,47	0,12	5,33	<b>4,0</b>
P64	0,62	0,76	1,61	0,13	3,12	2,48	0,60	0,29	0,15	3,52	<b>6,1</b>
P65	0,00	0,47	0,80	0,08	1,34	1,10	0,20	0,06	0,29	1,66	<b>10,4</b>
P67	1,12	0,96	3,29	2,74	8,11	3,55	2,64	0,86	0,41	7,46	<b>4,2</b>
P69	6,59	8,29	5,11	0,33	20,32	11,14	7,29	0,33	0,10	18,86	<b>3,7</b>
P70	3,99	7,40	20,88	0,82	33,09	33,79	2,82	0,52	0,06	37,20	<b>5,8</b>
P72	1,50	9,21	22,62	0,61	33,94	31,34	1,16	0,24	0,65	33,38	<b>0,8</b>
P73	0,50	1,20	6,42	0,16	8,28	7,87	2,00	0,13	0,15	10,15	<b>10,1</b>
P76	1,10	1,48	3,49	0,35	6,42	3,38	1,60	0,82	0,83	6,64	<b>1,7</b>
P77	0,72	0,99	2,00	0,12	3,82	1,92	0,78	0,07	1,89	4,65	<b>9,8</b>
P79	1,04	2,43	2,72	0,27	6,45	5,39	0,66	0,15	1,66	7,86	<b>9,8</b>
P81	0,54	1,05	3,99	0,20	5,77	4,20	1,04	0,20	0,21	5,64	<b>1,1</b>
P82	0,62	0,87	4,72	0,19	6,39	4,20	2,62	0,40	0,27	7,49	<b>7,9</b>
P83	0,86	1,62	1,83	0,19	4,49	2,17	2,18	0,13	0,21	4,69	<b>2,2</b>
P84	0,48	0,87	3,56	0,13	5,04	1,72	2,22	0,30	0,13	4,36	<b>7,2</b>
P86	1,78	2,76	3,36	0,15	8,05	4,40	2,44	0,17	0,34	7,35	<b>4,5</b>
P87	0,60	0,89	3,91	0,14	5,54	2,45	2,52	0,43	0,14	5,54	<b>0,0</b>
P89	1,36	1,42	3,49	0,16	6,43	2,74	2,54	0,23	0,58	6,08	<b>2,8</b>
P91	1,56	2,23	5,52	0,23	9,54	8,69	2,20	0,75	0,13	11,76	<b>10,4</b>
P92	0,18	0,81	1,30	0,10	2,39	2,37	0,18	0,14	0,23	2,91	<b>9,9</b>
P96	1,58	1,60	1,78	0,15	5,11	3,47	1,24	0,55	,080	6,05	<b>8,5</b>

Com o objetivo de avaliar a qualidade das medidas hidroquímicas fornecidas pelo laboratório, utilizou-se o quadro 5.1 para análise do erro admissível e as correlações entre a soma dos cátions ( $\Sigma^+$ ) e a soma dos ânions ( $\Sigma^-$ ).

Admitindo o valor limite aceitável para o erro, dependendo da soma dos cátions ou dos ânions, conforme é mostrado no quadro 5.1, observa-se que, das amostras coletadas em setembro de 1998, apenas oito amostras (P4, P11, P23, P69, P70, P72, P73 e P86) apresentam análises com erro acima do admissível. Nas amostras coletadas em junho de 1999, identifica-se análises com erro acima do admissível nos poços P4, P11, P23, P70, P73, P79, P82 e P91.

Comparando os resultados das duas medidas, vê-se que as amostras de cinco poços (P4, P11, P23, P70 e P73) apresentam erros elevados nas duas medidas.

QUADRO 5.1 - Erro admissível nas análises dos íons maiores (Adaptado de LOGAN,1965).

$\Sigma$ ânions ou $\Sigma$ cátions	1	2	6	14	30
Erro (%)	14	10	6	4	3

Correlacionando a soma dos cátions ( $\Sigma^+$ ) com a soma dos ânions ( $\Sigma^-$ ), expressos em meq/L, é possível observar graficamente as amostras que têm problemas em suas análises, representados pela distância do ponto à reta  $\Sigma^+ = \Sigma^-$ , conforme mostram as figuras 5.2a e 5.2b, respectivamente, para as amostras coletadas em setembro/98 e junho/99.

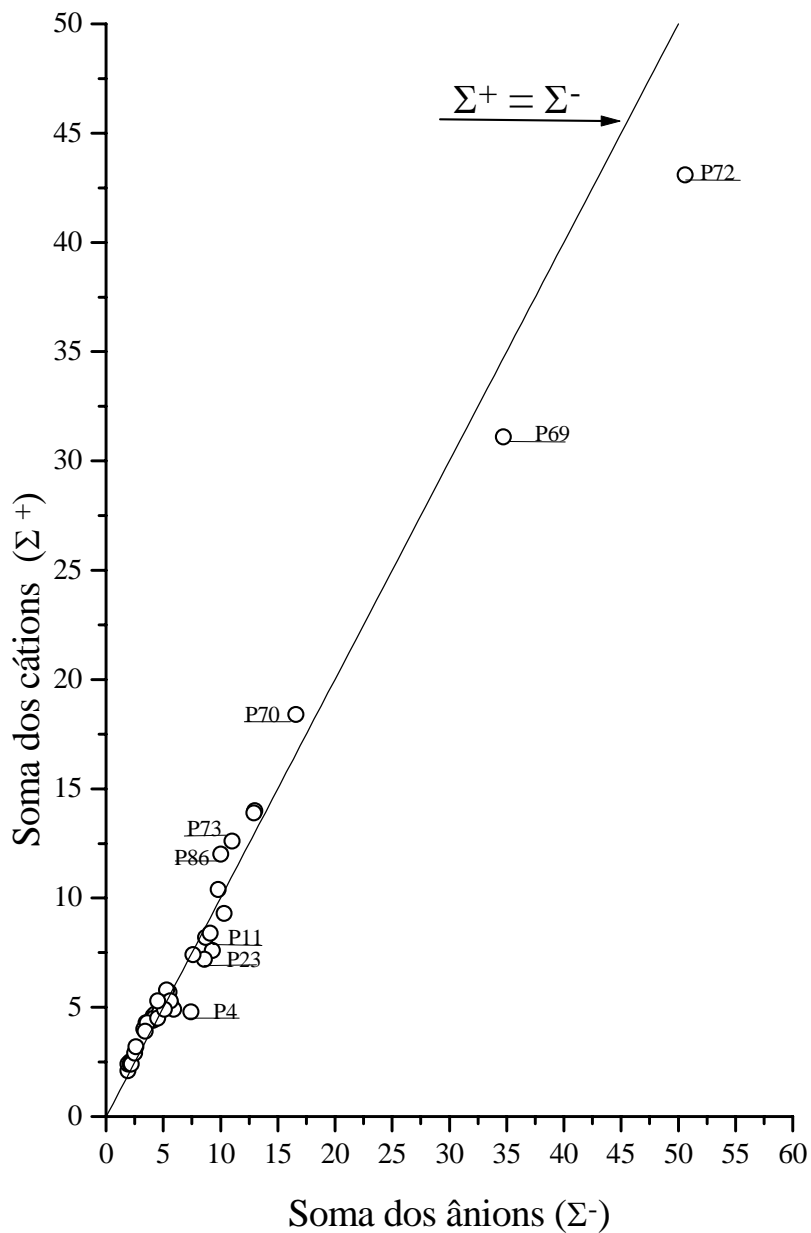


FIGURA 5.2a - Soma dos cátions em função da soma dos ânions das amostras coletadas em setembro/98.

Esta figura mostra que os maiores problemas ocorrem com as amostras mais salinas que são dos poços P69 e P72, mas não é o mesmo comportamento mostrado na figura 5.2b com os resultados da coleta de junho/99.

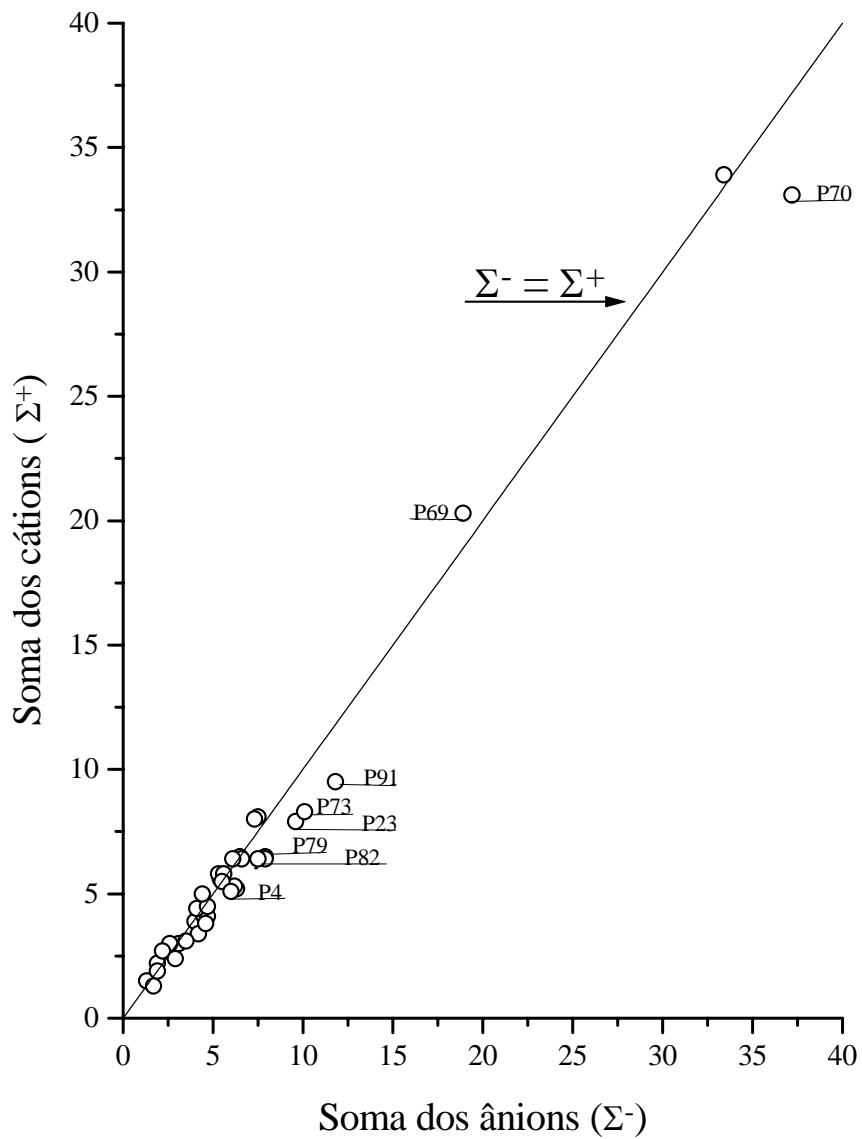


FIGURA 5.2b – Soma dos cátions em função da soma dos ânions das amostras coletadas junho/99.

Amostras com erro elevado não serão excluídas do conjunto, apenas serão identificadas de modo diferenciado das demais, pois, essas medidas são necessárias para fazer uma caracterização hidroquímica das amostras.

Para a caracterização química dessas águas, inicialmente foi feita uma análise comparativa simultânea das concentrações iônicas de todas as amostras das coletas, em setembro de 1998 e em junho de 1999, utilizando os diagramas de Piper mostrados nas figuras 5.3a e 5.3b. Observa-se que não existe água sulfatada e que há predominância das águas do tipo bicarbonatada mista a cálcica e cloretada sódica nas duas coletas.

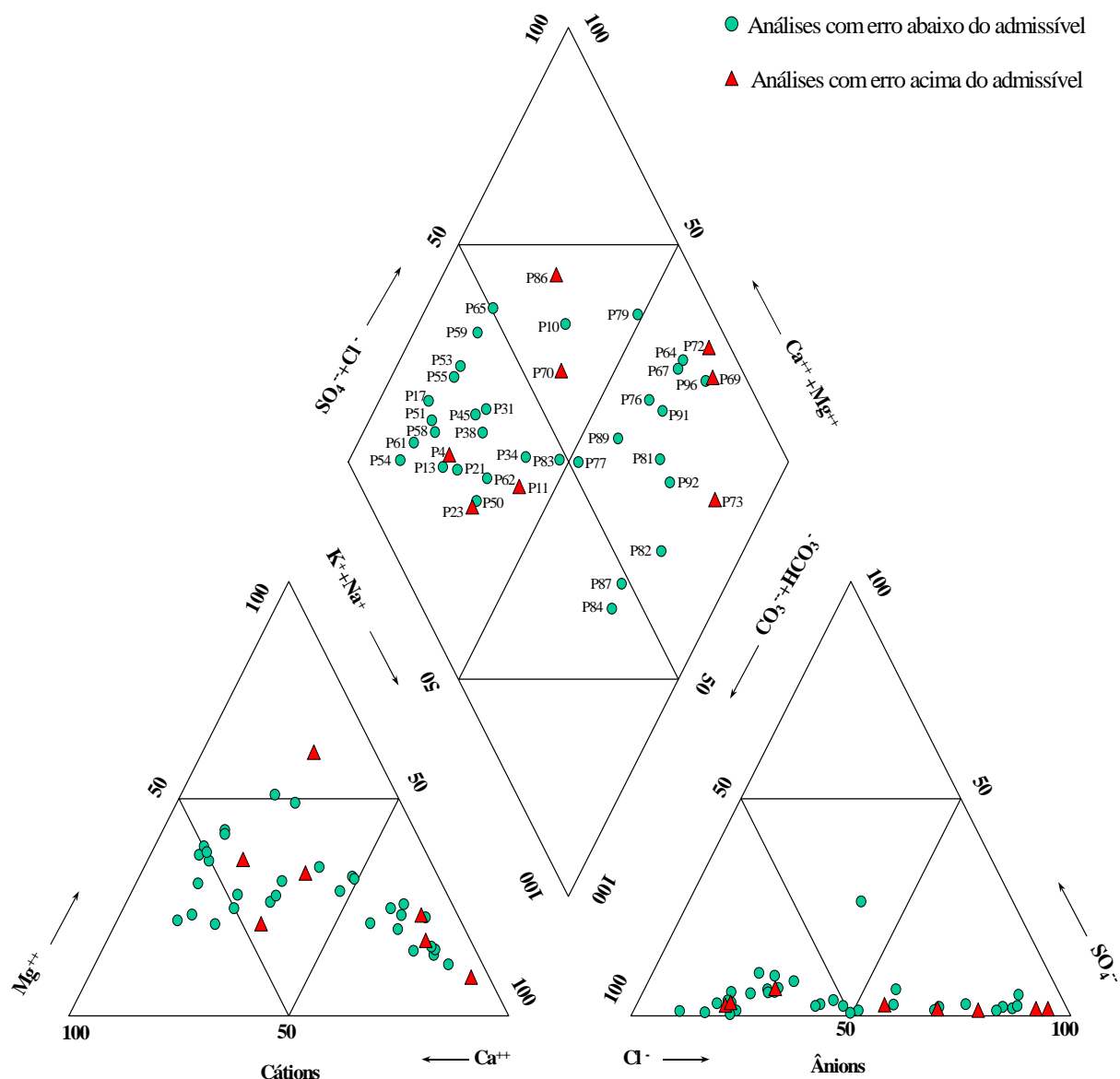


FIGURA 5.3a – Diagrama de Piper das amostras d'água coletadas em setembro/98



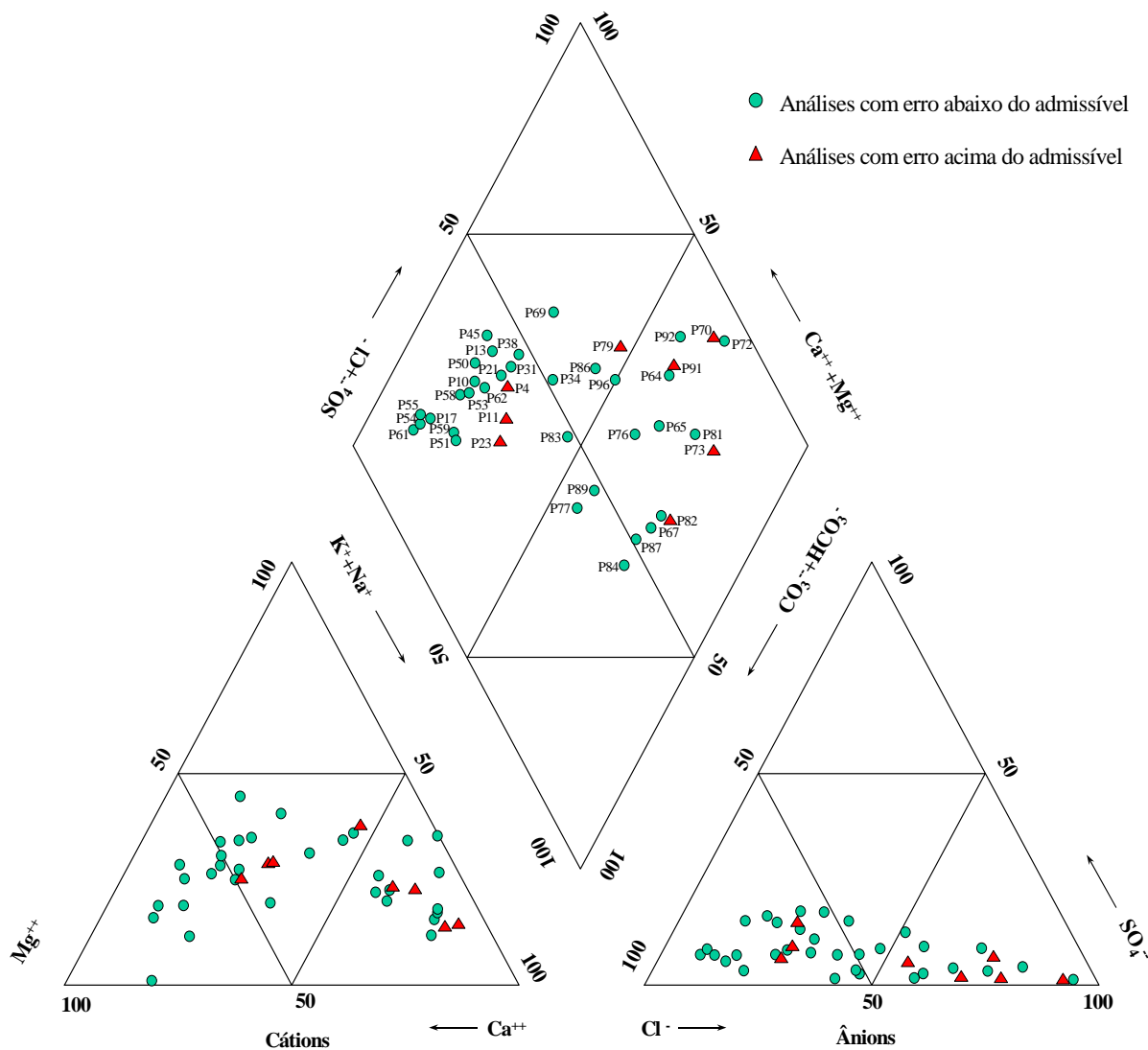


FIGURA 5.3b - Diagrama de Piper das amostras d'água coletadas em junho/99

Comparando os resultados das duas coletas, observa-se quanto aos ânions que, tinham águas bicarbonatadas 22 amostras na primeira coleta e 23 na segunda; tinham águas cloradas 16 amostras na primeira coleta e 14 na segunda; do tipo mista foram somente 2 amostras na primeira e 3 na segunda coleta.

Com relação aos cátions, amostras do tipo sódica foram 14 na primeira coleta e 19 na segunda coleta, do tipo cálcica foram 9 na primeira coleta e 12 na segunda e do tipo mista foram 15 na primeira e 12 na segunda

## 5.5 – CORRELAÇÕES ENTRE IONS E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Com os dados das tabelas 5.3 e 5.4, foram calculadas as correlações existentes entre cátions e ânions e entre as concentrações iônicas e a condutividade elétrica, estando os coeficientes de correlação mostrados nos quadros 5.2 e 5.3.

QUADRO 5.2 - Coeficientes de correlação entre cátions, ânions e condutividade elétrica de amostras d'água coletadas em setembro/98.

Concentração (mg/L)	Concentração (mg/L)				CE (μS/cm)
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
Cl <sup>-</sup>	0,41	0,80	0,98	0,67	0,93
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,15	0,09	0,08	0,20	0,14
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,66	0,36	0,14	0,00	0,47
CE (μS/cm)	0,63	0,82	0,89	0,63	1

QUADRO 5.3 - Coeficientes de correlação entre cátions, ânions e condutividade elétrica de amostras d'água coletadas em junho/99.

Concentração (mg/L)	Concentração (mg/L)				CE (μS/cm)
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
Cl <sup>-</sup>	0,25	0,87	0,98	0,30	0,98
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,37	0,05	- 0,01	0,31	0,07
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,81	0,42	0,06	0,12	0,22
CE (μS/cm)	0,34	0,91	0,97	0,33	1

Os resultados mostram que, nas duas coletas, os cloretos estão bem correlacionados com a condutividade elétrica e com as concentrações de Na<sup>+</sup> e Mg<sup>++</sup>, assim como, os bicarbonatos só estão bem correlacionados com as concentrações de Ca<sup>++</sup>.

Os parâmetros que apresentam maiores coeficientes de correlação estão apresentados na figura 5.4 (a, b), gráfico  $\text{Cl}^-$  versus CE, na figura 5.5 (a, b), gráfico de  $\text{Na}^+$  versus CE e na figura 5.6 (a, b), gráfico  $\text{Na}^+$  versus  $\text{Cl}^-$ .

Como mostram, as figuras 5.4a e 5.4b, na grande maioria das amostras, os cloretos são bem correlacionados com a condutividade elétrica, com exceção dos poços P69, P70 e P72 na coleta de setembro/98. Estes poços pertencem ao grupo dos que contém águas com os mais elevados valores de condutividade elétrica. É importante observar que na coleta de junho de 1999, logo após o período chuvoso, os valores de  $\text{Cl}^-$  e CE nestes poços estão próximos aos correspondentes à reta comum aos outros poços (Figura 5.4b).

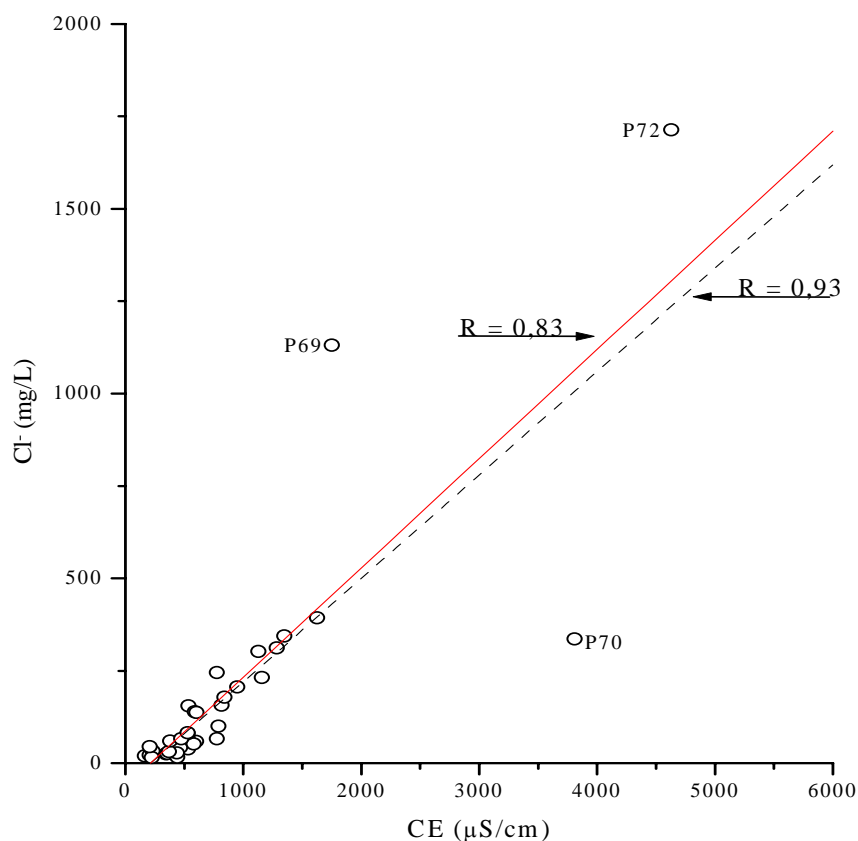


FIGURA 5.4a - Cloretos em função da condutividade elétrica nas amostras d'água coletadas em setembro/98.

Estes resultados mostram, que nem todas as águas do conjunto de poços amostrados possuem as mesmas características, ou seja, não pertencem a um único sistema aquífero. Retirando os poços P69, P70 e P72 do conjunto analisado, vê-se na figura 5.4a que o coeficiente de correlação aumenta de  $R = 0,83$  para  $R = 0,93$ , indicando um conjunto de amostras mais homogêneo.

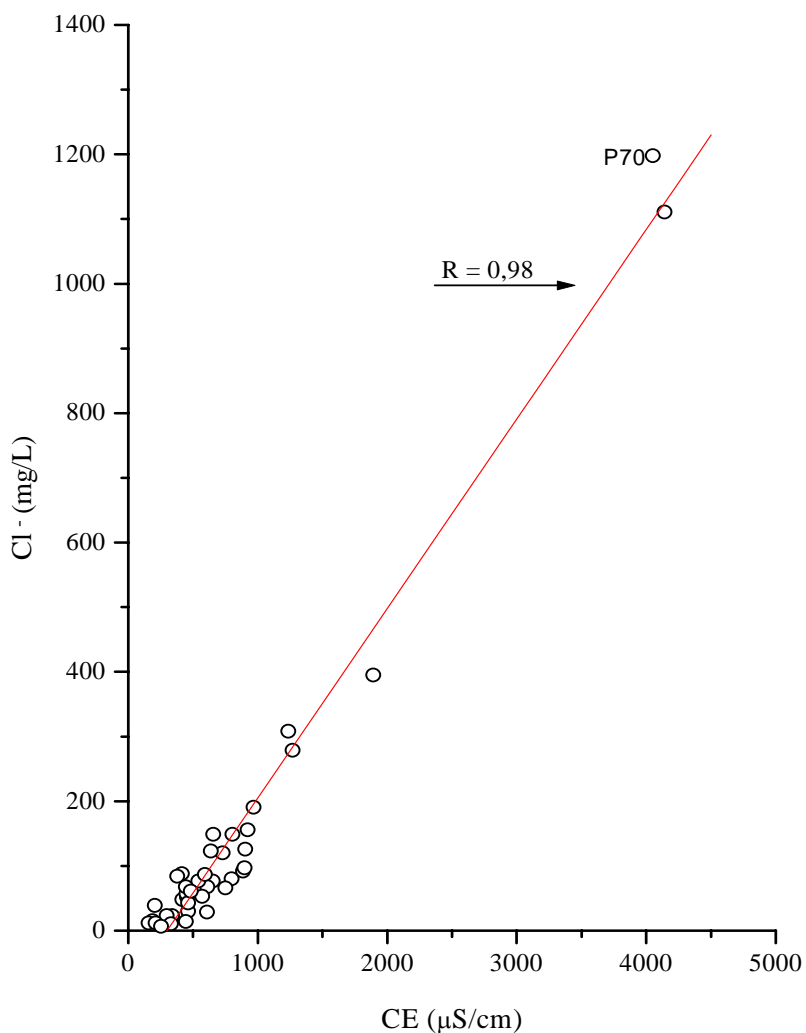


FIGURA 5.4b - Cloretos em função da condutividade elétrica nas amostras d'água coletas em junho/99.

Nas figuras 5.5a e 5.5b observa-se novamente, através da reta de correlação, que em grande parte das amostras, o sódio também se correlaciona com a condutividade elétrica, com exceção dos poços P69, P70 e P72. Eliminando estes poços do conjunto analisado, verifica-se que o coeficiente de correlação aumenta seu valor de  $R = 0,81$  para  $R = 0,89$ , reiterando a idéia de ter-se dois conjuntos distintos de amostras.

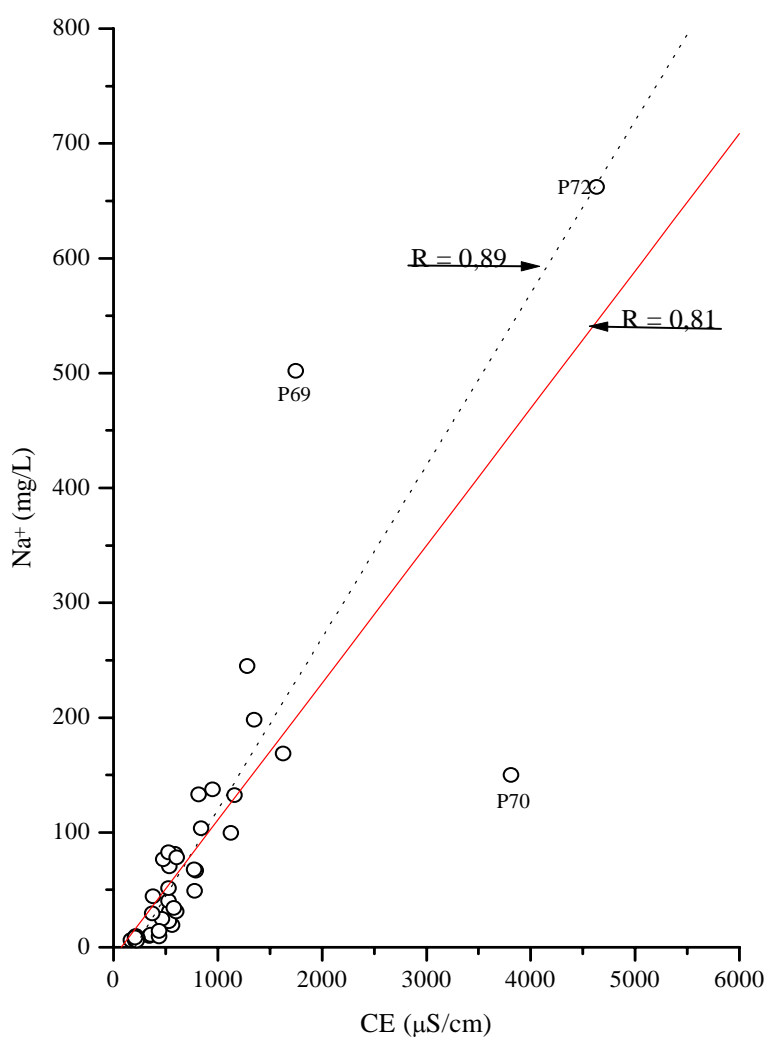


FIGURA 5.5a - Sódio em função da condutividade elétrica das amostras d'água coletadas em setembro/98.

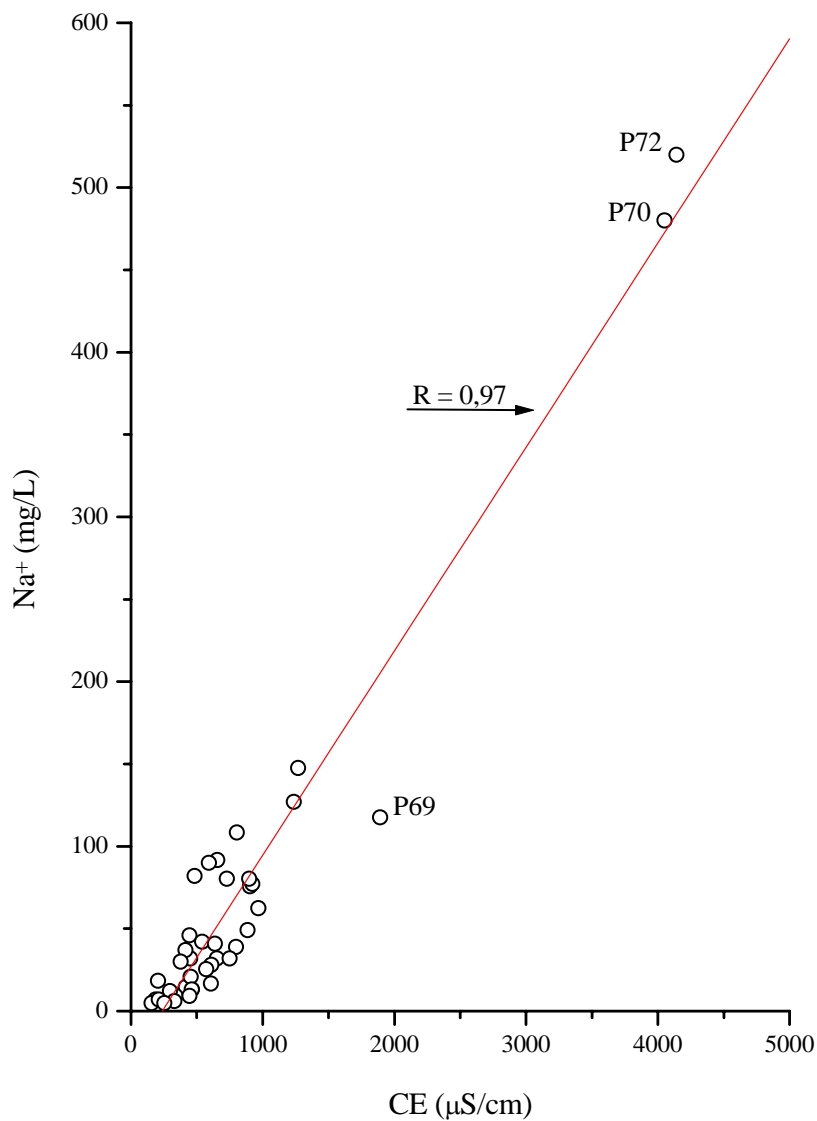


FIGURA 5.5b - Sódio em função da condutividade elétrica das amostras d'água coletadas em junho/99.

Na coleta de junho de 1999, utilizando todos os valores, mesmo para os poços P69, P70 e P72, o coeficiente de correlação é alto ( $R = 0,97$ ). Comparando os gráficos 5.5a e 5.5b pode-se constatar a mudança ocorrida nestes três poços, entre uma coleta e outra, que também pode ter ocorrido, em menor escala, nos outros poços.

Como o sódio e os cloretos são bem correlacionados com a condutividade elétrica, estas correlações sugerem construir os gráficos de sódio versus cloretos, mostrados nas figuras 5.6a e 5.6b. Os coeficiente de correlação nas duas coletas têm os valores iguais ( $R = 0,98$ ), indicando mais uma vez a presença de águas cloretadas sódicas.

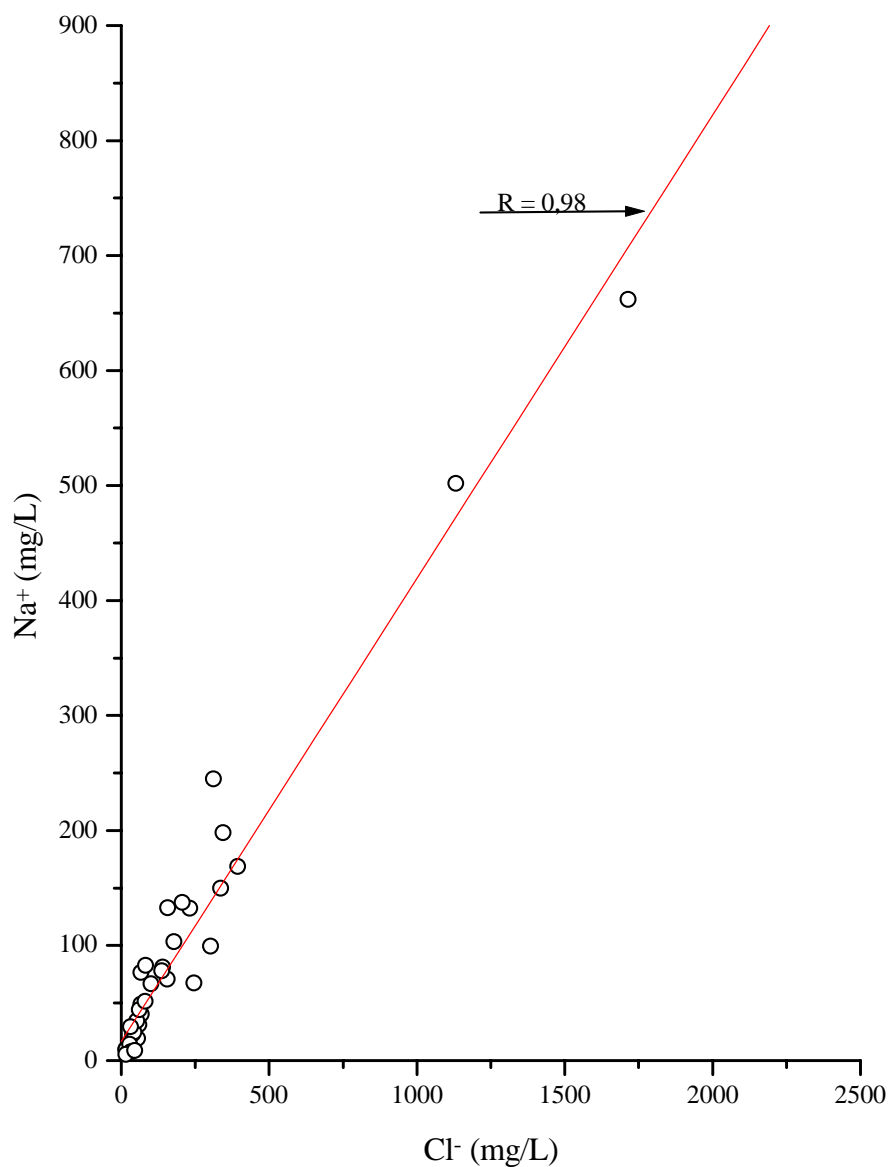


FIGURA 5.6a - Sódio em função dos cloretos das amostras d'água coletadas em setembro/99.

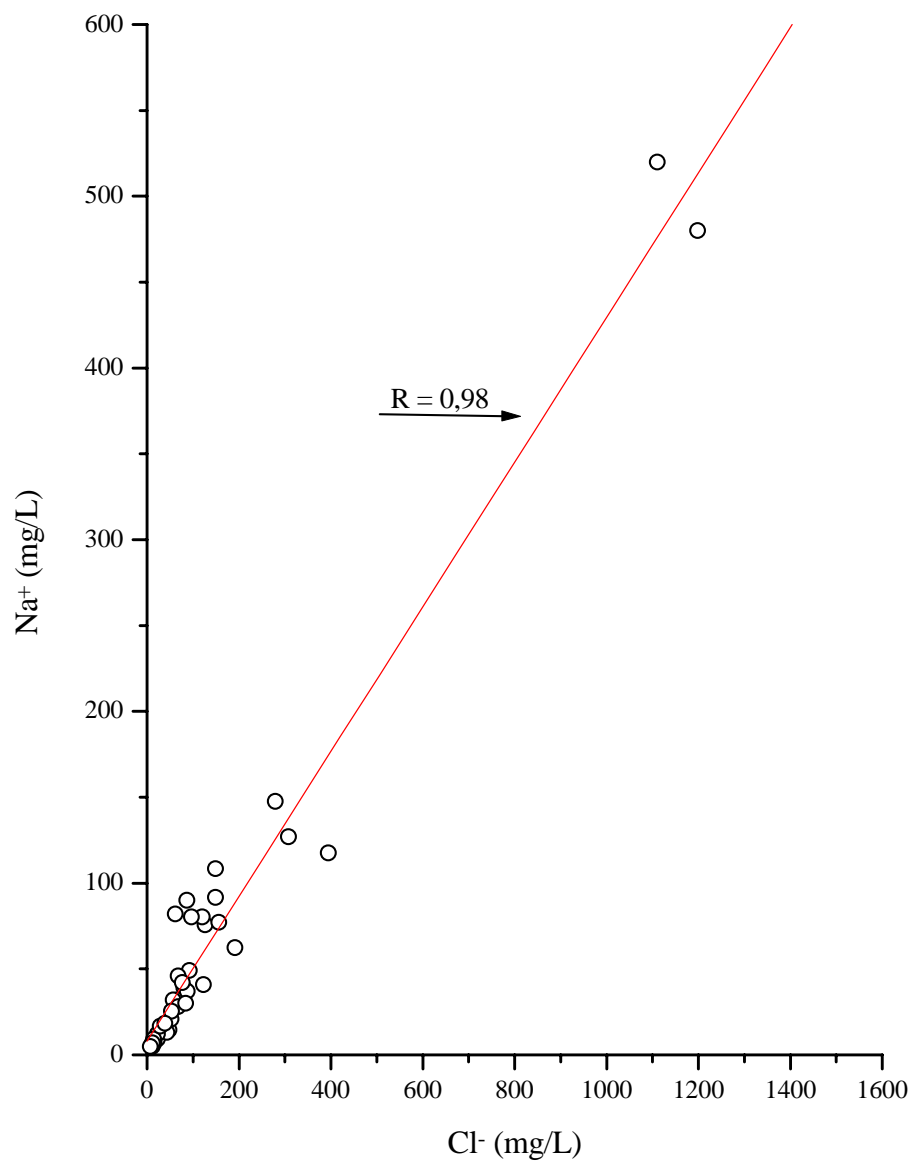


FIGURA 5.6b - Sódio em função dos cloretos das amostras d'água coletadas em junho/99.

O caráter de água cloretada sódica ou do sódio associado ao cloreto, fica mostrado claramente nas figuras 5.6a e 5.6b.



## 5.6 - ÁGUAS CLORETADAS SÓDICAS

Os histogramas das figuras 5.7 e 5.8 mostram que as razões  $rCl/rNa^+$  na maioria das amostras coletadas em setembro de 1998 e junho de 1999 são da ordem do valor da água do mar (Ver 3.1.1), e que, os valores das razões  $rMg^{++}/rCa^{++}$  estão numa faixa muito abaixo do valor da água do mar, com exceção dos poços P86, na coleta de setembro/98, P72 e P91, na coleta de junho/99, que apresentaram razões  $rMg^{++}/rCa^{++}$  em torno de 5,2.

Comparando os histogramas da figura 5.7, observa-se uma pequena variação no número de amostras nos intervalos de valores das razões  $rCl/rNa^+$  após o período chuvoso (junho/99), com a diminuição do número máximo de amostras no intervalo de 3,4 para 2,2. Notadamente, nesta segunda coleta as razões  $rCl/rNa^+$  apresentaram uma maior tendência ao valor da água do mar (1,17).

Comparando os histogramas da figura 5.8, observa-se que depois do período chuvoso (junho/99), há uma tendência a valores mais baixos da razão  $rMg^{++}/rCa^{++}$ , principalmente no intervalo de 0,25 a 1,75. É um comportamento semelhante ao observado na razão  $rCl/rNa^+$ .

Estes resultados mostram que as águas de recarga não são do tipo das águas armazenadas, mas que há processos internos no sistema aquífero que modificam a composição química das águas, como é esperado. São processos que aumentam o sódio em relação aos cloretos e aumentam o cálcio em relação ao magnésio.

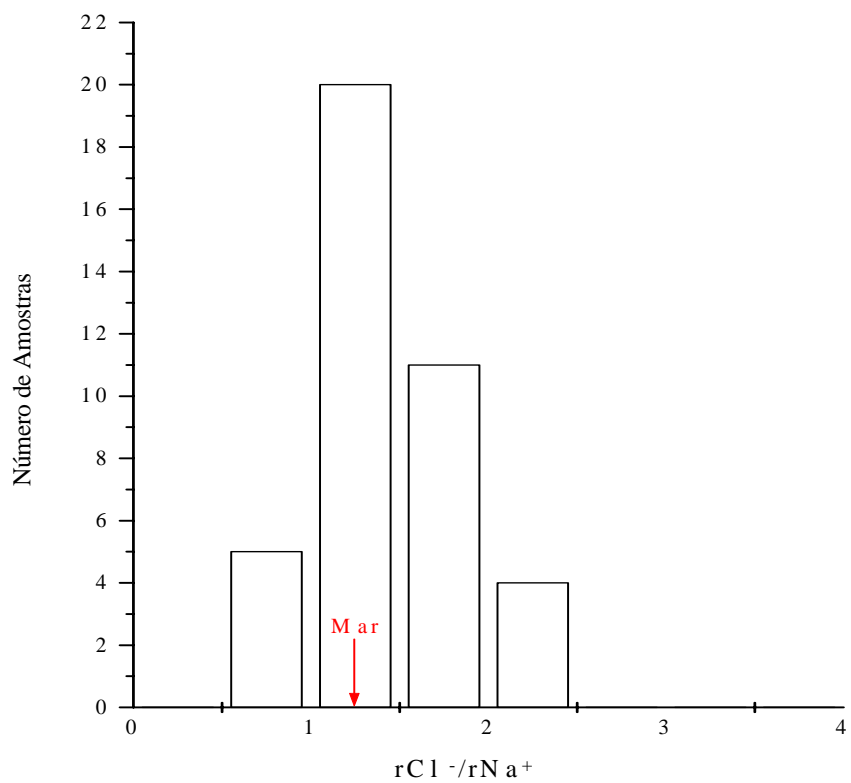
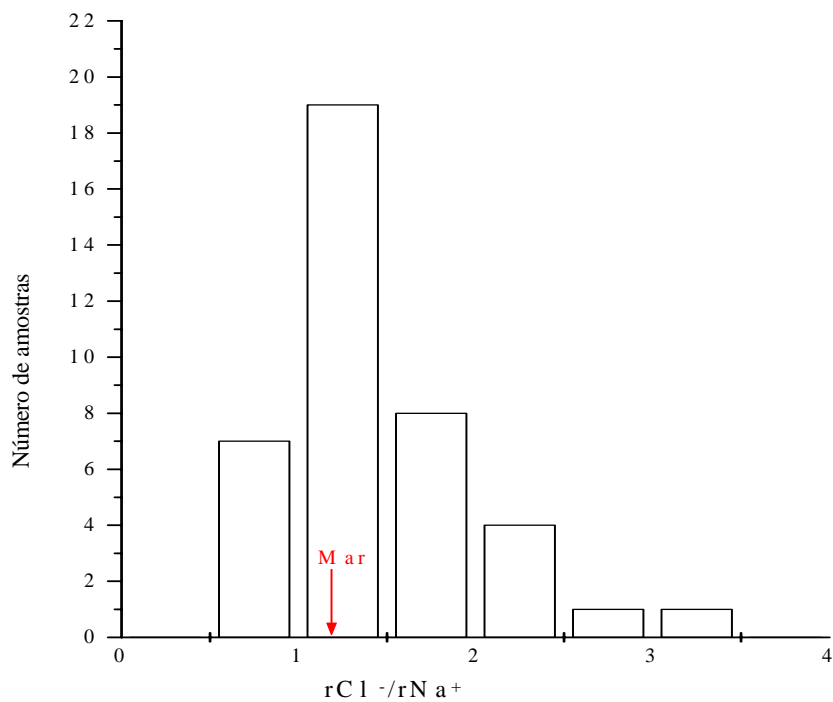


FIGURA 5.7 - Histograma das razões  $rCl^-/rNa^+$  das amostras coletadas em (a) setembro/98 e (b) junho/99.

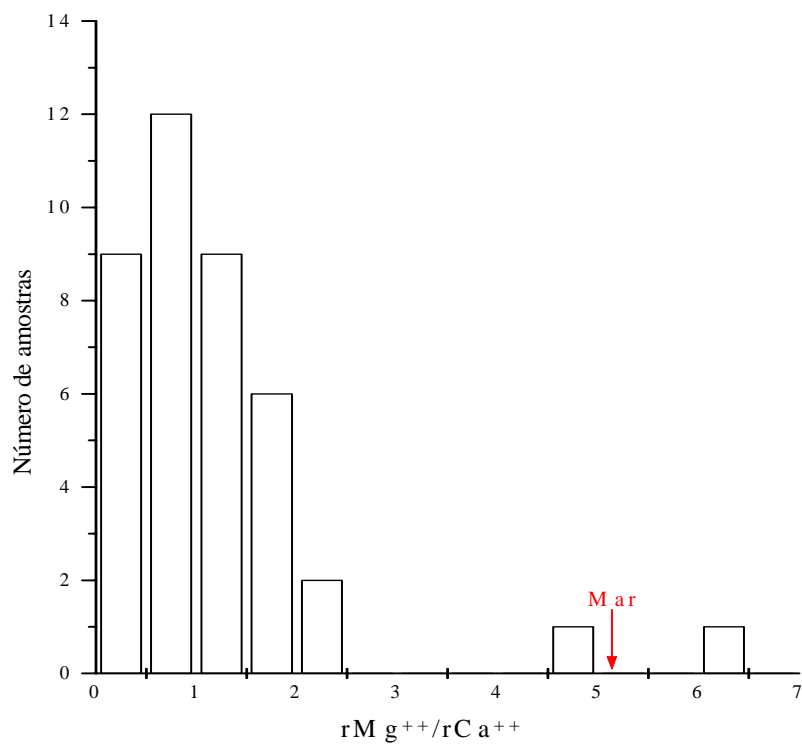
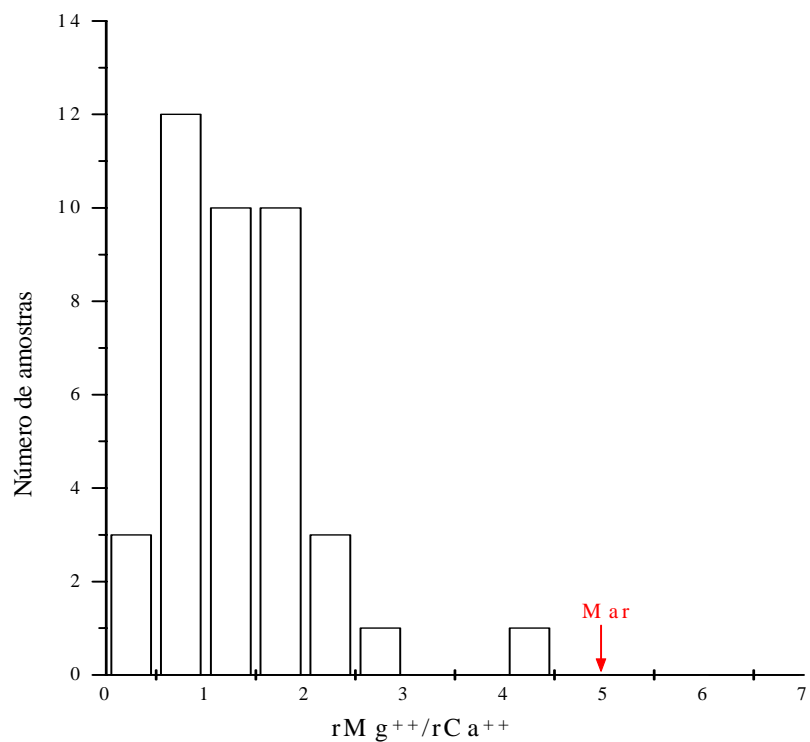


FIGURA 5.8 - Histogramas das razões  $rMg^{++}/rCa^{++}$  das amostras coletadas em (a) setembro/98 e (b) junho/99

Para identificar a dissolução de NaCl, foram construídos os gráficos de  $rCl^-$  versus  $rNa^+$ , mostrados nas figuras 5.9a e 5.9b, que no caso da dissolução de NaCl, produziriam uma reta de inclinação um. Observa-se nestas figuras, que as equações das retas de correlação  $rNa^+ = 0,6 rCl^- + 0,7$ , para as amostras coletadas em setembro/98 e  $rNa^+ = 0,6 rCl^- + 0,3$  para as amostras de junho/99, com coeficientes angulares ( $a = 0,6$ ) muito abaixo de um, descartam a hipótese da dissolução de NaCl como origem dos íons  $Na^+$  e  $Cl^-$  nessas águas.

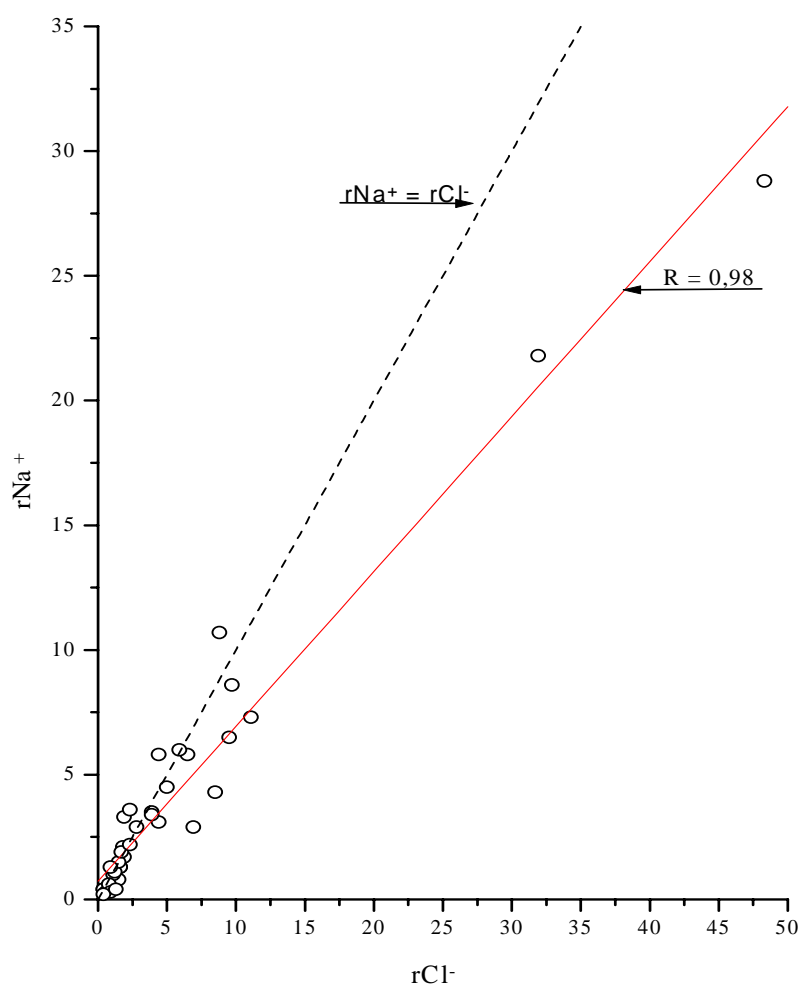


FIGURA 5.9a - Concentração de sódio em função da concentração de cloretos nas amostras coletadas em setembro/98

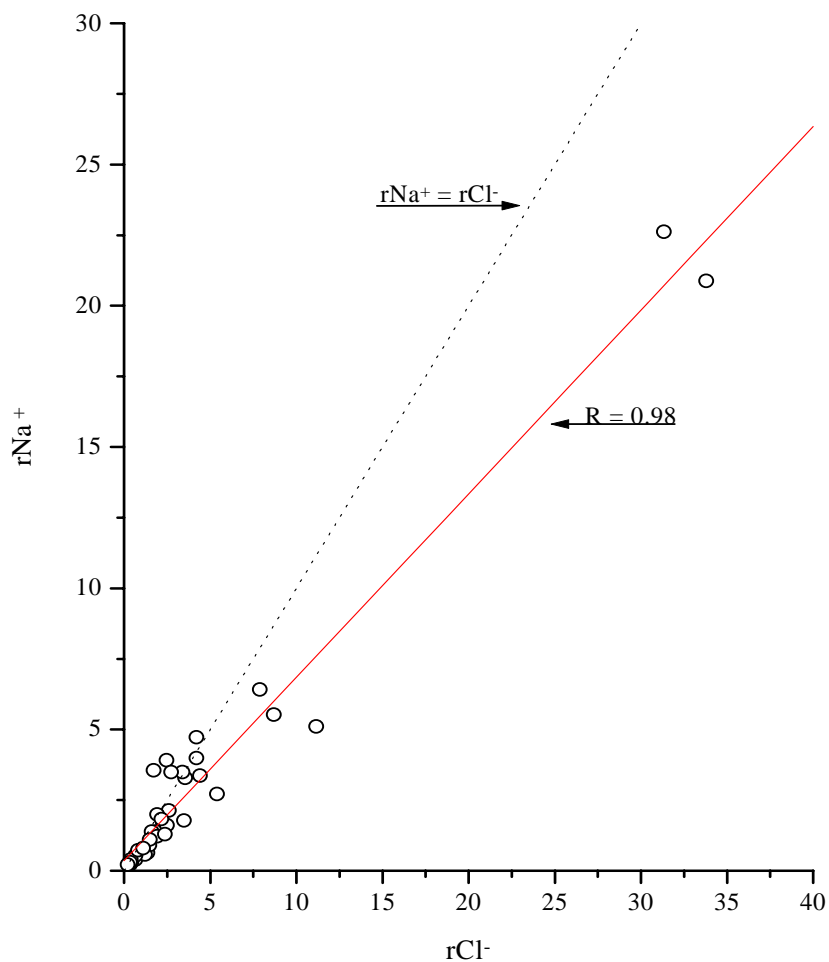


FIGURA 5.9b - Concentração de sódio em função da concentração de cloretos nas amostras coletadas em junho/99.

As razões  $rCl^-/rNa^+$ , da ordem das encontradas na água do mar, mostradas nos diagramas das figuras 5.9a e 5.9b, indicam os aerossóis marinhos como uma das fontes de  $Cl^-$  e  $Na^+$ .

### 5.7 – ÁGUAS BICARBONATADAS

As figuras 5.10a e 5.10b apresentam  $rCa^{++}$  em função de  $rHCO_3^-$  para as amostras coletadas, respectivamente, em setembro/98 e junho/99 que não são cloretadas sódicas, e mostram que a maioria está na reta  $rCa^{++} = 2rHCO_3^-$ , indicando a dissolução de calcita como principal processo de produção dos íons  $Ca^{++}$  e  $HCO_3^-$ .

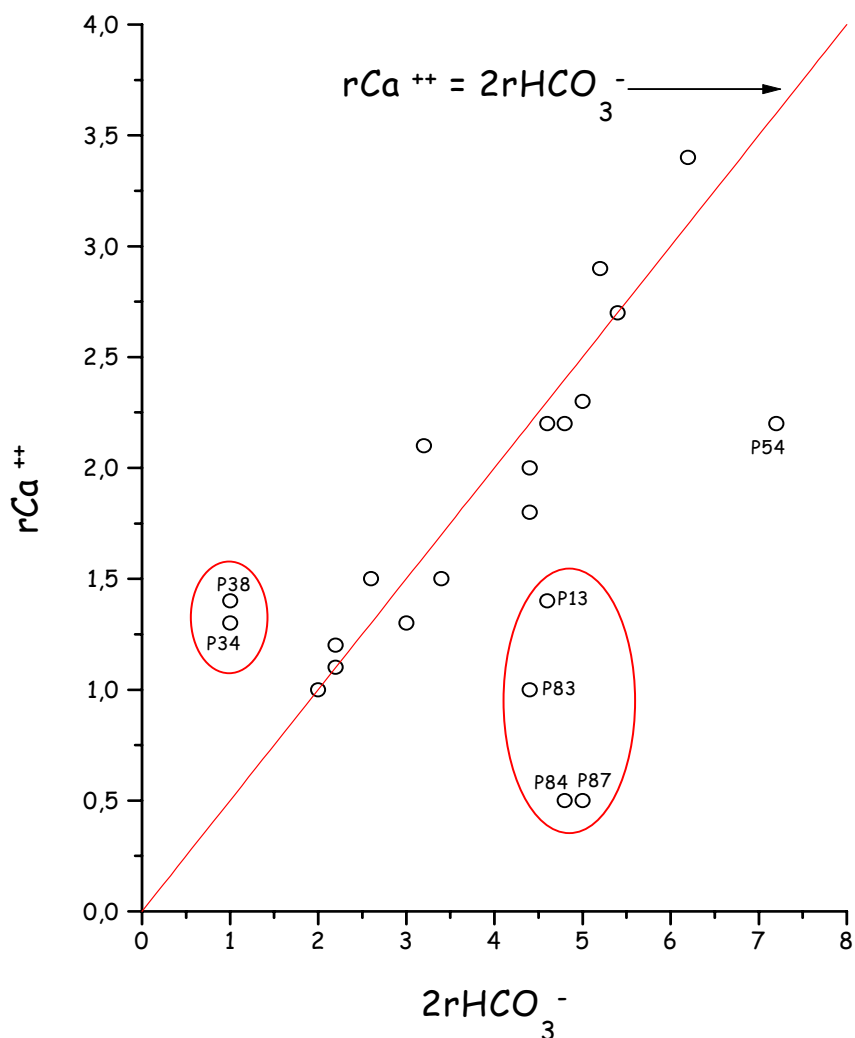


FIGURA 5.10a - Concentração de  $rCa^{++}$  em função da concentração de  $rHCO_3^-$  nas amostras coletadas em setembro/98.

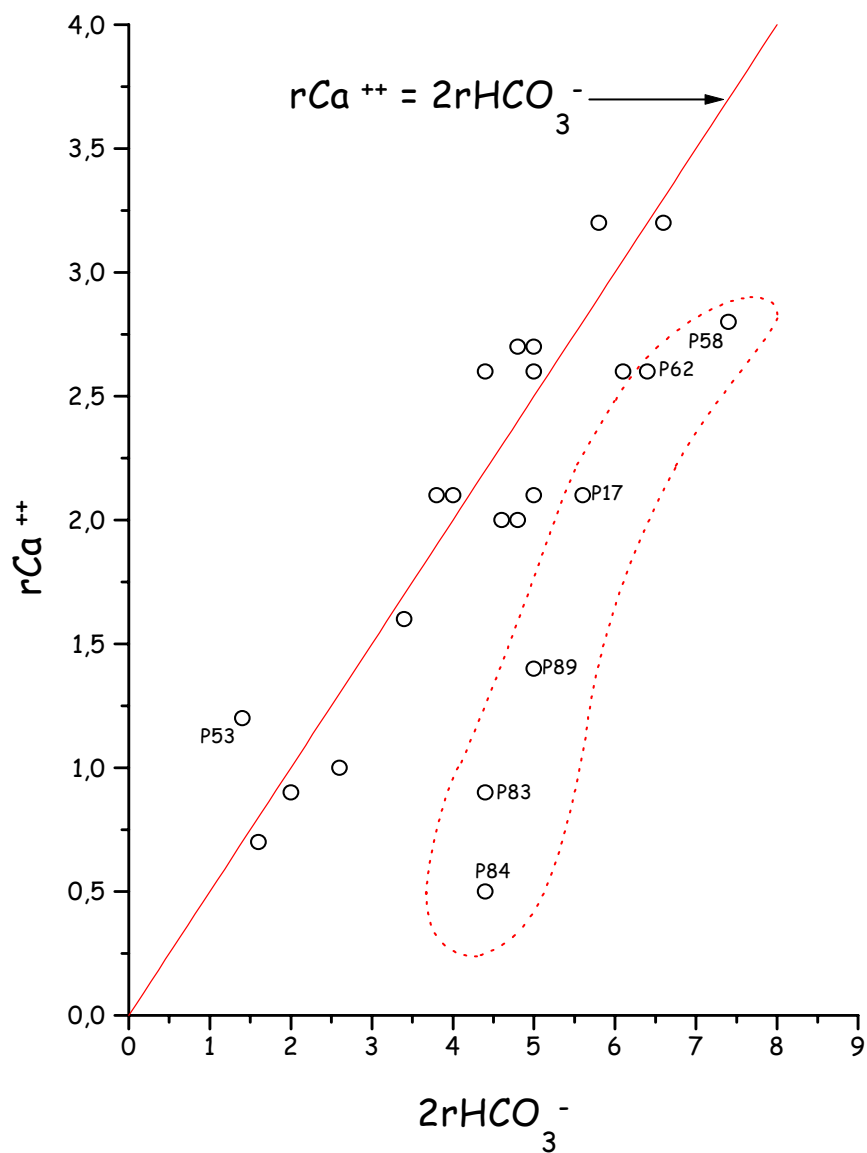


FIGURA 5.10b - Concentração de  $rCa^{++}$  em função da concentração de  $rHCO_3^-$  nas amostras coletadas em junho/99.

Nas amostras coletadas em setembro/98 as exceções são os poços P34, P38, P54, P83, P84 e P87, enquanto que, nas amostras coletas em junho/99 são os poços P17, P53, P58, P62, P83, P84 e P89, mostrando uma produção adicional de íons  $HCO_3^-$  além da dissolução de carbonatos nas águas destes poços.

## 5.8 - ISÓTOPOS ESTÁVEIS

A tabela 5.7 apresenta as medidas dos isótopos estáveis oxigênio-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) e deutério ( $\delta\text{D}$ ) e da condutividade elétrica das amostras d'água coletadas em fevereiro de 1999. Foram analisadas 26 amostras para oxigênio-18 e em 10 destas, foram medidos deutério. Os resultados das medidas apresentaram uma faixa de variação de -1,71‰ a -3,62‰ para o oxigênio-18, de -1,25‰ a -31,92‰ para o deutério e 170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 4400 $\mu\text{S}/\text{cm}$  para a condutividade elétrica.

TABELA 5.7 - Medidas de oxigênio-18, deutério e condutividade elétrica das amostras d'água coletadas em fevereiro/99.

<b>RG</b>	<b>Poço N<sup>o</sup></b>	<b><math>\delta^{18}\text{O}</math> (‰)</b>	<b><math>\delta\text{D}</math> (‰)</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>
01	P11	-2,56	-12,96	893
02	P13	-2,97	-31,92	365
03	P17	-3,62	-	794
04	P23	-2,35	-	495
05	P31	-2,99	-	709
06	P34	-2,41	-	170
07	P45	-2,22	-11,25	226
08	P54	-1,71	-1,25	939
09	P59	-3,58	-14,80	173
10	P64	-2,67	-	1871
11	P65	-3,13	-	1700
12	P67	-2,82	-16,12	3800
13	P69	-2,96	-	4400
14	P70	-2,85	-	1251
15	P72	-2,72	-11,85	1208
16	P73	-2,92	-	390
17	P76	-3,00	-12,88	1158



TABELA 5.7 - Continuação

<b>RG</b>	<b>Poço N<sup>o</sup></b>	<b><math>\delta^{18}\text{O}</math> (‰)</b>	<b><math>\delta\text{D}</math> (‰)</b>	<b>CE (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>
18	P77	-3,48	-	682
19	P79	-3,13	-	800
20	P81	-3,12	-17,01	1387
21	P82	-3,38	-10,80	605
22	P83	-3,10	-	1012
23	P84	-2,80	-	810
24	P86	-3,10	-	554
25	P89	-2,84	-	741
26	P91	-2,66	-	857

Na figura 5.11, que mostra os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  versus condutividade elétrica, é possível identificar três grupos distintos de água na área estudada, tomando-se por base o valor médio de  $\delta^{18}\text{O}$  (-3,5‰) das chuvas regionais.

O agrupamento A, representado pelos poços P23, P34, P45, e P54, apresenta os mais elevados valores de  $\delta^{18}\text{O}$  (-2,41‰ a -1,71‰) e condutividade elétrica variando de 170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 939  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , caracterizando a presença de águas evaporadas.

O grupo B, com maior número de amostras, apresenta valores de  $\delta^{18}\text{O}$  em torno do valor médio das chuvas regionais (-3,5‰), variando de -2,56‰ a -3,13‰, e uma grande faixa de valores de condutividade elétrica, que variam de 365  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 4400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Essas águas apresentam característica isotópica de pouca evaporação, indicando que o aumento de condutividade elétrica ocorre por dissolução e não por processos de evaporação.

No grupo C, representado pelos poços P17, P59, P77 e P82, estão as águas com os menores valores de  $\delta^{18}\text{O}$ , na faixa de -3,62‰ a -3,38‰, e condutividade elétrica variando de 173  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 794  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esses valores caracterizam águas que não sofreram evaporação e que tiveram uma rápida infiltração.

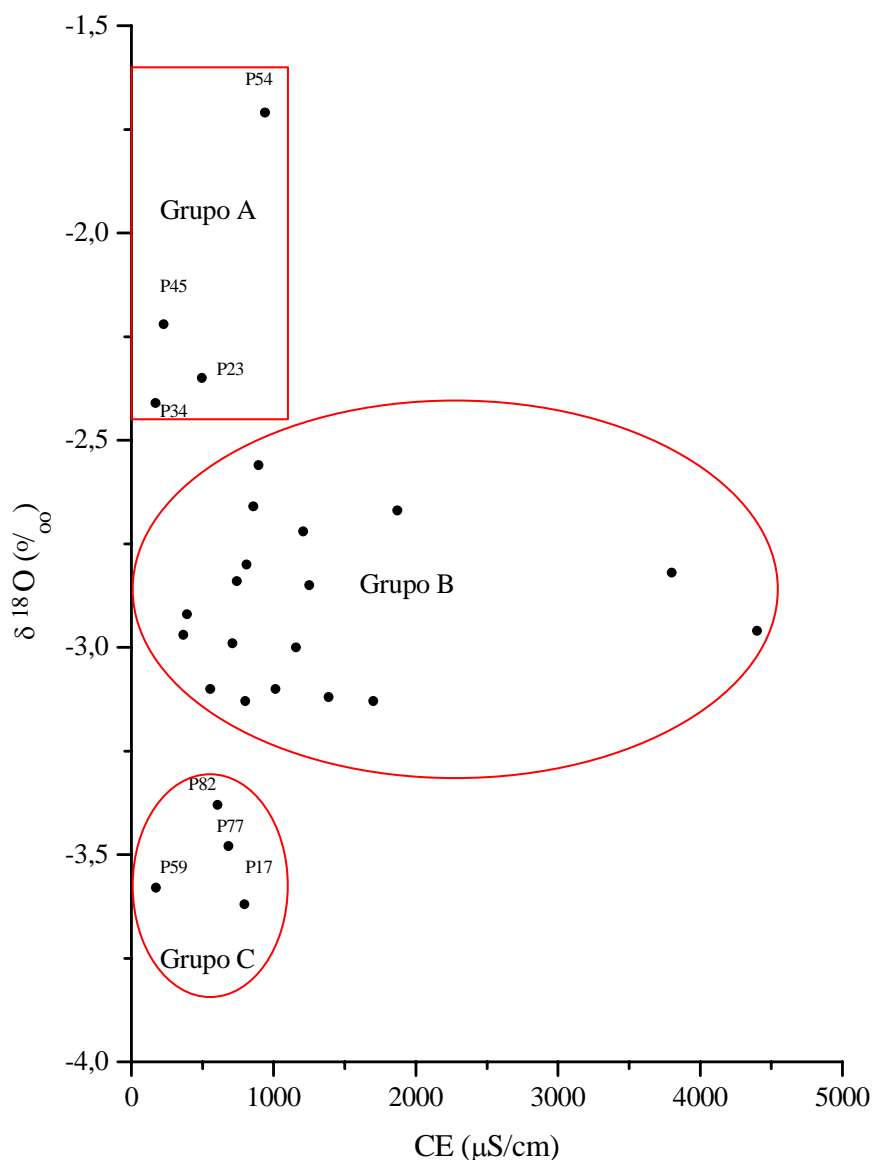


FIGURA 5.11 -  $\delta^{18}\text{O}$  versus condutividade elétrica nas amostras coletadas em fevereiro/99

A figura 5.12, que apresenta os valores de  $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$  juntamente com as retas meteóricas mundial ( $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$ ) e regional ( $\delta D = 7,6\delta^{18}O + 9,7$ ), definidas respectivamente por CRAIG (1961a) e SALATI (1971) para as amostras coletadas em fevereiro/99, também evidencia águas pouco evaporadas, em função dos pontos estarem próximos à reta meteórica mundial.

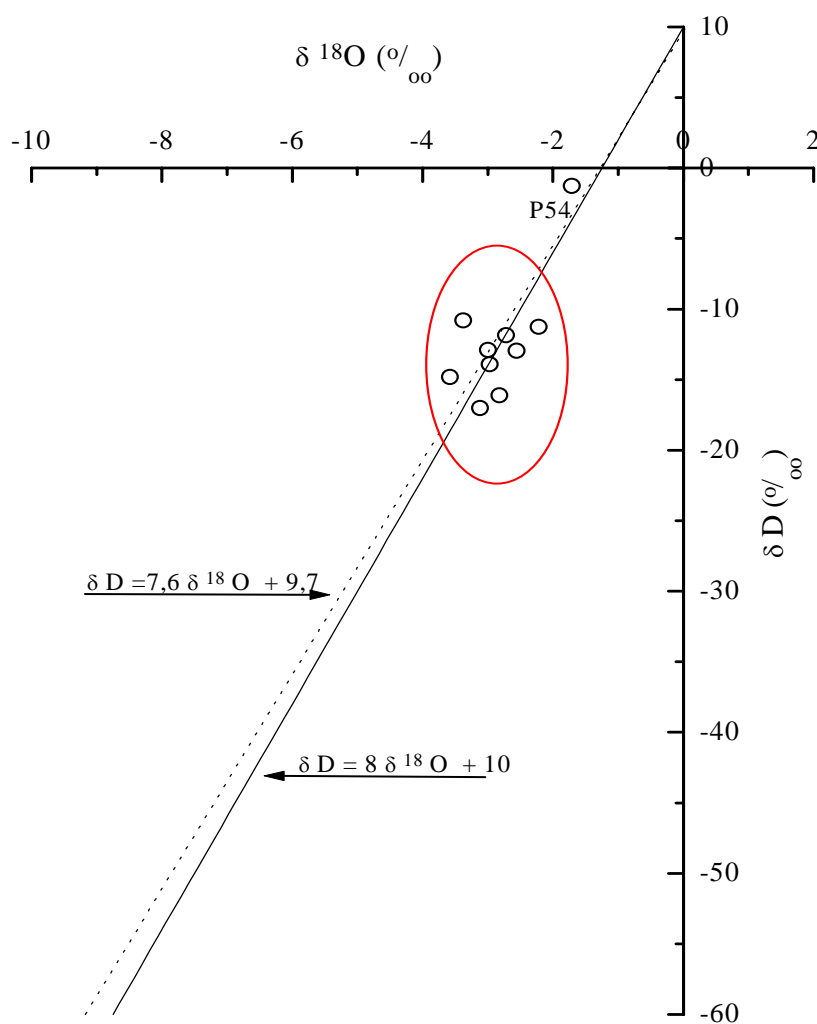


FIGURA 5.12 -  $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$  nas amostras coletada em fevereiro/99

## 5.9 - PARÂMETROS BIOQUÍMICOS

A tabela 5.8 mostra os resultados das análises bacteriológicas e os valores de amônia, nitrito, nitrato e oxigênio consumido das amostras coletadas em setembro/98 e junho/99. Observa-se da colimetria que na primeira coleta, das 31 amostras analisadas, 13 apresentaram valores de colimetria iguais a zero e em 18 amostras os valores do NMP (Número Mais Provável) variaram de 4/100 ml a 2400/100 ml. Na coleta de junho/99, apenas 7 amostras apresentaram valores iguais a zero e 31 poços mostraram águas com valores de colimetria que variaram de 9/100 ml a 1000/100 ml.

Tabela 5.8 – Análises bacteriológica e de potabilidade das águas dos poços coletadas em setembro/98 e junho/99, na faixa costeira de Caucaia – Ce. Kleb.: Klebsiella sp; Esch.: Escherichia coli; Pseu.: Pseudomonas sp; Neg.: Negativo; Aus.: Ausente; NM: Não Medido

Poço Nº	Colimetria NMP/100ml		Bactérias		Amônia mgN-NH <sub>3</sub> /L		Nitrito mgN-NO <sub>2</sub> /L		Nitrato mgN-NO <sub>3</sub> /L		O <sub>2</sub> Cons. mgO <sub>2</sub> /L	
	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.
P4	15	93	Kleb.	Kleb.	0,30	0,02	7,79	0,49	55,97	20,68	3,0	2,6
P10	23	210	Esch.	Pseu.	Aus.	0,18	0,08	0,09	2,94	3,39	1,3	2,6
P11	1100	460	Kleb.	Pseu.	0,10	0,12	0,92	0,13	53,51	34,76	2,2	2,0
P13	150	210	Kleb.	Kleb.	Aus.	0,15	0,04	0,07	31,55	5,75	1,3	1,8
P17	9	0	Pseu.	Neg.	Aus.	0,09	0,15	Aus.	5,39	6,30	1,0	1,7
P21	0	23	Neg.	Kleb.	Aus.	0,18	0,27	6,26	14,85	20,30	1,7	2,5
P23	1100	240	Esch.	Kleb.	Aus.	0,48	1,07	2,63	49,08	48,96	3,5	4,0
P31	93	240	Kleb.	Esch.	Aus.	0,01	0,07	0,07	3,75	2,38	1,8	2,0
P34	0	23	Neg.	Kleb.	Aus.	0,01	0,28	0,32	42,79	16,71	2,0	3,3
P38	0	240	Neg.	Kleb.	0,06	0,35	Aus.	0,07	4,45	2,32	2,0	2,5
P45	4	0	Kleb.	Neg.	Aus.	0,36	0,11	0,21	2,82	1,94	3,7	4,0
P50	0	460	Neg.	Esch.	0,01	0,36	Aus.	0,52	1,77	2,13	3,2	8,0
P51	0	1100	Neg.	Kleb.	0,07	0,46	Aus.	1,00	2,23	1,67	4,0	4,7
P53	43	1100	Kleb.	Kleb.	Aus.	0,09	0,53	0,17	3,17	1,97	1,6	2,6

TABELA 5.8 - Continuação

Poço Nº	Colimetria NMP/100ml		Bactérias		Amônia MgN-NH <sub>3</sub> /L		Nitrito mgN-NO <sub>2</sub> /L		Nitrato mgN-NO <sub>3</sub> /L		O <sub>2</sub> Cons. mgO <sub>2</sub> /L	
	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.	Set.	Jun.
P54	0	23	Neg.	Kleb.	0,12	0,01	0,22	0,84	2,00	1,07	3,8	1,6
P55	0	1100	Neg.	Esch.	Aus.	0,01	Aus.	0,10	2,00	1,15	2,0	1,0
P58	0	9	Neg.	Esch.	0,05	0,01	0,15	0,43	7,02	1,70	2,0	1,2
P59	0	0	Neg.	Neg.	Aus.	0,01	Aus.	Aus.	2,00	2,32	1,1	0,2
P61	0	0	Neg.	Neg.	Aus.	0,01	Aus.	Aus.	5,39	1,59	1,4	0,4
P62	0	150	Neg.	Esch.	0,06	0,01	Aus.	0,20	3,75	1,73	0,8	1,8
P64	NM	240	NM	Kleb.	0,01	0,01	Aus.	0,23	1,07	2,07	1,5	1,3
P65	NM	23	NM	Esch.	0,01	0,01	Aus.	0,34	1,42	4,12	2,5	0,0
P67	NM	0	NM	Neg.	0,01	0,01	Aus.	0,17	1,18	5,67	3,0	3,4
P69	NM	240	NM	Esch.	0,01	0,01	Aus.	0,13	0,83	1,42	4,7	3,2
P70	NM	460	NM	Esch.	0,01	0,01	0,04	0,08	0,72	0,88	2,2	4,5
P72	NM	9	NM	Pseu.	0,01	0,01	Aus.	0,95	0,83	9,14	5,5	5,3
P73	NM	43	NM	Pseu.	0,01	0,01	Aus.	0,23	0,72	2,10	1,7	1,2
P76	NM	43	NM	Kleb.	0,01	Aus.	Aus.	0,09	12,6	11,6	2,5	8,0
P77	NM	23	NM	Esch.	0,01	0,06	0,01	0,03	9,48	26,4	1,4	1,5
P79	23	0	Pseu.	Neg.	0,04	0,14	0,05	0,02	1,65	23,3	1,4	1,5
P81	1100	9	Esch.	Kleb.	0,01	0,03	0,08	0,04	1,30	2,87	1,6	1,0
P82	1100	240	Esch.	Pseu.	0,04	0,03	0,21	0,12	3,05	3,84	2,0	0,6
P83	2400	43	Esch.	Esch.	0,09	0,10	0,06	0,16	1,18	2,96	1,5	1,0
P84	0	0	Neg.	Neg.	0,10	0,05	Aus.	0,04	1,18	1,75	1,4	1,3
P86	2400	23	Esch.	Kleb.	0,10	0,17	0,03	0,24	5,39	4,78	2,5	0,7
P87	93	43	Esch.	Esch.	0,10	0,03	0,02	0,02	1,18	1,98	2,0	1,1
P89	9	93	Pseu.	Esch.	0,01	0,18	Aus.	0,66	1,76	8,08	4,0	1,5
P91	0	240	Pseu.	Pseu.	0,10	0,46	Aus.	0,09	2,47	1,75	2,4	4,0
P92	240	93	Esch.	Kleb.	0,06	0,33	Aus.	0,23	1,65	3,18	2,5	1,7
P96	2400	240	Esch.	Kleb.	0,02	0,29	0,01	0,13	0,24	11,14	2,5	2,5

As análises bacteriológicas mostraram que, 52 amostras apresentaram contaminações por microrganismos, sendo 21 amostras por bactérias do tipo *Escherichia coli*, 21 por *Klebsiella* e 10 pelo tipo *Pseudomonas*, conforme mostra a figura 5.13.

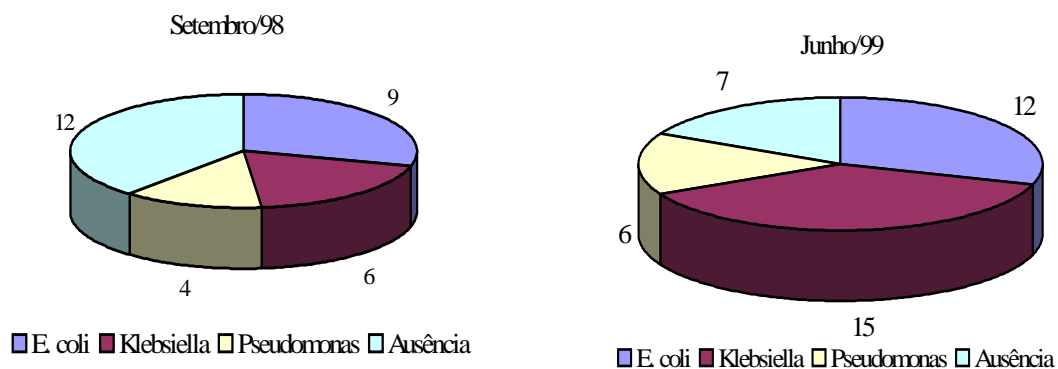


FIGURA 5.13 - Tipos de bactérias e as quantidades encontradas nas duas coletas

A presença de *Escherichia coli*, que é a bactéria mais numerosa do subgrupo dos coliformes e que tem origem exclusivamente no aparelho intestinal de animais de sangue quente, juntamente com a ocorrência de *Klebsiella* e *Pseudomonas*, confirma a contaminação fecal e indica provável presença de microrganismos patogênicos nas águas analisadas.

Para efeito de interpretação dos compostos nitrogenados, foram considerados os valores máximos permissíveis (VMP) para o consumo humano estabelecidos pela Portaria Nº 36 de 19/01/90 do Ministério da Saúde (CETESB, 1993), que para a amônia é de 0,05 mg N-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>/L, para o nitrito é de 0,02 mg N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L e para o nitrato é de 10 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L.

Na primeira coleta, em setembro de 1998, verificou-se a presença de amônia em 28 amostras, sendo que, em 16 delas o valor encontrado é menor ou igual ao VMP, nas outras 12 amostras os valores são maiores que o VMP, tendo o poço P4 atingido 6 vezes o VMP. Na coleta de junho de 1999, 39 amostras apresentaram amônia, sendo 20 amostras com valores menores ou iguais ao VMP e 19 amostras com valores maiores que o VMP, tendo os poços P23, P51 e P91 atingido valores 8 vezes maiores que o VMP.

O nitrito, na coleta de setembro de 1998, foi encontrado em 22 amostras, sendo que, em 19 delas os valores são maiores que o VMP, com o poço P4 atingindo 300 vezes o VMP. Na segunda coleta, apenas três amostras (P17, P59 e P61) não apresentaram nitrito, nas demais amostras os valores de nitrito são maiores que o VMP, tendo o poço P21 atingido o valor de 300 vezes o VMP.

O nitrato apresenta a maior faixa de variação dos valores detectados para os compostos nitrogenados, indo de 0,24 a 55,97 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, na coleta de setembro de 1998, e de 0,88 a 48,96 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L na coleta de junho de 1999. Quanto ao valor máximo permissível, na primeira coleta, 6 amostras apresentam valores até 5 vezes maiores que o VMP, enquanto que, na segunda coleta 7 amostras mostraram valores maiores que o VMP, com o poço P23 atingindo um valor maior que 4 vezes o VMP.

Os valores máximos permissíveis de nitrito e nitrato na água para o consumo humano foi estabelecido para prevenir a metahemoglobinemia, uma doença que transforma a hemoglobina em metahemoglobina, forma em que a molécula é incapaz de transportar oxigênio. Portanto, este fato mostra o risco de saúde pública representado pelos altos índices de nitrato e nitrito detectados em alguns poços na área de trabalho.

Outro parâmetro que reflete o grau de comprometimento sanitário das águas analisadas é o oxigênio consumido. Considerando os valores fixados por LOGAN (1965) comentados no item 3.3.3, na coleta de setembro de 1998, apenas uma amostra está abaixo de 1 mg/L, 32 amostras estão entre 1 mg/L e 3,5 mg/L e 7 amostras apresentam valores maiores que 3,5 mg/L. Na coleta de junho de 1999, 5 amostras estavam abaixo de 1 mg/L, 29 amostras apresentaram valores entre 1 mg/L e 3,5 mg/L e 8 amostras mostraram valores acima de 3,5 mg/L. Portanto, em 15 amostras analisadas existe uma forte suspeita de poluição.

### 5.10 - ELEMENTOS MENORES

A tabela 5.9 apresenta os resultados das concentrações dos íons menores Ferro total, Al e Mn das análises químicas realizadas nas amostras coletadas em setembro de 1998 e junho de 1999, bem como, os valores de Eh e pH medidos em campo.

TABELA 5.9 - Concentrações dos elementos menores Ferro total, Al e Mn, Eh e ph dos pontos amostrados. Aus.: Ausência ; NM: Não Medido.

Poço Nº	Fe (mg/L)		Al (mg/L)		Mn (mg/L)		pH		Eh (mV)	
	Set/98	Jun/99	Set/98	Jun/99	Set/98	Jun/99	Set/98	Jun/99	Set/98	Jun/99
P4	0,07	0,02	0,03	0,07	0,06	NM	6,93	6,00	NM	39
P10	0,17	0,26	0,02	0,04	0,08	NM	5,91	6,42	58	31
P11	1,12	0,02	0,02	0,05	0,03	NM	6,97	6,40	NM	29
P13	0,04	0,06	0,01	0,07	0,01	NM	7,76	7,17	-53	-24
P17	0,02	0,01	0,03	0,04	0,01	NM	6,50	6,58	15	18
P21	0,09	0,09	0,01	0,01	0,03	NM	6,49	6,50	19	23
P23	0,05	0,03	Aus.	0,05	0,02	NM	7,37	6,71	NM	6
P31	0,05	0,05	0,01	0,01	0,02	NM	7,35	7,08	NM	-4
P34	0,57	1,35	0,01	0,03	0,03	NM	5,39	5,87	89	67
P38	0,27	0,40	0,01	0,01	0,08	NM	7,46	6,97	NM	0
P45	1,35	1,31	0,01	0,01	0,19	NM	6,02	6,05	48	59
P50	0,60	1,21	0,05	0,03	0,03	NM	7,07	6,61	NM	29
P51	0,43	0,51	0,02	0,01	0,12	NM	7,34	6,79	NM	9
P53	0,06	0,15	0,02	0,03	0,02	NM	7,13	7,30	-18	-21
P54	2,11	0,72	Aus.	0,01	0,10	NM	7,90	7,75	NM	-48
P55	0,61	0,77	0,01	0,01	0,08	NM	6,00	7,51	48	NM
P58	0,67	0,38	Aus.	0,01	0,10	NM	7,03	6,84	NM	3
P59	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	NM	5,87	6,12	54	50
P61	0,04	0,04	0,01	0,03	0,03	NM	6,55	6,70	16	17



TABELA 5.9 - Continuação

Poço Nº	Fe (mg/L)		Al (mg/L)		Mn (mg/L)		pH		Eh (mV)	
	Set/98	Fev/99	Set/98	Fev/99	Set/98	Fev/99	Set/98	Fev/99	Set/98	Fev/99
P62	0,54	3,42	Aus.	0,01	0,06	NM	7,07	6,94	NM	NM
P64	0,30	0,69	0,08	0,08	0,08	NM	8,33	5,44	-106	91
P65	0,06	0,20	0,04	0,03	0,05	NM	7,50	4,96	-90	117
P67	0,50	0,19	0,01	0,01	0,04	NM	7,78	6,59	-75	14
P69	0,11	3,59	0,02	Aus.	0,10	NM	7,81	5,53	-80	75
P70	1,20	0,18	0,02	Aus.	0,10	NM	7,79	6,35	-85	32
P72	0,11	0,30	0,03	0,01	0,10	NM	7,29	6,77	-70	5
P73	0,04	0,20	Aus.	0,01	0,03	NM	5,00	6,73	NM	7
P76	0,06	0,13	Aus.	Aus.	0,05	NM	7,63	7,04	-100	-6
P77	0,04	0,04	0,04	Aus.	0,03	NM	7,65	6,00	-140	54
P79	0,04	0,05	0,06	0,03	0,03	NM	5,80	6,13	61	42
P81	0,04	0,26	0,06	0,01	0,03	NM	6,78	5,82	6	72
P82	0,04	0,02	0,06	Aus.	0,03	NM	8,11	7,12	NM	-4
P83	0,04	Aus.	0,03	Aus.	0,03	NM	6,37	6,91	22	6
P84	0,04	0,57	0,05	Aus.	0,03	NM	6,79	6,95	0	-9
P86	0,04	0,01	0,04	Aus.	0,03	NM	6,36	6,73	23	2
P87	0,08	0,06	0,06	Aus.	0,07	NM	6,65	7,16	7	-11
P89	0,17	0,30	Aus.	Aus.	0,09	NM	7,76	7,82	-54	-54
P91	0,09	0,18	0,05	0,01	0,08	NM	7,62	7,39	-47	-38
P92	0,40	1,19	0,04	0,01	0,03	NM	6,77	7,07	1	NM
P96	0,08	Aus.	0,08	0,01	0,07	NM	4,98	7,53	116	NM

Para a interpretação sob o aspecto da potabilidade, são considerados os parâmetros estabelecidos pela Portaria 36/GM do Ministério da Saúde, que fixa os valores máximos permissíveis (VMP) para, o ferro, o alumínio e o manganês de, respectivamente, 0,30 mg/L, 0,20mg/L e 0,10 mg/L.

Na coleta de setembro de 1998, todas as amostras continham ferro, sendo que, em 10 delas, as concentrações ultrapassaram em até 7 vezes o VMP e na coleta de junho de 1999, foi detectado ferro em 38 amostras, das quais, 13 apresentam valores acima do VMP em até 11 vezes.

Como esses valores são referentes a concentração de ferro total, utilizou-se o diagrama Eh versus pH, mostrado na figura 5.14, para determinar o íon de ferro predominante nas amostras analisadas.

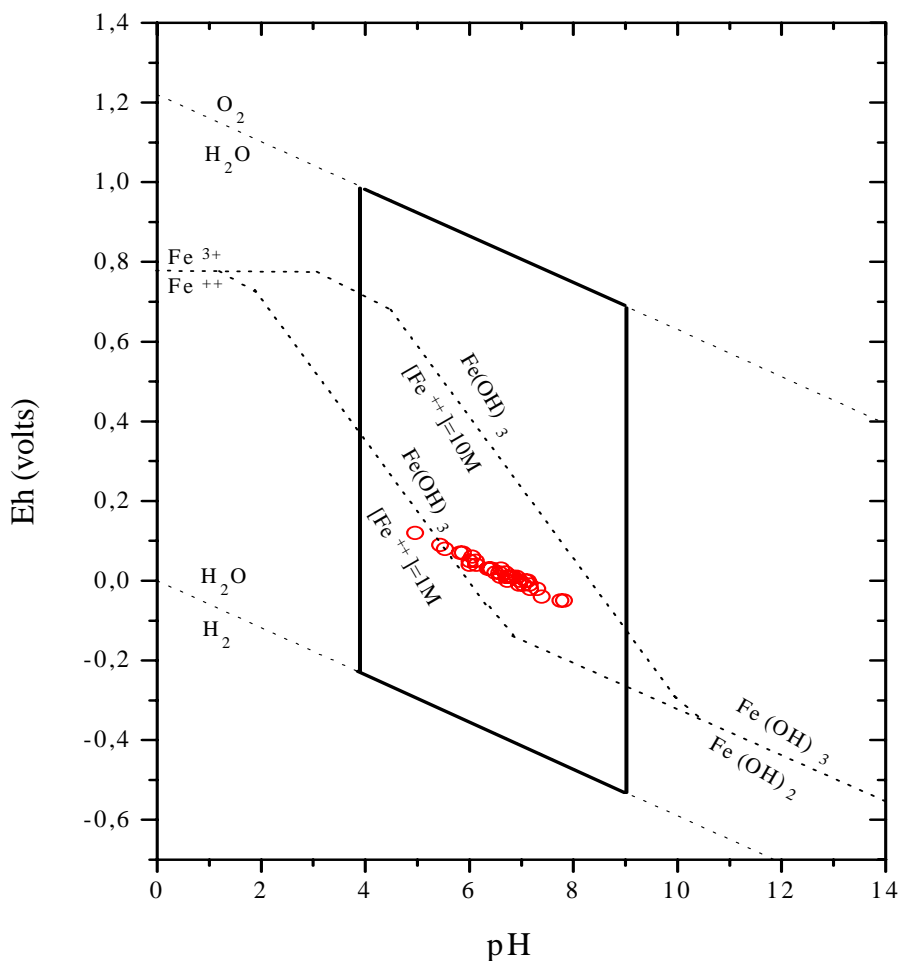


FIGURA 5.14 - Eh versus pH das amostras coletadas em fevereiro/99

Observa-se nesta figura, que as amostras apresentam valores de pH na faixa de 5 a 8, comuns em águas naturais, e valores de Eh entre 0,2 e -0,1 volts. Neste intervalo de valores predomina o hidróxido de ferro.

Portanto, quando estas águas são expostas ao oxigênio atmosférico, têm-se a precipitação do  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , que dá a cor avermelhada à água, justificando assim, a presença de manchas vermelhas de óxido de ferro perto das bombas e nas tubulações dos poços.

O alumínio, na coleta de setembro de 1998, está presente em 33 amostras, porém, abaixo do VMP e na coleta de junho de 1999, aparecem em 30 amostras e também abaixo do padrão estabelecido.

O manganês foi analisado apenas nas amostras coletadas em setembro de 1998, sendo detectado em todas as 40 amostras, no entanto, somente em 2 amostras ultrapassou o VMP. Assim como o ferro, o manganês em excesso ( $> 0,10 \text{ mg/L}$ ) causa manchas, no caso, pretas ou marrons.

## **6 - CONCLUSÕES**

Com base nos resultados das análises físico-químicas, bacteriológicas e isotópicas das amostras d'água coletadas em poços na faixa costeira do município de Caucaia, concluí-se que:

- 1 - As águas são predominantemente bicarbonatadas mistas a cálcicas e cloretas sódicas, independente do período do ano;
- 2 - Essa predominância de águas cloretadas sódicas decorre da deposição de aerossóis marinhos como principal fonte dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , fato comprovado pela alta correlação entre estes íons e pela razão  $r\text{Cl}^-/r\text{Na}^+$  da ordem da água do mar. Como a razão  $r\text{Mg}^{++}/r\text{Ca}^{++}$  está muito abaixo da água do mar, descarta-se a hipótese de contaminação do aquífero costeiro por intrusão da cunha salina;
- 3 - Os íons  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , que formam as águas bicarbonatadas sódicas, também são provenientes de processos naturais, principalmente, da dissolução de carbonatos (calcita, calcário), pois suas concentrações nas amostras analisadas se correlacionam na proporção de 1:2, com exceção dos poços P17, P34, P38, P53, P54, P58, P62, P83, P84, P87 e P89 que, em alguma das coletas, apresentaram uma produção adicional de íons  $\text{HCO}_3^-$ ;
- 4 - Os dados dos isótopos ambientais oxigênio-18 e deutério identificaram águas de três grupos distintos: (a) Águas evaporadas, caracterizando recargas indiretas através de rios e lagoas. (b) Águas pouco evaporadas com altas concentrações salinas, indicando que o aumento da condutividade elétrica ocorre por dissolução e não por processos de evaporação. (c) Águas não evaporadas, onde a infiltração é imediata;
- 5 - Bacteriologicamente, das 71 amostras analisadas, 52 apresentaram contaminação por microrganismos, predominando bactérias do tipo *Escherichia coli* e *Klebsiella*, indicadoras de contaminação fecal, portanto, evidenciando a ausência de saneamento;

- 6 - Os compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) foram identificados em todas as amostras e, em grande parte delas, ultrapassaram os valores máximos permissíveis;
- 7 - De acordo com a relação entre as concentrações dos compostos nitrogenados e a do nitrato, a contaminação não está ocorrendo nos locais de amostragem, mas afastado dela, porque a concentração de nitrato é sempre maior que a do nitrito e de amônia;
- 8 - O ferro dissolvido nas águas analisadas, provavelmente, provém de óxido de ferro nos sedimentos da Formação Barreiras que, em contato com o oxigênio atmosférico, oxida-se para hidróxido férrico tornando a água marrom avermelhada.

Considerando a potencialidade econômico da região costeira de Caucaia, a fragilidade do meio físico e os resultados obtidos neste trabalho, torna-se necessário e urgente a adoção de medidas técnicas e político-administrativas com o objetivo de deter ou minimizar os impactos ambientais decorrentes da ocupação urbana desordenada, principalmente, sobre os recursos hídricos subterrâneos, que vem ocorrendo na faixa litorânea de Icarai - Cumbuco, e para proteger as áreas ainda preservadas do Cauipe, onde existem projetos de instalação de complexos turísticos como hotéis e parques aquáticos, possibilitando assim, o desenvolvimento sustentável da região.

## **7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BATISTA, J.R.X. - 1998 - Estudo isotópico e hidroquímico da dinâmica de recarga das águas no município de Picos - Pi. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 70p.
- BIANCHI, L.; PADILHA, M.W.M. e TEIXEIRA, J.E.M. - 1984 - Recursos de água subterrânea na R.M.F. In: AUMEF. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na R.M.F. - Fase I. Fortaleza. SEPLAN - AUMEF. v. 1. 139p.
- BRAGA, A. de P.G.; PASSOS, C.A.B.; SOUZA, E.M. de - 1977 - Projeto Fortaleza. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM. v.1. 339p.
- BRANDÃO, R.L. - 1995 - Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza. Texto Explicativo. Escala 1:100.000. Projeto SINFOR. CPRM. Fortaleza, CE. 32p.
- BRASIL SOBRINHO, T.P. de S - 1941 - Estrutura geológica do Ceará; noções estratigráficas e geogenia. R. Inst. Ceará, Fortaleza. 55:159-175.
- CAMPOS, M. de; BRAGA, A. de P.G.; SOUZA, E.M. de; SILVA, F.A.F. da; e FRANÇA, J.B. de - 1976 - Projeto Rio Jaguaribe. Relatório Final. Recife. DNPM/CPRM. v1. 293p.
- CARNEIRO, C.E.C.D - 1998 - Isótopos ambientais , condutividade elétrica e hidroquímica no estudo da circulação de águas subterrâneas no Vale do Gurguéia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 83p.
- CAVALCANTE, I.N. - 1998 - Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza - Estado do Ceará. Tese de Doutorado. IG/USP. São Paulo - SP. 164p.

CETESB - 1993 - Legislação: água para o consumo humano - Potabilidade - Fluoração. Séries Documentos. São Paulo. 67p.

COSTA, M.J.; FRANÇA, J.B. de; LINS, C.A.C.; BACCHIEGA, I.F.; HABEKOST, R.C. e CRUZ, W.B. da – 1973 – Projeto Jaibaras. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM.

COSTA FILHO, W.D.; SANTIAGO, M.M.F. e COSTA, W.D. - 1998 - Concentração salina das águas subterrâneas na Planície do Recife. III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste e I HIDROROCC do Brasil. ANAIS. Recife, PE. p 124-131.

CRAIG, H. – 1961a – Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133-1702.

CRAIG, H. – 1961b – Standard of reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Science, 133:1833-1834.

CRANDALL, R. - 1910 - Geographia, Geologia, suprimento d'água, transporte e açudagem nos Estados Orientais do Norte do Brasil, Parayba, Rio Grande do Norte e Ceará. Rio de Janeiro.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. – 1983 – Hidrologia Subterrânea. Ed. Omega. 2ed. Barcelona. 2v. 1157p.

DANSGAARD, W. – 1964 – Stable isotopes in precipitation. Tellus, 16: 436-438.

FREIRE, C.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M M.F. e TORQUATO, J.R. - 1983 - Algumas características isotópicas e químicas dos aquíferos superficiais e profundos da região de Iguatu (Ce). Revista Brasileira de Geociências, 13(4): 253-262.

FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.M.F. e TORQUATO, J.R. - 1988 - Dados isotópicos e hidroquímicos da porção oriental da Bacia Potiguar. V Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ANAIS. ABAS. São Paulo, SP. p 144-153.

GONFIANTINI, R. – 1981 – The  $\delta$ -notation and the mass-spectrometric measurement techniques. p35-84. In: Stable Isotope Hydrology. Technical Reports Series. Nº 210. Ed. IAEA, Vienna, 339p.

- HEM, J.D. - 1985 - Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3<sup>a</sup> Ed. Geological Survey Water. Washington. Paper 1473. 263p.
- IPLANCE – 1995 – Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. Ranking dos Municípios: Indicadores Selecionados. Fortaleza. 132p.
- KOPPEN, W. - 1948 - Climatologia com un estudo de los climas de la Tierra. Version de Hendrichs, P.R. México. Fondo de Cultura Econômica. 478 p.
- LARAQUE, A.-1991 – Comportments hydrochimiques de “açude” du nordeste bresilien semi-aride. Tese de Doutorado, Universidade de Montpellier - France. 325p.
- LIMA, C.H.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDES FILHO, J. e FRISCHKORN, H. – 1996 – Medidas hidroquímicas e estudo da salinização das águas nos Inhamuns. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. ANAIS. ABAS. p 72-74.
- LOGAN, J. – 1965 – Interpretação de análises químicas d’água. Recife – Pe: US. Agency for International Development. 67p.
- MENEZES, M.A.S. & ARAUJO, J.R. - 1988 - Causas da salinização dos poços da praia de Abreulândia em Fortaleza - Ceará. V Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. ANAIS. ABAS. São Paulo - SP. p.165-174.
- NASCIMENTO, D.A. do; GAVA, A.; PIRES, J. de L. e TEIXEIRA, W. – 1981 – Geologia. Mapeamento Regional. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha S.A.24 – Fortaleza. Rio de Janeiro.v 21. p.23-133.
- OLIVEIRA, J.C.; FORTES, F.P.; FERREIRA, C.A.; GOMES, H.A.; LINS, C.A.C. - 1974 - Projeto Cococi: relatório final integrado. Relatório inédito. Recife, DNPM/CPRM, v.5.
- OLIVEIRA NERI, T.F. de – 1993 – Correlações Morfo-Pedológicas no Município de Caucaia – Ceará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – Ceará.
- REBOUÇAS, A.C. – 1973 – Le problème de l’eau dans la zone semi-aride du Bresíl. Tese de Doutorado, Universidade Louis Pasteur de Strasbourg - France. 291p.



- SALATI, E.; GUSMÃO, G.A.; MATSUI, E.; CARVELLINI, A. - 1971 - Estudo preliminar das concentrações de  $^{18}\text{O}$  e D em águas do Nordeste Brasileiro. CENA. Boletim Científico, BC - 202. 30p.
- SALES NETO, P.; SANTIAGO, M.F. e MENDES FILHO, J. - 1996 - Hidroquímica do Baixo Jaguaribe. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. p 81-83.
- SANTIAGO, M.M.F.; RÄDE, H.; TORQUATO, J.R. e GARRETT, L. - 1981 - Idade e movimento das águas subterrâneas na região de Picos - Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução hidroquímica. In: Estudos Hidrológicos do Nordeste. BNB. Série Monografias, 3:73-100.
- SANTIAGO, M.M.F. - 1984 - Mecanismo de salinização em regiões semi-áridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 176p.
- SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H. e SEREJO, A.N. - 1986 - Estudo de poços profundos no cristalino, durante um período de seca usando medidas isotópicas. Anais do IV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Brasília, 4 - 7/11/1986, p.01-25.
- SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H. e SEREJO, A.N. - 1990 - Estudo isotópico das Águas do Cariri. Anais do VI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Porto Alegre, 16 a 21/9/90, p. 338-343.
- SANTIAGO, M.M.F.; SILVA, C.M.V.S.; MENDES FILHO, J. e FRISCHKORN, H. - 1994 - Caracterização isotópica da água subterrânea na bacia sedimentar do Cariri. II Congresso Latinoamericano de Hidrologia Isotópica. Santiago do Chile, nov. 1994, vol. 2:731-740.
- SANTIAGO, M.M.F.; MENDES FILHO, J.; SILVA, C.M.V.S. e FRISCHKORN, H. -1996 - Estudo isotópico da dinâmica dos aquíferos do Cariri. In: Projeto de avaliação

- hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Ed. Ministério de Minas e Energia, Recife. p.89-101.
- SHOELLER, H. – 1962 – Les eaux souterraines. Paris. Mason et cie, 642p.
- SILVA, A.B. da & SILVA, F.A.C. - 1970 - Inventário hidrogeológico do Nordeste, Folha Nº 5 - Fortaleza - SO. Recife, SUDENE. 165p. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia.27).
- SILVA, C.M.V.S.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H. e MENDES FILHO, J. - 1996 - Distinção entre águas do aluvião e águas profundas nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte - Ce. IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, 25 a 28/08/1996, p.75-77.
- SIQUEIRA, H.B.; TORQUATO, J.R.F.; SANTIAGO, M.M.F. e FRISCHKORN, H. – 1982 – Contribuição ao estudo isotópico e químico dos aquíferos da região de Freicheirinha – Ceará. Revista Brasileira de Geociências. 12 (4): 546-552.
- SOARES, J.B. - 1997 - Água: microbiologia, poluição e tratamento. Ed. SECITECE/CENTEC. Fortaleza, Ceará. 131p.
- SOUZA, M.J.N. – 1983 – O Estado do Ceará: geomorfologia ambiental e problemas conservacionistas. Tese para concurso de professor titular. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Geociências. Fortaleza, Ceará.
- SOUZA, M.J.N. –1988 – Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. Revista de Geologia. Imprensa Universitária – UFC. Fortaleza – Ceará. v 1, nº 1. p 73-91.
- STUDART, T.M. de C. – 1991 – Variações sazonais das vazões de fontes da Chapada do Araripe. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - Ce. 67p.
- VASCONCELOS, S.M.S.; SANTIAGO, M.F. e REBOUÇAS, A.C. - 1999 - Aspectos físico-químicos associados à recarga do sistema dunas/paleodunas, Fortaleza - Ceará. XIII Simpósio Bras. de Recursos Hídricos. ABRH. ANAIS. Belo Horizonte - MG (Aceito).

VIEIRA, A.T.; AGUIAR, R.B. e SANTIAGO, M.M.F. – 1998 – Qualidade da água subterrânea na faixa costeira oeste do Estado do Ceará. Anais do III Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste e I Hidroroc do Brasil. v 1:1998.

VON SPERLING, M. - 1995 - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte - MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG.