

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**HIDROGEOLOGIA DA FAIXA COSTEIRA DE AQUIRAZ-CE**

José Gonzaga da Silva

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang

Dissertação de Mestrado elaborado junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do Título de Mestre em Geociências

Rio Claro (SP)  
2000

551.49 Silva, José Gonzaga da  
S586h Hidrogeologia da faixa costeira de Aquiraz-CE / José  
Gonzaga da Silva.-- Rio Claro : [s.n.], 2000.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Chang Hung Kiang

1. Hidrografia 2. Qualidade da Água 3. Balanço Hídrico  
4. Reservas Aquíferas I. Título

Dedico este trabalho a minha esposa Nilvandihê que muito contribuiu, com apoio e carinho e, também, a minha mãe Mundinha, pelas palavras de estímulo e esperança.

## AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus pela realização deste trabalho.

A todas as pessoas e instituições, que contribuíram com o desenvolvimento e realização desta pesquisa, agradeço:

Ao orientador, prof.dr. Chang Hung Kiang pela orientação, incentivo e confiança.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) pela ajuda técnica e material no desenvolvimento deste estudo.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial ao Laboratório de Ciências do Mar (LABOMAR) pela oportunidade de cursar este mestrado.

À Companhia de Água e Geologia (CAGEO), pela colaboração com importantes informações hidrogeológicas.

Ao geólogo e amigo Jaime Quintas dos Santos Colares, que prestou significativo apoio e grande contribuição na execução deste estudo, colaborando com as elaborações da base hidrogeológica e de mapas temáticos, além de viabilizar o processamento das análises químicas.

Ao prof.dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, pela participação no acompanhamento e revisão prestados ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao prof.dr. Leandro Eugênio da Silva Cerri do DGA (Departamento de Geologia Aplicada) da UNESP, pelo incentivo prestado durante o período de realização das disciplinas.

Ao Professor Dr. Antônio Aduino Fonteles Filho, pela colaboração na tradução do Resumo do trabalho para o inglês

Ao geógrafo Paulo Roberto Ferreira Gomes da Silva, pela solidariedade e pelo apoio nas atividades de campo.

Ao geólogo Liano Silva Veríssimo, pela ajuda na elaboração de gráficos e diagramas diversos.

Ao amigo geólogo Walber Cordeiro, da COGERH, pelas importantes informações sobre recursos hídricos.

À colega de Pós-Graduação da UNESP de Rio Claro, Márcia Procópio da Silva, pelo companheirismo e pelas informações prestadas.

Ao meu irmão João Batista da Silva e família, na cidade de São Paulo, pelo acolhimento e solidariedade.

Às funcionárias do Departamento de Geologia Aplicada (DGA) da UNESP de Rio Claro, Márcia Regina Tavorari do Amaral e Elâine Brigatto, pela colaboração em viabilizar a comunicação com o orientador.

À Eliana Contiero, da Secretaria de Pós-Graduação da UNESP, pela importante ajuda relacionada aos aspectos formais, necessários à apresentação do trabalho, e pelas valiosas informações à distância (entre Fortaleza e Rio Claro).

Finalmente, a todas as pessoas que colaboraram de alguma forma, com o desenvolvimento e conclusão deste estudo o meu muito obrigado.

# SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
Índice.....	i
Índice de Fotos.....	iii
Índice de Figuras .....	iii
Índice de Tabelas.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
1 - Introdução.....	01
2 - Localização e Acesso.....	02
3 - Metodologia de Trabalho.....	04
4 - Revisão Bibliográfica.....	09
5 - Aspectos Fisiográficos.....	14
6 - Geologia.....	26
7 - Tipos de Solos.....	30
8 - Balanço Hídrico.....	31
9 - Condições de Abastecimento de Água .....	39
10 - Hidrogeologia da Área .....	43
11 - Qualidade da Água Subterrânea.....	59
12 - Reservas.....	76
13 - Conclusões e Recomendações.....	83
14 - Referências Bibliográficas.....	87
ANEXOS: Tabelas e Mapa com dados Hidrogeológico e Hidroquímicos	

## ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO.....	01
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	02
3 - METODOLOGIA DE TRABALHO.....	04
3.1 - Levantamento Bibliográfico e de Pontos de Água.....	04
3.2 - Atividades de Campo.....	06
3.3 - Tratamento dos Dados Obtidos.....	07
4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	09
4.1 - Considerações Gerais.....	09
4.2 - Trabalhos Relacionados à Área.....	11
5 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	14
5.1 - Geomorfologia.....	14
5.2 - Clima.....	17
5.3 - Vegetação.....	21
5.4 - Rede Hidrográfica.....	24
6 - GEOLOGIA.....	26
7 - TIPOS DE SOLOS.....	30
8 - BALANÇO HÍDRICO.....	31
8.1 - Aspectos Gerais.....	32
8.2 - Determinação da Evapotranspiração Potencial.....	34
8.3 - Resultado dos Principais Dados do Balanço.....	36
9 - CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	39
10 - HIDROGEOLOGIA DA ÁREA.....	43
10.1 - Informações Gerais Sobre Poços Tubulares.....	44
10.2 - Sistemas Aquíferos.....	45
10.2.1 - Sistema Aquífero Barreiras.....	46
10.2.2 – Sistema Aquífero Duna/Paleoduna.....	49
10.2.3 - Sistema Aquífero Aluvionar.....	55

10.3 - Considerações Hidrodinâmicas.....	56
11 - QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	59
11.1 - Aspectos Hidroquímicos.....	59
11.2 - Características Físico-Químicas.....	62
11.2.1 – pH.....	64
11.2.2 – Dureza.....	64
11.3 - Balanço Iônico.....	65
11.4 - Uso e Padrões da Água.....	67
11.4.1 - Condições de Potabilidade.....	67
11.4.2 - Qualidade da Água para Irrigação.....	73
12 - RESERVAS.....	76
12.1 - Aspectos Gerais.....	76
12.2 - Avaliação das Reservas de Águas Subterrâneas.....	77
12.2.1 - Reservas Renováveis ou Reguladoras.....	78
12.2.2 - Reservas Permanentes.....	79
12.2.3 – Reservas Totais.....	80
12.3 - Exploração das Águas Subterrâneas.....	80
13 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	83
14 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

ANEXOS: Tabelas e Mapa com dados hidrogeológico hidroquímicos



**ÍNDICE DE FOTOS****Pág.**

Foto 1 – Detalhe da vegetação da mata ciliar às margens do rio Pacoti.....	24
Foto 2 – Vista parcial da lagoa do Catu. Aquiraz/CE.....	26
Foto 3 – Aspecto do reservatório da CAGECE que armazena água da lagoa do Catu .....	41
Foto 4 – Vista parcial do Porto das Dunas, vendo-se ao fundo o Beach Park, empreendimento recreativo totalmente abastecido por água subterrânea .....	42
Foto 5 – Fonte do Iguape - alternativa de abastecimento com água subterrânea (sistema aquífero dunas/paleodunas ) .....	43
Foto 6 – Aspecto da perfuração de um poço tubular raso pelo processo manual, na zona de recarga do aquífero dunas/paleodunas (localidade da Prainha) .....	55

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	04
Figura 2 – Geomorfologia da área .....	17
Figura 3 – Variação das médias mensais de precipitação e temperatura entre 1961 e 1990.	21
Figura 4 – Geologia da área de estudo.....	28
Figura 5 – Balanço Hídrico.....	39
Figura 6 – Ilustração hipotética da influência do aquífero dunas/paleodunas na lagoa do Catu, em época de estiagem.....	52
Figura 7 – Perfil construtivo e litológico do poço tubular nº 144 na Praia do Porto das Dunas.....	54
Figura 8 – Classificação geoquímica das águas subterrâneas da área de estudo .....	63
Figura 9 – Principais valores do STD dos sistemas aquíferos Barreiras e dunas/paleodunas	64
Figura 10a - Potabilidade das águas subterrâneas do sistema aquífero dunas/paleodunas..	71
Figura 10b - Potabilidade das águas subterrâneas do sistema aquífero Barreiras .....	72
Figura 11 – Classificação das águas subterrâneas para irrigação.....	76

**ÍNDICE DE TABELAS****Pág.**

Tabela 1 – Relação Quantitativa sobre os valores das médias mensais entre temperatura e pluviometria (período 1961 a 1990 ).....	20
Tabela 2 – Cálculo da Evapotranspiração Potencial para Fortaleza e Aquiraz, segundo o método de Thornthwaite, referente ao período 1961 – 1990 .....	36
Tabela 3 – Dados gerais do Balanço Hídrico para Fortaleza e área pesquisada, de acordo com Thornthwaite (período 1961 – 1990) .....	37
Tabela 4 – Intervalos de filtros nos sistemas aquíferos.....	47
Tabela 5 – Classificação das vazões dos poços do sistema aquífero Barreiras.....	49
Tabela 6 – Valores limites e médios sobre os principais dados de poços do sistema aquífero Barreiras.....	50
Tabela 7 – Relação dos principais dados dos poços das zonas de recarga e descarga do sistema aquífero dunas/paleodunas.....	56
Tabela 8 – Parâmetros hidráulicos médios dos aquíferos dunas e Barreiras na RMF .....	59
Tabela 9 – Valores limites dos principais íons das análises .....	62
Tabela 10 - Dados do balanço iônico das 26 amostras analisadas .....	67
Tabela 11 – Resumo dos diversos padrões de potabilidade nacional e internacional (CETESB, 1990) .....	70
Tabela 12 – Dados bacteriológicos sobre as análises das principais localidades da área.....	73
Tabela 13 – Relação dos valores do SAR e da condutividade elétrica para os dois sistemas aquíferos.....	75

## RESUMO

O presente trabalho refere-se ao estudo hidrogeológico da região costeira de Aquiraz-CE, onde o uso da água subterrânea corresponde a mais de 90% da água consumida pela população. A realização desta pesquisa está fundamentada em informações bibliográficas, dados dos poços cadastrados, análises químicas e aspectos fisiográficos. Geologicamente, a área de estudo é representada por rochas sedimentares da Formação Barreiras e pelos depósitos dunares e aluvionares. Estas rochas constituem os meios porosos onde são identificadas as ocorrências de três domínios aquíferos, representados pelos sistemas: Barreiras, dunas/paleodunas e aluviões. Por apresentar problemas de salinidade, a água do sistema aluviões é considerada inviável para o consumo, tornando os sistemas aquíferos Barreiras e dunas/paleodunas como os que apresentam condições hidrogeológicas para exploração. Dado as suas melhores condições litológicas e aquíferas, o sistema dunas/paleodunas é o que apresenta um potencial hidrogeológico mais importante, comparativamente ao sistema Barreiras, cujas intercalações siltico-argilosa, o torna menos permeável. Os sistemas aquíferos são sempre alimentados pelas precipitações pluviométricas, que contribuem nas variações das reservas subterrâneas e influem no balanço hídrico. Qualitativamente, as análises revelam que maior parte das águas são classificadas quimicamente como boas, enquanto que a parte bacteriológica compromete a qualidade, devido à carência de saneamento básico na área.

## ABSTRACT

This dissertation deals with the hydrological study of the coastal region of Aquiraz county, Ceará State, Brazil, where consumption of underground water corresponds to over 90% of the human population's uptake. The research work has been undertaken on the basis of gathered bibliographic information, data on registered wells, chemical analyses and physiographic aspects. Geologically, the study area is represented by sedimentary rocks of the Barreiras Formation and by dune and alluvial deposits. Those rocks make up the porous media where there have been identified three occurrences of aquiferous fields of action, represented by the systems: Barreiras, dune/paleodune and alluvion. The alluvion's water is considered improper for human consumption because of problems with its salinity. The Barreiras and dune/paleodune systems are amenable to exploitation because of favourable hydrological and lithological conditions, the latter having comparatively a more important resource potential than the former, whose silt-clay intercalations make it less permeable. The aquiferous systems are fed by rainfall, which is accountable for variations in the underground reserves and the water balance. The qualitative analyses show that most of the underground water can be chemically classified as of good quality, whereas from a bacteriological viewpoint this does not hold true because of deficiencies in the water sewage system.

## 1 - INTRODUÇÃO

A área selecionada para estudo está localizada à nordeste de Fortaleza, na faixa costeira do município de Aquiraz que faz parte da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). É geologicamente constituída por rochas sedimentares quaternárias e terciárias, identificadas respectivamente como depósitos flúvio-aluvionares, dunares e sedimentos da Formação Barreiras, (Brandão *et al.*, 1995).

No espaço da referida região é muito comum a existência de sítios, chácaras, condomínios de lazer, além de vilas e distritos bastante povoados, incluindo-se entre estes últimos, as localidades de Porto das Dunas, Prainha e Iguape. A sede municipal de Aquiraz representa o principal referencial urbano e administrativo para o município e possui uma população aproximada de 18.000 habitantes.

As razões que justificam a escolha desta área estão relacionadas aos vários fatores que envolvem os aspectos geológicos, hidrogeológicos, proximidade a Fortaleza, aspectos urbanos, e também a importância da água subterrânea para o município, especialmente para os setores mais povoados. Associadas a esses aspectos, estão também as condições aquíferas das rochas sedimentares da Formação Barreiras e do sistema dunas/paleodunas, que se refletem nos fatores permeabilidade e porosidade, além dos problemas ambientais gerados pela ocupação urbana sobre os aquíferos.

Os aspectos climáticos da região costeira, quando comparadas com as áreas secas do sertão, apresentam maiores índices de precipitação, os quais, associados às características geológicas, vêm contribuir para que os principais aquíferos possuam boas condições de recarga de água subterrânea, particularmente nos terrenos compreendidos pelo sistema aquífero dunas/paleodunas.

Assim, pretende-se realizar pesquisas de dados hidrogeológicos, hidroquímicos e bacteriológicos, visando à geração de informações necessárias ao conhecimento das características hidrogeológicas da área estudada. Nesse sentido, os dados levantados serão utilizados na composição dos assuntos que integram esse relatório de pesquisa, tendo como

um dos objetivos, identificar o comportamento e a qualidade das águas subterrâneas, bem como verificar as relações das reservas aquíferas com o meio ambiente e com a influência marinha. Além desses aspectos serão feitas considerações sobre estimativas das reservas renováveis e/ou permanentes, associadas aos resultados do balanço hídrico local. Através das reservas renováveis ou reguladoras, podem ser estabelecidos valores comparativos percentuais entre as reservas estimadas e a quantidade de água disponível para exploração.

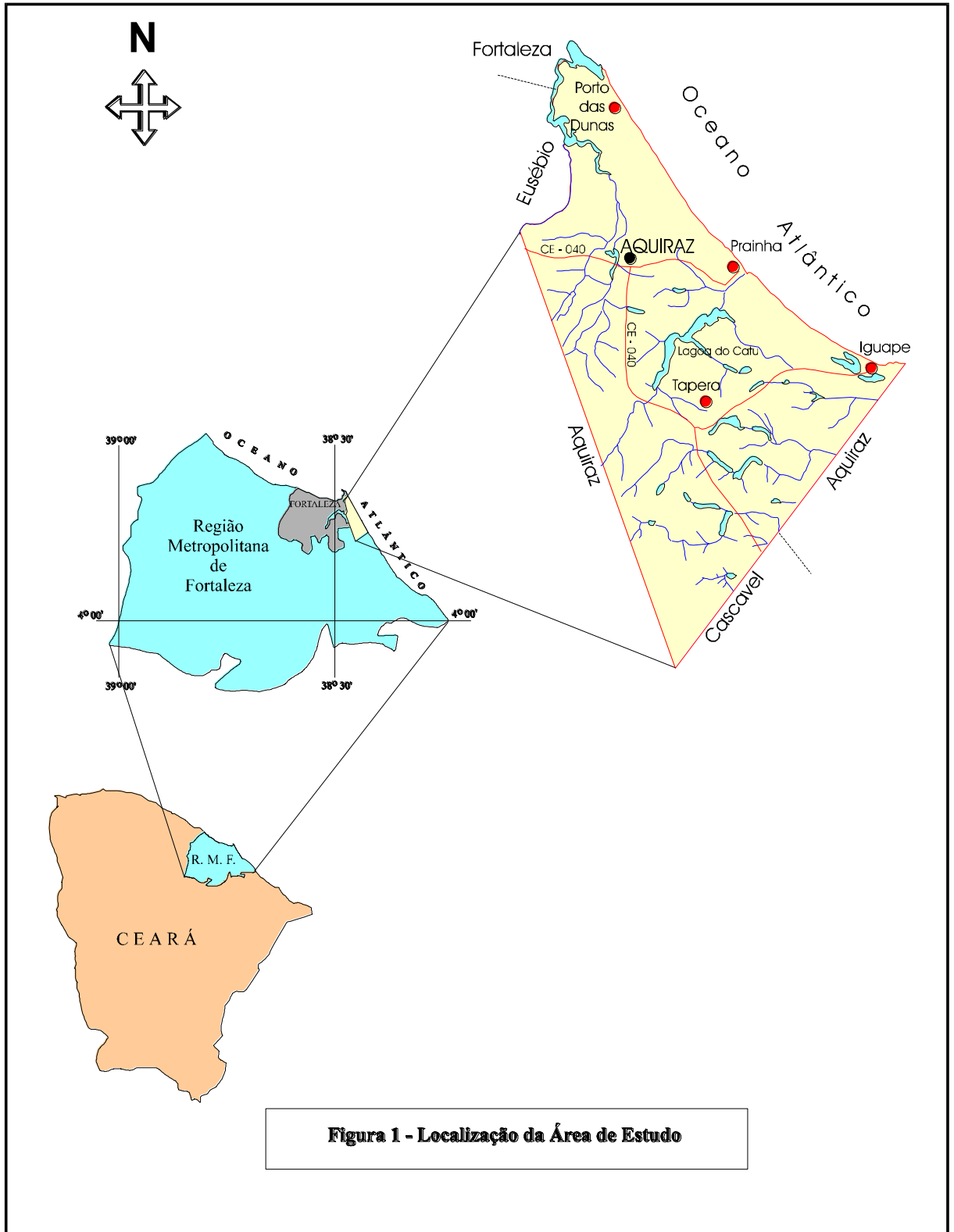
Por se tratar de uma região de características turísticas e de terrenos permeáveis, a área em questão é suscetível aos impactos ambientais que afetam os aquíferos, comprometendo as condições de recargas e afetando a qualidade das águas subterrâneas.

Segundo Bianchi *et al.* (1984), em termos hidrogeológicos, a expansão urbana pode provocar problemas no meio físico, responsável pela diminuição das reservas e também pela contaminação dos aquíferos explorados. Com a ocorrência do crescimento urbano e a conseqüente proliferação de fossas sépticas, se multiplicará também a possibilidade de poluição das águas subterrânea, já que as localidades afetadas pelo problema não dispõem de saneamento básico. Além desse aspecto, o aumento do consumo da água subterrânea nos setores costeiros próximos ao mar poderá provocar o deslocamento da cunha salina o que irá afetar a qualidade da água.

As informações que se pretende obter terão caráter relevante no sentido de se constituir dados considerados úteis ao interesse da população local, além de fornecer subsídios importantes para o desenvolvimento de estudos hidrogeológicos e ambientais na área.

## **2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

A área fica delimitada pelas coordenadas UTM de 9.554.150m a 9.577.750m Sul e 562.750m a 580.000m Oeste (**figura 1**). Limita-se ao norte e nordeste com o oceano atlântico e ao sul e noroeste com os municípios de Pindoretama e Eusébio, respectivamente.



A proximidade de Fortaleza e a existência de condições climáticas agradáveis, tornam Aquiraz uma região muito atraente para implantação de loteamentos com casas de campo, principalmente na faixa próxima à linha de costa, onde existem inúmeras praias.

A área de estudo está inserida no município de Aquiraz-CE, situada no setor NE do estado, distando 29 km da cidade de Fortaleza, a partir do distrito de Messejana.

O acesso à Fortaleza é feito através da rodovia estadual CE-040, que constitui a principal ligação entre Fortaleza e a área de estudo. Além desta rodovia, o acesso pode ser feito, também, por uma estrada secundária, que passa pela localidade do Porto das Dunas e se interliga a outros setores da região pesquisada.

A referida área possui 172 km<sup>2</sup>, compreendendo quase toda a faixa costeira da região de Aquiraz, atingindo no interior, os limites de influência continental que ocorrem ainda sobre os terrenos sedimentares da Formação Barreiras.

### **3 - METODOLOGIA DE TRABALHO**

A metodologia utilizada para atingir os objetivos desse trabalho é compreendida por etapas que estão relacionadas ao levantamento geral de dados, trabalhos de campo e tratamento dos dados obtidos, os quais representam os tópicos essenciais ao desenvolvimento seqüenciado da pesquisa.

#### **3.1 - Levantamento Bibliográfico e de Pontos de Água**

Esta fase caracterizou-se pela aquisição de dados básicos relacionados aos conhecimentos bibliográficos, atividades de campo, informações complementares pertinentes ao interesse da pesquisa e preparação de mapa base da área.

Em relação à bibliografia, foram consultados vários trabalhos técnicos e científicos, representados por livros, dados de eventos, trabalhos anteriores, todos voltados para os



objetivos da pesquisa. Nesse sentido, foram selecionados elementos informativos que pudessem contribuir de forma significativa e abrangente na realização do estudo, com assuntos pertinentes a: Hidrogeologia, Geologia, Hidroquímica Aspectos Fisiográficos e balanço hídrico.

Considerando-se os aspectos bibliográficos, destaca-se que os trabalhos específicos mais importantes estão relacionados a Cavalcante (1998), Bianchi *et al.* (1984), Brandão *et al.* (1995) e COGERH (1999), todos referentes a RMF.

De posse dessas informações, foram iniciadas as atividades de cadastramento de poços tubulares, através de contatos mantidos com instituições públicas e empresas particulares, visando a formação de um banco de dados e também a elaboração de um catálogo que contenha informações sobre as características gerais dos poços e tipos de aquíferos.

O referido cadastramento, bem como o levantamento de outros dados necessários à pesquisa, foram realizados em função das informações adquiridas junto aos arquivos das empresas: Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará (SOHIDRA), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), que forneceu também várias informações existentes sobre análises físico-química e parâmetros hidrodinâmicos. As empresas particulares, como Companhia de Água e Geologia (CAGEO) e Molga Perfurações apresentaram importantes contribuições relacionadas aos dados hidrogeológicos e construtivos, através de novos poços.

As informações relativas ao consumo de água na sede municipal e os dados climatológicos foram obtidos através da CAGECE e da FUNCEME, respectivamente, enquanto que a base cartográfica do município, com escala de 1:50.000 foi adquirida junto a SEDURB (Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Região Metropolitana de Fortaleza). A partir da escolha da carta, foi extraído o mapa-base para a área de pesquisa, tendo sido mantida a escala original, já que a mesma é compatível com o grau de detalhamento do trabalho.

### 3.2 – Atividades de Campo

Os trabalhos realizados no campo foram desenvolvidos basicamente, através das seguintes atividades: reconhecimento físico e geográfico da área de pesquisa, incluindo os limites que a envolve; identificação dos aspectos geológicos e hidrogeológicos; observações gerais sobre as condições de abastecimento e dos recursos hídricos existentes; levantamento de pontos de água, associados a medições de coordenadas UTM; trabalho de amostragem de água, visando às análises físico-química e bacteriológica.

Com base nos dados relacionados no levantamento anterior, foram realizados os trabalhos de campo, objetivando a caracterização da área de pesquisa, através da comprovação dos dados observados, tanto nos elementos cadastrados como no mapa base. Na oportunidade foi efetuado um trabalho de reconhecimento da área de estudo, objetivando a identificação das características geológicas e topográficas, bem como das condições hidrogeológicas e urbana.

Nesta fase, foram levantadas informações referenciais sobre as condições de suprimento de água subterrânea da área, oportunidade em que foram verificadas, junto a CAGECE, as contribuições relativas de águas superficiais e subterrâneas no abastecimento da sede municipal de Aquiraz, a fim de que se obtivesse uma estimativa percentual do uso da água.

No decorrer dessas atividades foi realizado o levantamento de novos pontos de água, envolvendo poços tubulares, escavados e fontes, visando-se, portanto, a ampliação do cadastro antes formado. Durante os trabalho de levantamento, foram efetuados ao mesmo tempo, medições de coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator), sobre os pontos pesquisados, através do equipamento GPS (Global Positining System), além de se presenciar algumas perfurações de poços tubulares rasos e profundos em diferentes localidades da área.

Em uma fase seqüente desses trabalhos de campo, foi determinada também a realização da amostragem da água subterrânea para análises, visando a sua caracterização físico-química e bacteriológica. Para realizar a amostragem foram utilizadas 26 amostras de água, coletadas em pontos previamente determinados em função dos aspectos geológicos e urbanos.

A amostragem foi efetuada em relação aos dois principais aquíferos da área de estudo, em diversas localidades, envolvendo poços de várias profundidades, poços escavados e fontes, adotando-se para tal fim os procedimentos propostos por Santos (1997).

Para as análises físico-químicas, as amostras foram coletadas em recipientes plásticos ou de polipropileno, com capacidade para 1.000 ml, limpos e cuidadosamente preservados para impedir qualquer tipo de contaminação das referidas amostras.

As coletas de água nos poços eram feitas sempre após um determinado tempo de bombeamento (3 a 5 minutos), considerado necessário para que fosse retirada a quantidade de água estagnada no poço, evitando, portanto, amostras não representativas do aquífero.

Durante esse processo de amostragem foram feitos, em cada ponto, na hora da coleta, as medições de pH e temperatura das águas coletada. Os equipamentos utilizados nas medições eram devidamente lavados com água destilada, entre uma coleta e outra, eliminando-se assim os resquícios de contaminação.

Para os exames bacteriológicos foram utilizadas amostras que representam os principais setores urbanos pertinentes aos sistemas aquíferos dunas/paleodunas e Barreiras. As amostras referentes a essas análises eram colhidas em recipientes esterilizados de 250 ml, sempre antes da coleta da análise físico-química, evitando-se então, os riscos de contaminação do local por amostradores contaminados.

### **3.3 – Tratamento dos Dados Obtidos**

De posse do levantamento geral das informações sobre a água subterrânea, juntamente com a obtenção das análises químicas, foram gerados o inventário sobre os pontos de água e mais a tabela com os resultados físico-químicos, todos em anexo, dos quais foram extraídos os elementos necessários à elaboração de gráficos, tabelas e mapas temáticos (mapas geológico e geomorfológico), todos relacionados aos diversos assuntos da pesquisa.

Dentre os elementos pesquisados, os dados climáticos são considerados de grande relevância no processo do balanço hídrico, influenciando também as reservas das águas subterrâneas. Os gráficos e tabelas construídos com auxílio do programa Excel representam o comportamento desses dados.

O inventário acima referido é constituído pela relação dos pontos de água, pelas respectivas coordenadas em UTM, nome das localidades pesquisadas características dos poços e tipos de aquíferos. Já a tabela de dados químicos analisados reúne os principais constituintes iônicos, ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ), pH, temperatura, dureza, STD e condutividade elétrica ( $\mu\text{ S/cm}$ ).

Através dos dados hidrogeológicos e com ajuda de recurso computacional foram construídas várias tabelas pertinentes ao texto, as quais mostram estimativas estatísticas e o comportamento dos parâmetros dos poços, associados às condições aquíferas, além dos valores referentes às constantes hidrodinâmicas dos aquíferos.

Os dados químicos analisados, representados na tabela em anexo, foram utilizados para efeito de caracterização da qualidade da água, considerando-se para isso, a composição de todos os dados químicos encontrados, necessários aos tratamentos que definem a caracterização da água.

Dentre os tratamentos processados, a avaliação do balanço iônico, constitui um importante fator na determinação do equilíbrio iônico da água, observado nos valores dos coeficientes de erro das análises. Os resultados do balanço para esse trabalho foram encontrados em função de um modelo específico desenvolvido pela CAGECE, através do programa de computação Excel.

Os dados das análises foram convertidos em meq/L, visando à classificação da água em relação ao domínio iônico e aos vários aspectos de uso, tais como, potabilidade e irrigação. Os processos de tratamentos de dados que envolvem essas classificações foram caracterizados através do programa computacional COREL DRAW, responsável pela

indicação dos valores encontrados nos respectivos diagramas: trilinear de Piper (domínio iônico), Schoeller & Berkloff (potabilidade) e U.S. Salinity (irrigação).

Depois do levantamento e desenvolvimento de todos os dados da pesquisa, foram efetuados os cálculos das reservas e explorações hídricas subterrâneas referentes aos dois sistemas aquíferos (dunas/paleodunas e Barreiras).

Num caráter final e com a posse das informações geológicas, cartográficas, hidrogeológicas e hidroquímicas, foi elaborada a base hidrogeológica através do mesmo programa COREL DRAW, onde foram lançados os pontos de água cadastrados, incluindo-se dentre eles, os pontos amostrados para análises químicas.

#### **4 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A revisão bibliográfica representa o quadro descritivo da literatura existente sobre assuntos de interesse da pesquisa na área de estudo. Nesse sentido, são feitos levantamentos e abordagens envolvendo informações que auxiliem na interpretação dos resultados adquiridos, além de caracterizar a quantidade e as lacunas dos trabalhos específicos.

##### **4.1 - Considerações Gerais**

Nesta parte da revisão são feitas abordagens que envolvem conceitos e comportamentos dos fatores pertinentes ao tema, bem como citações de livros e trabalhos científicos que têm relação com os assuntos enfocados na pesquisa. Nesse sentido, são considerados fundamentos geológicos, hidrogeológicos e climáticos que venham a contribuir no entendimento e desenvolvimento do trabalho.

Segundo Todd (1967), a hidrologia subterrânea constitui uma ciência que estuda a ocorrência, movimento e distribuição da água em subsuperfície e representa, também, uma ciência que envolve os fatores geológicos e hidrológicos, os quais possuem as seguintes funções específicas: a geologia está relacionada à ocorrência e distribuição das águas

subterrâneas, enquanto que a hidrologia controla o suprimento de água para o solo. O autor afirma, ainda, que o movimento da água subterrânea faz parte do ciclo hidrológico que envolve a terra, ou seja, a contínua circulação da água entre o oceano, a atmosfera e a terra. Durante o processo do ciclo, o vapor de água evapora, se condensa e se precipita sobre a terra em forma de chuva, neve ou granizo.

De acordo com Castany (1971), uma parte da água precipitada é escoada em direção aos corpos de águas superficiais, incluindo-se rios, lagos e oceanos. A outra parte se infiltra, alimentando o solo e as camadas de água subterrânea que constituem os aquíferos, onde o nível de saturação de água é definido por Lundgren (1986) como nível freático.

Além das porções escoadas e infiltradas no solo, uma outra parte do volume precipitado retorna à atmosfera, através da evaporação que age sobre os corpos de águas livres, sobre a umidade do solo e sobre a cobertura vegetal, caracterizando nesta última a transpiração das plantas.

As ações conjuntas da evaporação e da transpiração resultam no fenômeno da evapotranspiração, o qual representa um importante elemento do balanço hídrico, que Castany (op. cit.) define como sendo a contabilização entre a entrada e saída de água de uma bacia superficial, região ou camada aquífera. Nesse sentido, é necessário considerar os principais fatores hidrológicos que compõem o referido balanço, representados pela precipitação pluviométrica, infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial. De acordo com o autor, o último componente é considerado irrelevante para avaliação do balanço em água subterrânea, já que em termos hidrológicos, a infiltração eficaz contribui diretamente na alimentação das reservas aquíferas. Neste caso, é necessário o conhecimento das propriedades subterrâneas que governam o movimento e armazenamento da água infiltrada.

Na definição geral de aquífero estão incluídos os parâmetros básicos representados por coeficiente de armazenamento e fluxo subterrâneo de água, indicando que esse aquífero funciona como reservatório e como condutor de água, através da intercomunicação dos poros ou vazios, sob gradientes hidráulicos naturais (Cleary, 1989).

Todd (1967) define aquífero como uma formação geológica capaz de armazenar e fornecer água através de um determinado gradiente hidráulico.

Custódio & Llamas (1983) afirmam que o funcionamento dos aquíferos é controlado pelos movimentos de entrada e saída de água, os quais estão associados aos parâmetros hidrodinâmicos, caracterizados pela porosidade, condutividade hidráulica, transmissibilidade e coeficiente de armazenamento. Conforme o autor, estas características permitem a previsão dos limites de exploração e suprimento dos referidos aquíferos.

O mesmo autor define, também, as relações entre aquíferos de águas doce e salgada em regiões costeiras, mostrando as condições de contaminação da água doce em função do avanço da cunha de água salgada em direção ao continente, devido à captação atuante da água subterrânea nos aquíferos costeiros. A contaminação pode ocorrer não só pelo bombeamento em áreas urbanas próximas à linha de costa, mas também pelo avanço de água salgada no continente, através de drenagens em regiões estuarinas, presença de lagunas e construções de galerias que contribuem para penetração da água do mar.

Levando-se em conta os aspectos hidrogeológicos, Santos (1997) afirma que a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto à quantidade. Nesse sentido, a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados fins, depende exclusivamente da qualidade físico-química, biológica e radiológica.

A identificação da qualidade das águas subterrâneas se dá em função do conhecimento da sua composição química e bacteriológica. A classificação do uso vai depender dos efeitos que os componentes identificados possam causar, considerando-se os critérios estabelecidos nas normas padronizadas (Custódio & Llamas, op cit.).

#### **4.2 - Trabalhos Relacionados à Área**

A revisão bibliográfica referente ao contexto local é constituída por trabalhos e pesquisas desenvolvidos sobre a área de estudo e também sobre os setores costeiros adjacentes que possuem características geológicas e climáticas semelhantes.

Destaca-se, entretanto, que as unidades geológicas superficiais que compõem a área de estudo são as mesmas da faixa costeira da RMF, de modo que os parâmetros hidrogeológicos levantados para essa região são analogicamente utilizados como referencial da área pesquisada.

Bianchi *et al.* (1984) realizaram um relevante trabalho sobre o aproveitamento dos recursos hídricos da Região Metropolitana de Fortaleza, tratando especificamente da água subterrânea dessa região. O referido trabalho propôs alternativas que atendessem a demanda hídrica crescente em função da expansão urbana.

Na classificação hidrogeológica, os referidos autores consideraram os sistemas aquíferos dunas/paleodunas, Formação Barreiras, aluviões, colúvios e embasamento pré-cambriano, dos quais, apenas os três primeiros afloram na área de estudo, sendo que o embasamento cristalino existe só em nível subsuperficial, quando atingido na perfuração de alguns poços da área. Foi observada a inexistência de escoamento superficial, tendo em vista as boas condições de permeabilidade das areias que envolvem estes sistemas, além do baixo gradiente topográfico existente na superfície das rochas da Formação Barreiras.

O sistema dunas/paleodunas é considerado a unidade geológica de maior potencialidade aquífera, devido à alta permeabilidade das areias e vazões que variam entre 5 a 10m<sup>3</sup>/h, valores que apresentam uma certa similaridade com os dados encontrados nas dunas da Abreulândia, faixa praiana vizinha à área mapeada. Segundo CAGECE (1984), apud Cavalcante (1998), nos testes de produção de alguns poços da Abreulândia foi encontrado um valor médio de  $5,5 \times 10^{-4}$  m/s para condutividade hidráulica e uma vazão média de 5,9 m<sup>3</sup>/h.

Na faixa costeira da Caponga, localidade situada a Sudeste da área de pesquisa, Meneses & Andrade (1984) realizaram um trabalho semelhante ao executado nas dunas da Abreulândia, onde na oportunidade, foi implantado também, no aquífero dunas/paleodunas, um sistema de captação de água constituído por 11 poços tubulares rasos, visando o abastecimento da localidade praiana acima citada. Os testes de bombeamento comprovaram que as dunas apresentam boa potencialidade hídrica, caracterizada por significativa permeabilidade ( $2,02 \times$



$10^{-4}$  m/s) e vazão média de  $3\text{m}^3/\text{h}$ , muito comuns no sistema dunas/paleodunas.

Brandão *et al.* (op. cit.) realizou um trabalho geoambiental sobre a RMF e apresentou considerações geológicas e geomorfológicas sobre os terrenos dunares e da Formação Barreiras, além de confirmar as características hidrogeológicas relacionadas a essas rochas.

Cavalcante *et al.* (1990), apud Brandão *et al.* (op. cit.), interpretaram 56 análises físico-química de água de poços do sistema dunas/paleodunas e concluíram que 85,7% são cloretadas, e destas, 70% são sódicas, enquanto 30% são mistas. E, quanto a potabilidade, os resultados indicaram ser a água predominantemente boa, com exceção de alguns poços localizados na praia da Abreulândia, região adjacente ao setor Nordeste da área de estudo.

Com relação ao sistema aquífero da Formação Barreiras, Bianchi *et al.* (op. cit.) acrescentam que essa formação apresenta variações faciológicas com características litológicas e hidrogeológicas muito mais heterogênea do que o sistema dunas/paleodunas. As intercalações nos níveis argilosos e arenosos causam variações nos parâmetros hidrogeológicos, chegando em alguns níveis a ser considerado como um aquítardo, formação geológica que transmite água lentamente e que possui permeabilidade e porosidade muito baixas. As variações litológicas contribuem amplamente para o surgimento de vazões baixas, com valores inferiores a  $2\text{m}^3/\text{h}$ .

Além dos sistemas dunas/paleodunas e Barreiras, os autores citados comentam também sobre o comportamento hidrogeológico das aluviões existentes nos principais rios da RMF, inclusive o rio Pacoti que corta a área de estudo. Semelhante ao que ocorre nos baixo cursos dos rios da área metropolitana, as aluviões da área de pesquisa (baixo curso do rio Pacoti) apresentam-se muito fino, freqüentemente orgânico e, portanto, pouco permeáveis, fatos que associados aos baixos gradientes hidráulicos refletem as condições aquíferas incipientes.

No que diz respeito às considerações ambientais sobre a faixa costeira do município de Aquiraz (Carvalho, *et al.* 1994) enfatizam a vulnerabilidade que os aquíferos se expõem, devido à falta de saneamento básico nos setores urbanizados. A acentuada construção de fossas negras possibilitam a contaminação dos aquíferos e comprometem a qualidade das

águas subterrâneas, principalmente das regiões mais povoadas.

Todos os trabalhos apresentados sobre a RMF e especificamente sobre os setores adjacentes à área de pesquisa são de fundamental importância para a compreensão dos dados relacionadas aos aspectos geológicos, hidrogeológicas e ambientais da região pesquisada.

## **5 - ASPECTOS FISIOGRÁFICOS**

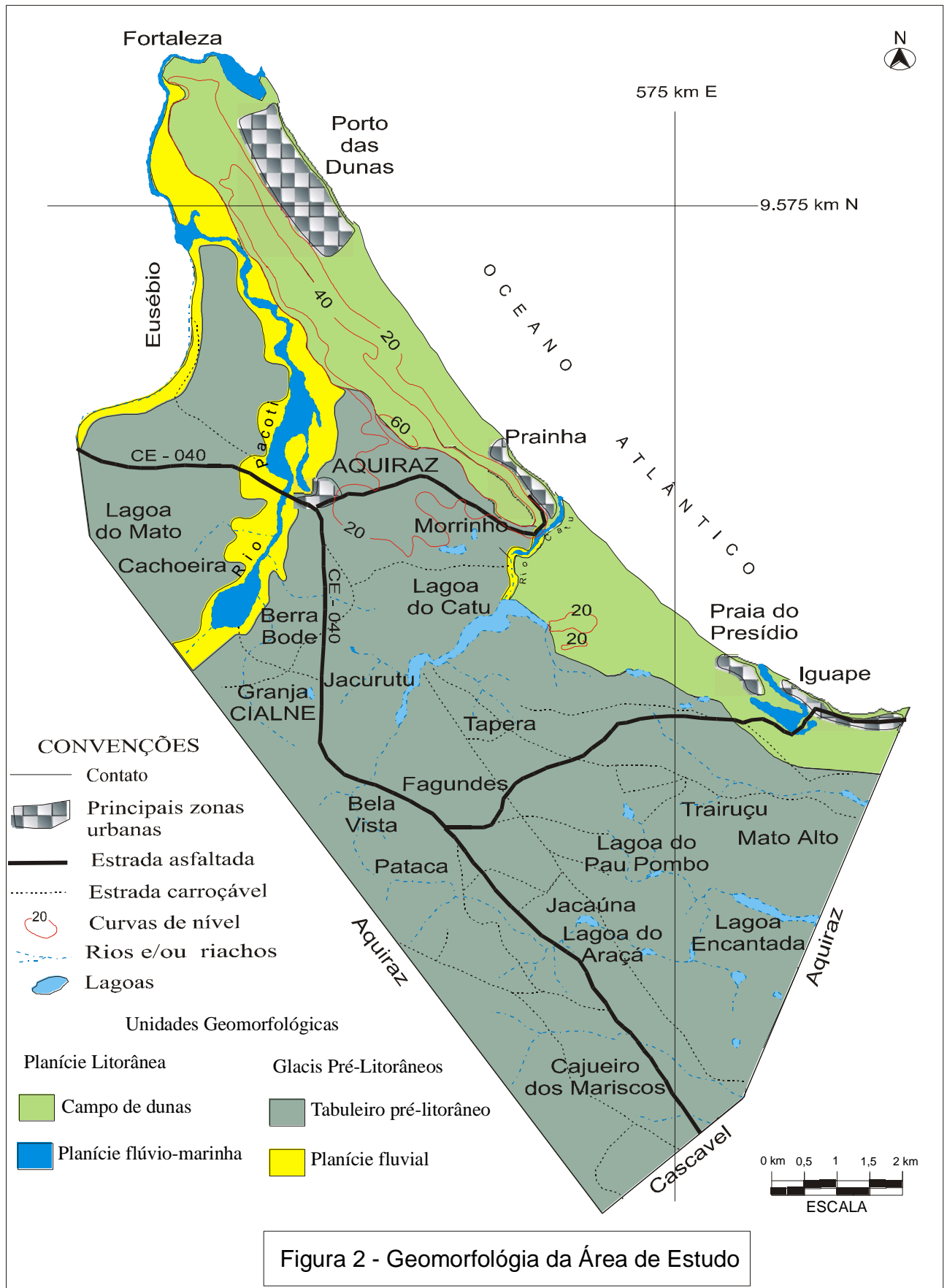
Esses aspectos envolvem a descrição e o conhecimento sobre as características climáticas, geomorfológicas, vegetais e também hidrográficas da região estudada. Apesar de serem tratados separadamente, possuem importante inter-relação com a água subterrânea e com o balanço hídrico, principalmente o clima e a vegetação, parâmetros considerados significativos na influência direta entre a evapotranspiração e infiltração eficaz.

### **5.1 – Geomorfologia**

Levando-se em conta a compartimentação topográfica do relevo da RMF, a área desse trabalho está basicamente envolvida por duas unidades morfológicas, representadas por Planície Litorânea e Glacis Pré-Litorâneo.

Segundo Sousa (1995), essas unidades são constituídas por formas de acumulação da planície litorânea, representada pelos depósitos eólicos e por formas dissecadas ou de degradação, identificadas pelas rochas sedimentares da Formação Barreiras. Conforme o autor, a diferenciação entre essas unidades está fundamentada em alguns fatores básicos, tais como: estruturas geológicas, tipos de relevo, variação litológica, posicionamento altimétrico, além das características do solo e da vegetação. Esses fatores são responsáveis pela compartimentação morfológica que envolve a área, conforme está caracterizado no mapa geomorfológico da **figura 2**.

A planície litorânea está compreendida pelos campos de dunas, praias e planícies fluvio-marinhas. Essas dunas são formadas por cordões contínuos e paralelos a linha de costa, que algumas vezes são interrompidos pela interferência de planícies aluviais e



flúvio- marinhas, que cortam a seqüência dunar. Tal fato ocorre nos domínios da área de pesquisa, através das planícies flúvio-marinhas dos rios Pacoti, do riacho Catu e também pela presença da barra do Iguape, onde existe um canal que liga a laguna ao mar. Além desses aspectos, existem na ponta do Iguape, na zona de estirâncio, alguns afloramentos de quartzitos, não mapeáveis na escala desse trabalho, que intercedem na continuidade desses cordões dunares.

O campo de dunas é composto por dunas móveis ou recentes e, também, por paleodunas, representadas por antigas acumulações eólicas, rebaixadas e situadas à retaguarda das dunas móveis. Essas últimas são caracterizadas normalmente pela ausência de vegetação e ocorre mais próxima à linha de costa, onde a dinâmica eólica é mais intensa. Já as paleodunas de geração mais antiga apresentam o desenvolvimento de processos pedogenéticos, resultando no surgimento de vegetação fixadora de maior porte.

Os campos de dunas são responsáveis pelo impedimento de alguns cursos de água. Nesse sentido, muitos rios e riachos são barrados pelas dunas móveis e tem suas embocaduras obstruídas, originando uma série de lagoas interdunares, como é o caso das lagoas do Catu e Encantada, situadas no centro leste e sudeste da área, respectivamente.

Em termos altimétricos a morfologia das dunas é destacada em relação às feições morfológicas dos tabuleiros pré-litorâneos, os quais possuem desníveis entre si variando entre 20 e 25 metros.

As praias são formadas por depósitos contínuos e alongados, paralelos à linha de costa em trecho compreendido entre a linha média de maré baixa e a base das dunas móveis. Incluindo nesse ambientes estão também os arenitos de praias (beach rocks), rochas que ocorrem em vários trechos da RMF, mais precisamente nas zonas de estirâncio e arrebentação. Nos limites da área de pesquisa essas rochas afloram nas proximidades da embocadura do rio Pacoti.

As planícies flúvio-marinhas são formadas pela ação conjunto de processos continentais e marinhos. Representa um ambiente constituído pela deposição de

sedimentos argilosos, ricos em matéria orgânica, onde se desenvolve a vegetação de mangue. São representadas por setores onde se processa a mistura de água doce dos rios e lagos com água salgada que penetra no continente através das marés. Exemplo nesse sentido é observado nas margens do rio Pacoti e na lagoa do Iguape.

A segunda unidade geomorfológica da área é representada pelos Glacis Pré-Litorâneo, os quais são formados pelos relevos tabulares e distribui-se como uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa na retaguarda nos depósitos eólicos. Segundo Sousa (op. cit.) essa unidade é constituída por sedimentos plio-pleistocênicos pertencentes à Formação Barreiras e possuem cota altimétrica baixa, com suave inclinação em direção ao mar.

Na área de estudo essa unidade ocupa praticamente dois terços de sua superfície, apresentando uma largura aproximadamente homogênea em toda sua extensão, com exceção da zona de ocorrência da planície aluvial do rio Pacoti, onde os sedimentos formados são de origem flúvio-marinhas e fluviais.

De acordo com Brandão *et al.* (1995), as planícies aluviais representam setores com melhores condições de solo e com disponibilidades hídricas mais desenvolvidas, constituindo-se em zonas de diferenciação geoambiental. Na zona pré-litorânea, a faixa de acumulação desses sedimentos tornam-se expressivas na medida que essa planície se entalha mais nos sedimentos da Formação Barreiras.

No trecho da área de estudo, representada pela planície do rio Pacoti, os sedimentos aluviais existentes não se caracterizam totalmente como aluviões, dado a influência da água salgada que atinge esses sedimentos, tornando-os de natureza flúvio-marinhas, mesmo ocorrendo nos domínios da Formação Barreiras.

## **5.2 - Clima**

As condições climáticas da área de estudo estão relacionadas à circulação atmosférica que ocorre no Nordeste e no estado do Ceará. Segundo a FUNCEME, apud Bezerra *et al.* (1995), essa circulação gira em torno dos sistemas meteorológicos

compreendidos por Zona de Convergência Intertropical, Frente Polar Atlântica ou Frente Fria, Massa Equatorial Continental e ventos Alísios de SE. Além dos sistemas acima, existem também, as Linhas de Instabilidades, ligadas às brisas marítimas.

A zona de Convergência Intertropical é considerada como o principal sistema meteorológico causador das maiores precipitações que ocorrem no período de fevereiro a maio, sendo os meses de março e abril a faixa de tempo em que ocorre o maior valor pluviométrico. Caracteriza-se por pesadas chuvas que se estendem do litoral para o sertão, onde atuam com menor intensidade.

Já o sistema regido pela Frente Polar Atlântica possui grande importância como elemento gerador de instabilidade e precipitações frontais ao longo do litoral nordestino no período de outono-inverno, no qual alcança maior intensidade. Tal fenômeno acontece devido ao deslocamento da massa de ar frio que penetra por baixo da camada de ar quente, provocando a sua elevação, formação de densas nuvens e conseqüente precipitação.

Com menor representatividade que a Zona de Convergência Intertropical, o sistema composto pela massa de ar Tropical Continental é o responsável pelas chuvas de verão em quase todo o litoral nordestino, devido ao deslocamento de massas quentes e úmidas que avançam sobre o continente, após o recuo da Frente Polar Atlântica.

O mês de abril é considerado como o espaço de tempo de maior precipitação do período chuvoso. Tal aspecto se deve ao fato da superposição do Sistema de Vorticidade Ciclônica com os demais sistemas nessa época do ano, o qual atua de forma mais intensa na faixa litorânea.

Considerando-se as condições dinâmicas dos sistemas acima descritos, conclui-se, portanto, que todos contribuem para que ocorra incidência de precipitações na região litorânea do Nordeste, mesmo em outra época do ano, fora do principal período chuvoso (fevereiro a maio). Nesse sentido, a associação dos referidos fenômenos meteorológicos com os fatores geográficos existentes, tais como relevo, latitude, correntes dos ventos alísios, baixas

latitudes, dentre outros, concorrem para a caracterização climática da faixa costeira, onde se localiza a área de estudo.

Informações registradas pela FUNCEME, apud Bezerra (op. cit.) indicam que o regime térmico na região costeira é marcado por temperaturas amenas, tendo em vista a influência dos ventos alíseos que sopram do Sudeste. Os dados térmicos quantitativos registram valores com média anuais situadas entre 25 e 27 °C e máximas em torno de 32 °C, podendo ocorrer valor mínimo de 23 °C e baixa amplitude térmica, com valores inferiores a cinco graus centígrados.

De acordo como o autor acima, o regime pluviométrico é representado pelas irregularidades das chuvas, cuja intensidade é bastante variável no tempo e no espaço, ocasionando anos de elevadas precipitações e outros de chuvas escassas. No que se refere à distribuição das chuvas, o ano se divide em dois períodos, um chuvoso e outro seco. O primeiro compreende os meses de fevereiro a maio com valores pluviométricos variando entre 1.200 e 1.380 mm, enquanto que de junho a janeiro corresponde ao período seco, o qual é sempre afetado por precipitações esparsas, decorrentes das linhas de instabilidades, geradas pelo efeito da brisa marítima. Essas anomalias pluviométricas no período seco contribuem para a conservação da umidade do solo durante quase todo o ano.

Levando-se em conta os aspectos climáticos antes abordados, conclui-se que os sistemas meteorológicos considerados, evidenciam índices pluviométricos mais acentuados e mais efetivos na região da costa, formando uma paisagem diferenciada em relação ao interior sertanejo. A junção dos referidos sistemas com os fatores geológicos e geográficos da região propiciam a formação de solos com teor de umidade suficiente para atender as necessidades básicas das plantas na maior parte do ano. No que diz respeito aos recursos hídricos subterrâneos, as boas condições de permeabilidade e porosidade das rochas sedimentares constituem elementos essenciais para que a água subterrânea seja considerada como um importante componente na avaliação do balanço hídrico da área.

Além das informações já apresentadas, a **tabela 1** reúne para Fortaleza e Aquiraz, outros dados climáticos pesquisados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

(1992), os quais constituem uma série temporal que enfoca a distribuição das médias mensais de temperatura e precipitação referentes ao período (1961 – 1990). Esses dados representam para o período, médias mensais compatíveis com os valores anuais médios antes definidos, os quais são considerados fundamentais para a avaliação do balanço já referido.

**Tabela 1** - Relação quantitativa sobre os valores das médias mensais entre temperatura e pluviometria (Período 1961 a 1990).

MESES	PLUVIOMETRIA (mm)	TEMPERATURA (°C)
JAN	129,6	27,3
FEV	215,6	26,7
MAR	338,6	26,3
ABR	348,1	26,5
MAI	226,1	26,3
JUN	160,1	25,9
JUL	91,4	25,7
AGO	31,2	26,1
SET	22,8	26,6
OUT	15,6	27,0
NOV	13,4	27,2
DEZ	49,8	27,3
<b>ANO</b>	<b>TOTAL = 1.642,3</b>	<b>MÉDIA = 26,6</b>

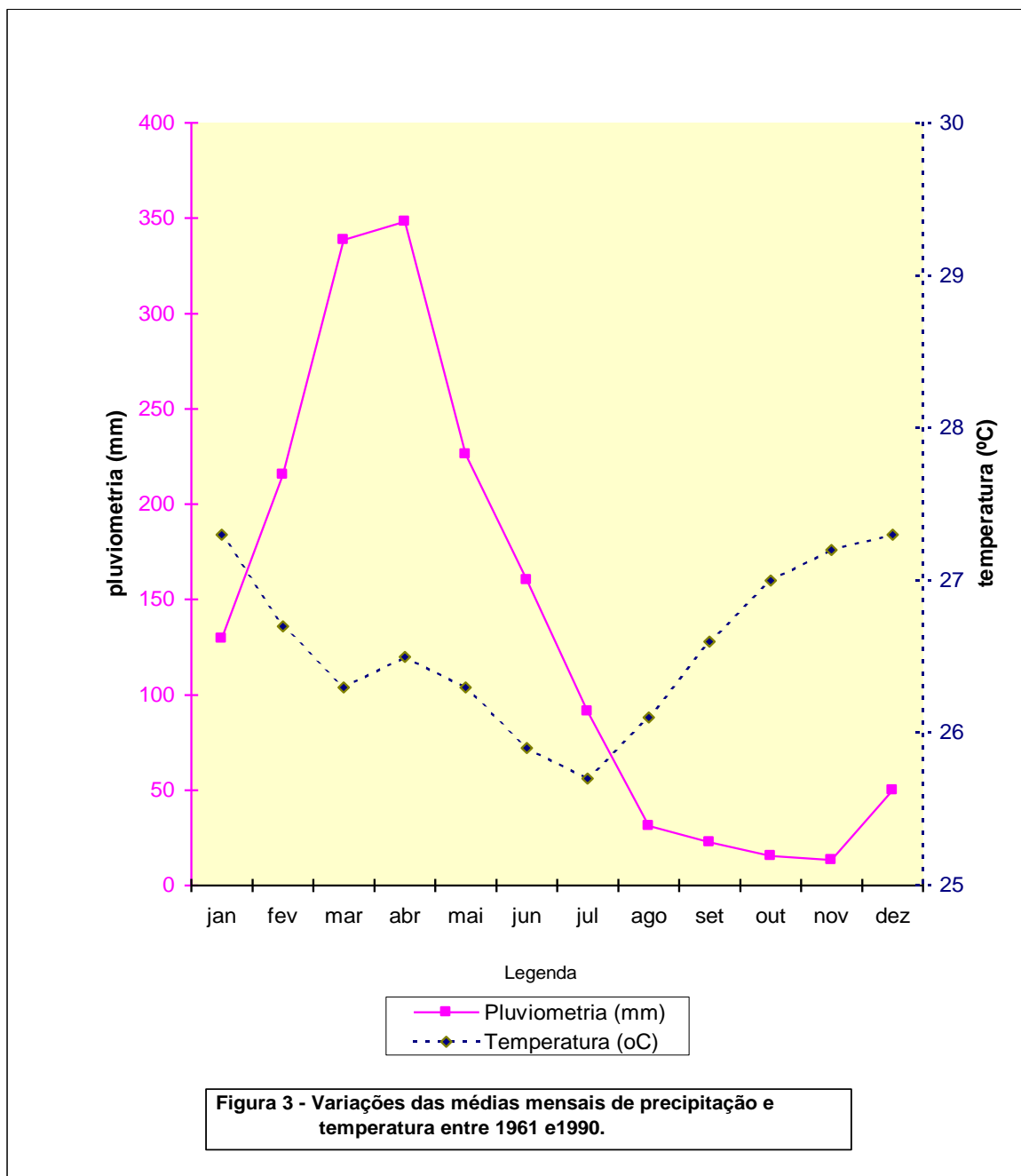
Fonte: INMET (1992)

O comportamento das médias pluviométricas e de temperaturas, para o período considerado (1961 – 1990), é mostrado através do gráfico da **figura 3**, cujas curvas indicam as variações dessas componentes climáticas, a partir do mês janeiro. A curva de pluviometria se apresenta com formação de pontos máximos nos meses de março e abril, confirmando assim a definição do período chuvoso, o qual é contrabalançado pela queda de temperatura que ocorre entre os meses de janeiro e março.

Na seqüência, o declínio pluviométrico tem início no mês de maio e se estende até agosto, época em que começa a fase de estiagem. Nesse período, ocorrem pequenas e esparsas precipitações que podem contribuir para manutenção da umidade na zona de solo, e são caracterizadas no gráfico pelos pontos mais baixos da curva pluviométrica. Através



do gráfico, observa-se também que é nesta fase do ano (estiagem) em que a curva de temperatura apresenta valores extremos, de comportamento ascendente, com o valor mínimo iniciado em julho e o máximo em dezembro.



### 5.3 – Vegetação

As feições da cobertura vegetais de uma região revelam os efeitos e o comportamento dos elementos naturais que compõem o ambiente, através da interação

entre o clima e os fatores do meio físico, além da interferência antrópica que muito tem contribuído para promover mudanças na composição da flora existente. Nesse sentido, as características da vegetação da área de estudo estão relacionadas à constituição dos fatores ambientais envolvidos, principalmente em relação ao litoral.

Segundo Figueiredo (1995), as condições climáticas, as feições topográficas da planície litorânea, dunas e tabuleiros, reunidos aos tipos de solos, determinam sob a influência do nível da água subterrânea o tipo de vegetação que ocorre nestas áreas. Com base na combinação desses fatores foram determinadas várias unidades da cobertura vegetal da região litorânea, sendo a área de estudo representada pelas seguintes divisões: Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, Mata Ciliar e Mangue.

O Complexo Vegetacional da Zona Litorânea está representado pela vegetação pioneira características de dunas e pela cobertura vegetal que reveste as dunas rebaixadas antigas.

Na vegetação pioneira, predominam as espécies rasteiras que exercem um importante papel como agente fixador, impedido a ação eólica sobre as dunas recentes que se encontram em estágio de estabilização e que são compostas pelas seguintes espécies: salsa (*Ipomoea pes-caprae*), oró (*Phaseolus ponduratus*), bredinho-da-praia (*Iresine portulacoides*) capim-barba-de-bode (*Sporobolus virginicus*), cipó-da-praia (*Reminea marítima*) e beldroega-da-praia (*Sesuvium portulacastrum*).

Já as dunas edafizadas mais antigas estão situadas à retaguarda das dunas acima mencionadas e apresentam umas coberturas vegetais arbórea, identificadas pelas seguintes espécies: João-mole (*Psonia tomentosa*), jucá (*Caesalpinia ferrea*), pau d'arco roxo (*Tabebuia avellanede*), tatajuba (*Chloroflora tinctoria*) e cajueiro (*Anacardium occidentale*).

Sobre os terrenos de tabuleiros situados mais para o interior, em setores onde a Formação Barreiras possui terrenos mais arenosos, ocorrem os tipos vegetais que são identificados pela associação de plantas, conhecidas como Caatinga e Cerrado. Os Cerrados formam manchas alternadas com outras espécies vegetais de sua zona de ocorrência, e

estão representados por sambaíba (*Curatela americana*), pau-terra (*Guaea paviflora*), carrapicho-de-cavalo (*Krameria tomentosa*) e barbatimão (*Stryphnodendron coriaceum*), etc.

Já a vegetação de Caatinga ocorre na mesma zona de tabuleiros e está relacionada às espécies de substituição, após a ocorrência de sucessivos desmatamentos. Suas principais espécies são: jurema (*Mimosa*), catingueira (*Caesalpinia*), camará (*Lantana camará*) e imburana-vermelha (*Bursera laptophlocos*).

A unidade vegetal da mata ciliar está relacionada às espécies desenvolvidas no trecho de baixo curso dos rios, onde o processo de deposição se sobrepõe ao de erosão resultando na formação de planície aluvial. São áreas que apresentam cobertura vegetal com solos férteis, de boas condições hídricas, caracterizadas por mata ciliar, cujo principal espécie vegetal é a carnaúba (*Copernícia cerífera*). Na área de estudo a mata ciliar esta representada predominantemente pela planície aluvial do rio Pacoti, destacando-se em quase toda extensão do rio, nos limites da área (**foto 1**) Além da carnaúba, outras espécies típicas são encontradas nesse ecossistema, tais como: munlugu (*Erythrina velutina*), ingá-bravo (*Lonchocarpus sericeus*), além de espécies arbustivas e trepadeiras.



**Foto 1** – Detalhe da vegetação da mata ciliar às margens do rio Pacoti.

A última unidade da seqüência vegetacional da área pesquisada é representada por mangue, ou seja, vegetação halófila típica de terrenos litorâneos baixos, sujeitos à ação de

maré. Na área estudada, as espécies vegetais de mangue ocorrem na região estuarina do referido rio Pacoti e também em setores abrigados da laguna do Iguape. As principais espécies vegetais representadas são: mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*) e mangue siriúba (*Avicennia shaueriana*).

#### **5.4 – Rede Hidrográfica**

Os principais aspectos hidrográficos da área de estudo são representados por partes das bacias do rio Pacoti e do riacho Catu, as quais possuem áreas quantificadas com valores 717,1 e 217,3 Km<sup>2</sup>, respectivamente, conforme Autarquia da Região Metropolitana de Fortaleza – AUMEF, (1984). Os cursos drenantes estão classificados como intermitentes, com fluxo de escoamento ocorrendo somente durante o período chuvoso, cujo índice pluviométrico mais elevado se dá entre os meses de fevereiro a abril.

O rio Pacoti é considerado o maior do município e um dos mais importante da RMF, com extensão de aproximadamente 130 km, sendo a maior parte do seu curso localizado em terrenos cristalinos. Ocorre no setor noroeste da área de estudo, correspondendo à faixa de baixo curso, onde percorre os trechos compreendidos pela Formação Barreiras e pelos depósitos litorâneos dunares, constituindo de uma forma geral, uma planície aluvionar ampla, associada à área de mangues.

Apesar da sua condição de intermitência, o rio Pacoti, na faixa de baixo curso, se apresenta com determinada quantidade de água salgada que cobre seu leito, devido à penetração da água do mar nas enchentes de maré, quando a influência desta chega a atingir até 8 km em direção ao continente.

Comparativamente ao rio acima, o riacho Catu é considerado como uma drenagem de pequeno porte, com pouca expressão hidrológica, mas assume importante papel na formação da lagoa homônima, a qual é responsável por parte do abastecimento da sede municipal e de outras localidades vizinhas.

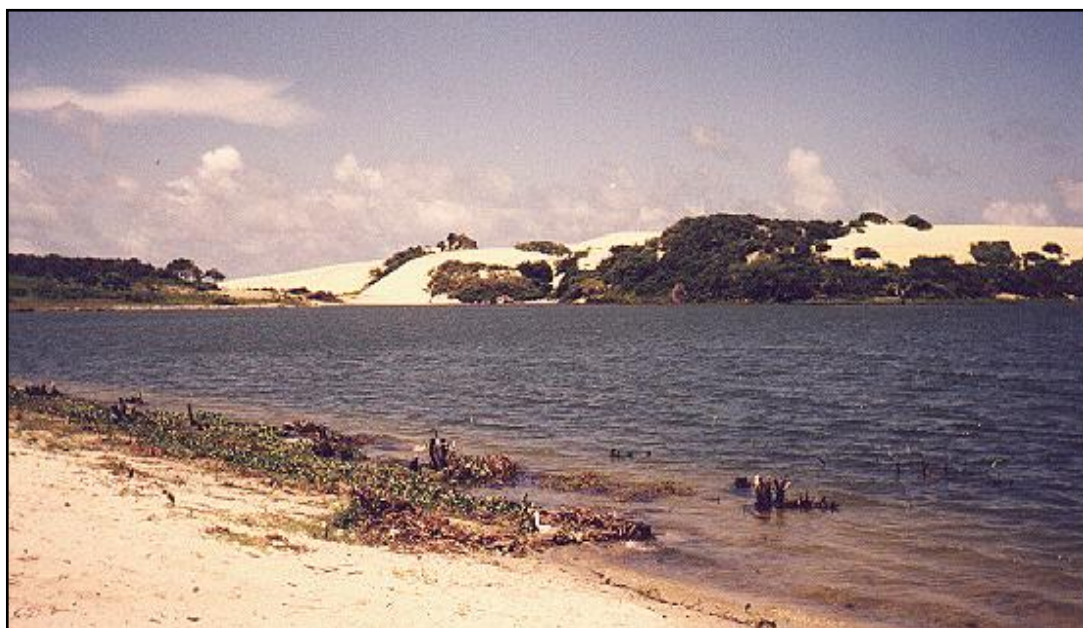
Além do rio e do riacho abordados, a rede hidrográfica é complementada pelos corpos de água representados por várias lagoas espalhadas na região de pesquisa, que

possuem áreas de formatos diversos e são consideradas essenciais na utilização do abastecimento doméstico e até agrícola. Estão localizadas em terrenos da Formação Barreiras associadas aos depósitos dunares, sendo este último ambiente caracterizado pelo surgimento de lagoas interdunares, cuja formação é decorrente da obstrução de alguns cursos de águas pelas dunas móveis, impedindo-os que atinjam o oceano.

Algumas lagoas formadas nas referidas condições apresentam evidências de interligação com aquíferos livres que exercem influências nas suas recargas.

Dentre as mais importantes lagoas da área, estão as lagoas do Catu e Encantada, sendo que apenas parte desta última está contida na área de estudo, mais precisamente no setor sudeste.

Esses corpos de águas são considerados os maiores reservatórios de águas superficiais da região estudada e do município, pois mesmo em período de intensa estiagem eles se mantêm com volumes de águas suficientes para atender as demandas exigidas. É o caso, por exemplo, da lagoa do Catu, alimentada parcial e sazonalmente pelo riacho homônimo. De acordo com o mapa da área, a lagoa apresenta um direcionamento leste-oeste (sentido do riacho) e a parte mais larga de sua bacia fica situada nas proximidades da Prainha, onde se localiza o corpo de duna que funciona como aquífero influente, ficando em contato direto com a lagoa (**foto 2**).



**Foto 2** – Vista parcial da lagoa do Catu. Aquiraz/CE

Considerando as condições de intermitência das drenagens locais e as observações de campo, salienta-se que a alimentação dessa lagoa pelo riacho Catu só ocorre mais em época chuvosa, quando a mesma recebe água da referida drenagem e também das precipitações pluviométricas. No período de estiagem é que se pode avaliar a contribuição de água que lagoa recebe do sistema aquífero dunas/paleodunas, tendo em vista que a mesma mantém um determinado volume de água, apesar das perdas impostas pela evaporação e também pelo bombeamento diário realizado pela CAGECE.

Situação semelhante de influência aquífera ocorre também com a lagoa Encantada, que mesmo sem ter um rio principal que a alimente, boa parte do seu volume de água é fornecido pelo mesmo sistema aquífero, em um outro local da área de pesquisa, dentro das mesmas condições hidrogeológicas.

## **6 – GEOLOGIA**

Geologicamente, encontram-se representados na área de estudo as rochas cenozóicas da Formação Barreiras e dos sedimentos litorâneos que constituem o corpo de dunas, as praias recentes e os depósitos flúvio-aluvionares e de mangues.

Conforme mostra o mapa geológico da **figura 4**, os sedimentos terciários da Formação Barreiras ocupam em torno de 75% da área de pesquisa e se distribuem como uma faixa aproximadamente paralela à linha de costa, com largura variável entre 4,5 a 10 km nos limite da área. De acordo com Brandão *et al.* (1995), no contexto geral da RMF, essas rochas chegam a atingir 30 km de largura em direção ao interior.

Os sedimentos da referida formação repousam discordantemente sobre a superfície irregular do embasamento pré-cambriano, em discordância angular erosiva. Sua espessura encontra-se bastante variável devido à irregularidade do embasamento, aumentando em direção a linha de costa, onde se apresenta sotopostos aos sedimentos eólicos representados pelas dunas e paleodunas.

Litologicamente, essa seqüência é constituída por sedimentos areno-argilosos,

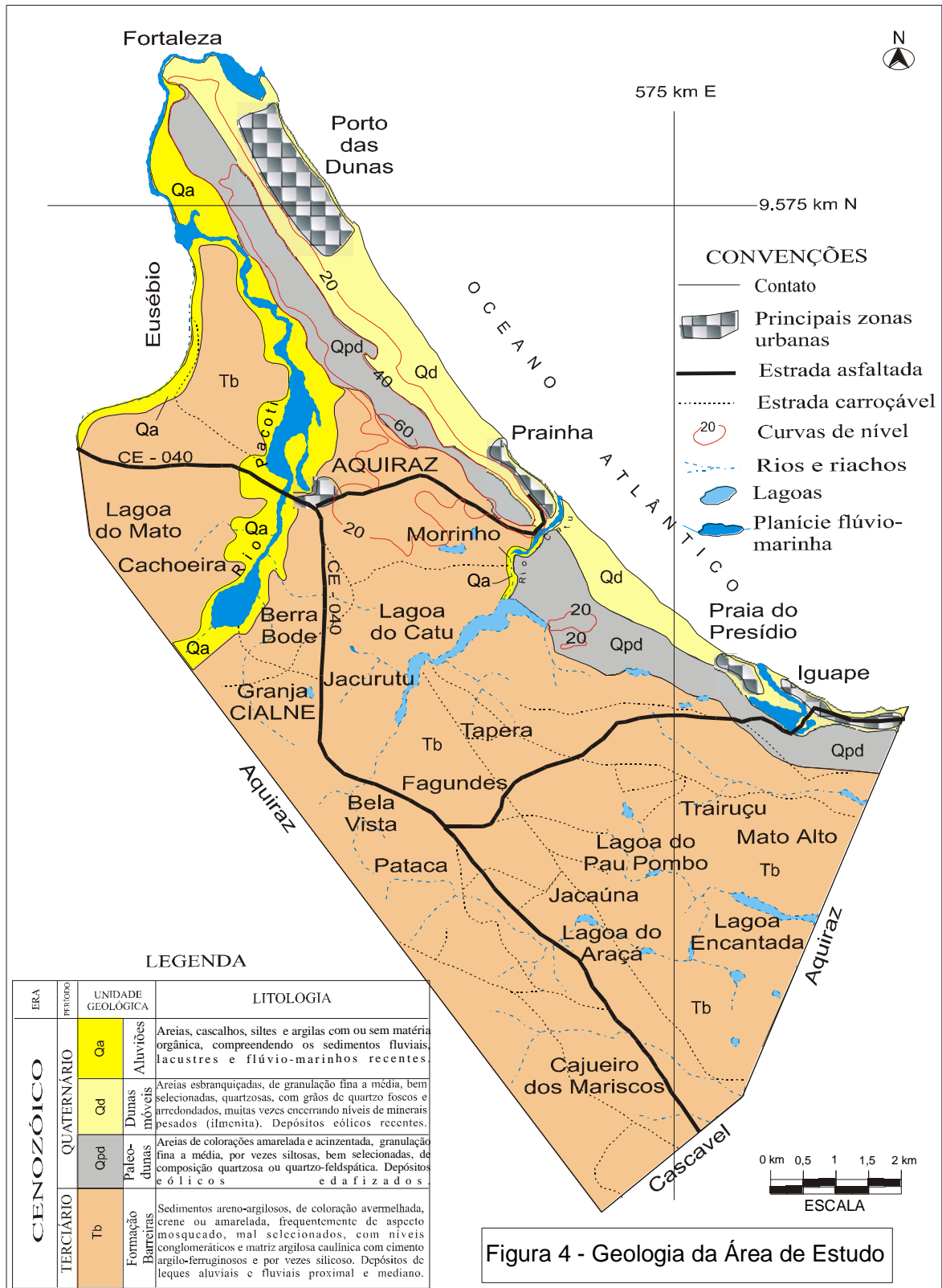


Figura 4 - Geologia da Área de Estudo

pouco litificados, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, com granulação variando de fina a média, contendo intercalações de níveis conglomeráticos. Segundo Braga et al. (1981), na porção onde domina a granulação fina a média pode ser encontrado horizontes mais argilosos com concentrações de óxidos de ferro, crosta de laterização ou ainda seixos imaturos, flutuantes na matriz. De acordo com as literaturas pesquisadas os horizontes lateríticos não têm cotas definidas, mas comumente estão associados aos níveis de percolação das águas subterrâneas.

Ainda, segundo os citados autores, o caráter ambiental das rochas da Formação Barreiras é predominantemente continental, sendo que os sedimentos foram depositados sobre condições de um clima semi-árido sujeito a chuvas esporádicas e violentas, formando amplas faixas de leques aluviais coalescentes.

Seguindo a seqüência lito-estratigráficas das rochas da área, os sedimentos quaternários das paleodunas estão depositados discordantemente sobre as rochas da Formação Barreiras e representam as dunas mais antigas, que ficam situadas numa cota mais baixa em relação às dunas recentes. É distribuída de forma mais ou menos contínua por toda a faixa costeira, e possuem largura variável entre 0,7 a 1,5 km dentro da área de estudo, onde na localidade do Porto das Dunas tem-se sua melhor exposição.

Em termos litológicos, as paleodunas são compostas por areias bem selecionadas de granulação fina à média, ou vezes siltosas, com tons amarelados, alaranjados e acinzentados. De acordo com Brandão *et al.* (op. cit.), trata-se de uma geração mais antiga de dunas, as quais apresenta o desenvolvimento de processos pedogenéticos, com a conseqüente fixação de um revestimento vegetal de maior porte, comparativamente às dunas recentes.

A similaridade existente entre os sedimentos das paleodunas com os da Formação Barreiras tem levado a várias controvérsias sobre a identificação litológica dos sedimentos inconsolidados relacionados a essas duas unidades, o que implica na necessidade de estudos mais detalhados em relação à diferenciação de suas rochas.

Já as dunas móveis, ou recentes (Quaternárias), representam uma unidade constituída por sedimentos inconsolidados, removidos da superfície da praia, formando



acumulações dunares que se distribuem em forma de um cordão contínuo, disposto paralelamente à linha de costa. Esses depósitos estão situados em toda faixa costeira da área de estudo, só sendo interrompido pela presença de planícies fluviais e flúvio-marinhas, caracterizadas na área, através da planície do rio Pacoti, da foz do rio Catu e do canal que faz a interligação entre o mar e a laguna do Iguape.

As dunas móveis são litologicamente caracterizadas por areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosa, com grãos de quartzo foscos e arredondados, contendo muitas vezes níveis de minerais pesados, sobretudo ilmenita.

As referidas dunas são caracterizadas pela ausência de vegetação e pela presença de um revestimento vegetal pioneiro que contribui para atenuar o efeito da dinâmica eólica.

Incluídos no contexto estratigráfico das dunas móveis, as praias recentes (Qd) são constituídas por sedimentos predominantemente arenosos, depositados ao longo da costa, numa faixa que compreende desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis. Esses depósitos formam acumulações de areias de granulação média a grossa, ocasionalmente cascalho, com restos de conchas e minerais pesados. Nesse mesmo ambiente ocorrem, também, os arenitos de praias (beach rocks) que em geral correspondem ao arenito conglomerático com grande quantidade de algas e moluscos, cimentados por carbonato de cálcio, ocorrendo sempre próximo às desembocaduras dos rios e riachos. Com relação à área de estudo, são observadas presenças dessas rochas nos setores que ladeiam a foz do rio Pacoti.

Os depósitos flúvio-aluvionares e de mangues representam as últimas rochas de natureza quaternária (Qa) e são formados por sedimentos fluviais, lacustres ou estuarino recentes, representados basicamente por areias, cascalho, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica. Nos terrenos onde existem coberturas sedimentares, as planícies de inundação são sempre caracterizadas pelas presenças de material de granulação mais fina, os quais formam depósitos possantes, decorrentes dos sedimentos erodidos da Formação Barreiras e das dunas, resultando no acúmulo de areias finas, siltes e argila.

Na área de estudo, o acúmulo desses sedimentos pode ser presenciado, através de material siltico-argiloso e orgânico que ocorre nas margens do rio Pacoti e partes do riacho Catu. Sua abrangência ao longo do referido rio, ocorre até os limites de influência do mar em direção ao continente, propiciando a formação de um ambiente representado por vegetação mista.

## **7 - TIPOS DE SOLOS**

As definições dos tipos de solos da área desse trabalho estão fundamentadas na classificação dos solos pertinentes ao estado do Ceará e especificamente sobre a RMF, através de informações fornecidas por Leite & Marques (1995) e Brandão *et al.* (op. cit.).

As classes de solos para toda a área referem-se aos setores das planícies litorâneas e flúvio-marinha. O primeiro setor está representado pelas areias quartzosas distróficas e marinhas, enquanto que o segundo é envolvido por solos halamórficos, constituídos por solonetz solodizado e solos indiscriminados de mangues.

As areias quartzosas distróficas são distribuídas nos terrenos pré-litorâneos, sendo que as maiores incidências ocorrem no município de Aquiraz. Essas areias foram desenvolvidas a partir do retrabalhamento dos sedimentos da Formação Barreiras e, por vezes, estão associadas às areias marinhas e podzólicos vermelho amarelos, distróficos. Compreendem solos profundos ou muito profundos com seqüência de horizonte A-C, excessivamente drenados, com grãos simples e baixos teores de argila (15%).

Já as areias quartzosas marinhas estão situadas na planície litorânea, na faixa costeira compreendida pelos campos de dunas, constituindo uma estreita área que acompanha paralelamente a linha de costa e às vezes interrompida por rios e/ou canal. É composta por solos de baixa fertilidade, excessivamente drenados, apresentando seqüência de horizonte A-C. Em geral o horizonte A, fracamente desenvolvido, apresenta textura arenosa e coloração cinza escura a muito escuro. O horizonte C, com característica semelhantes ao A, exhibe coloração mais clara, geralmente cinza-clara a bruno-amarelado.

São solos que apresentam fortes limitações para o uso agrícola.

Os solos halomórficos, que constituem a segunda classe de solos da área estão representados pelos solonetz solodizado e solos indiscriminados de mangues. Ocorrem na zona costeira, mais precisamente nos locais próximos à foz dos principais rios e ao longo dos seus cursos, até onde se faz sentir a influência das marés. Na área de pesquisa, esses solos ocorrem nas adjacências da desembocadura do rio Pacoti e também em setores da planície aluvial (baixo curso) afetados pela maré cheia.

Os solonetz solodizados mostram horizontes bem diferenciados, normalmente rasos a mediantemente profundos, imperfeitamente ou mal drenado, com reação moderadamente ácida a praticamente neutra, muito suscetível a erosão, com seqüência de horizontes A, Bt e C. Sua utilização agrícola é bastante limitada pelo excesso de água na estação chuvosa, e deficiência na época seca, além do alto teor de sódio.

Com características de ocorrências semelhantes aos solonetz solodizados, os solos indiscriminados de mangues possuem cobertura vegetal típica e são formados sob condições de excesso de água do mar. Na área de estudo, ocorrem nas proximidades da desembocadura do rio Pacoti e também em alguns pontos da laguna do Iguape.

São solos pouco desenvolvidos, gleyzados, mal drenados, com alto teor de sais, proveniente da água do mar e de compostos de enxofre, formados nas áreas sedimentares baixas alagadas, onde há ocorrência de matéria orgânica.

Geralmente não possuem nítida diferenciação de horizonte, podendo, no entanto, apresentarem um horizonte A nas faixas marginais e exibem textura que varia de argilosa a arenosa.

## **8 - BALANÇO HÍDRICO**

O levantamento do balanço hídrico visa estabelecer o saldo hídrico entre os aportes e as saídas de água dentro da unidade hidrográfica que compõe a área, através de um

determinado intervalo de tempo. Esse saldo está diretamente relacionado aos fatores que integram o ciclo hidrológico e que estão ao mesmo tempo envolvidos na equação do balanço. Dentre esses fatores se inclui o movimento da água subterrânea, que é regido basicamente pelos aspectos geológicos e hidrológicos, os quais são responsáveis pela ocorrência da água em subsuperfície e pelo suprimento da água para o solo, respectivamente (Todd, 1967).

Já os parâmetros que constituem o referido balanço são representados pela precipitação pluviométrica, evapotranspiração, escoamento e infiltração, sendo esse último elemento considerado o mais importante para contribuição das variações de reservas das águas subterrâneas.

### **8.1 – Aspectos Gerais**

O potencial de um aquífero ou a disponibilidade de água subterrânea de uma determinada região está condicionada às suas características climáticas e geológicas. Segundo Castany (1975), com algumas exceções, as regras aplicadas no balanço hídrico de camadas aquíferas são as mesmas utilizadas para o balanço hídrico global. Nesse sentido, para que se proceda a avaliação desse balanço é necessária as considerações dos principais componentes climáticos e hidrológicos, representados pelas precipitações pluviométricas, temperaturas, evapotranspiração e infiltração, além das condições geológicas que envolvem a água subterrânea. É fundamental para o balanço o período de referência em que o mesmo é considerado e também a interação dos referidos parâmetros durante esse período. No caso desse trabalho, o tempo de referência compreende uma série temporal de 30 anos (1961-1990), com ano hidrológico de janeiro a dezembro.

Além das considerações do autor acima a escolha desse período de referência tem por base os dados produzidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), relacionados aos parâmetros climáticos envolvidos.

Através dos resultados gerais do balanço hídrico de uma camada aquífera são encontrados dados hidrológicos importantes que podem ser empregados nas avaliações das

reservas explotáveis, como é o exemplo da Infiltração eficaz ( $I_w$ ), utilizada nos cálculos das reservas reguladoras da área de estudo.

Os principais aquíferos da área estão constituídos por rochas sedimentares as quais formam aquíferos livres, ou seja, não possuem camadas confinantes, e que por essa razão são beneficiados pela infiltração eficaz, que representa a parcela da água infiltrada no solo que vai influir na zona de saturação e contribuir conseqüentemente com as reservas reguladoras. Nesse sentido, Castany (op.cit.) considera que a infiltração eficaz é o fator mais relevante no que diz respeito à entrada de água em aquíferos livres, pois além de ser o parâmetro responsável pela variação do nível potenciométrico, exerce também um importante papel na ocorrência da recarga. Nesse sentido, o referido autor procura caracterizar a dinâmica do balanço hídrico global de uma área, em função da variação dos parâmetros hidrológicos envolvidos, os quais são representados pela equação a seguir:

$$\mathbf{P = R + E + I}$$

Onde: P = Precipitação (mm)

R = Escoamento superficial (mm)

E = Evapotranspiração real

I = Infiltração

Em se tratando de balanço hídrico de camadas aquíferas, não é considerado o escoamento superficial (R), já que uma parte da água infiltra, outra se evapora e o restante é captado no exutório. Conclui-se, portanto, que nesse tipo de balanço, o dado mais importante para entrada de água no aquífero é a infiltração eficaz ( $I_w$ ), o que leva o fator **P** da equação anterior a depender apenas dos valores E e I, resultando nas novas equações abaixo.

$$\mathbf{P = E + I_w}$$

ou

$$\mathbf{I_w = P - E}$$

A precipitação (P) é expressa pela quantidade de água adicionada ao solo, principalmente através da chuva. Já a evapotranspiração real (E) está relacionada à evaporação da quantidade de água que se encontra retida no solo para alimentar as plantas, ou seja, num período de déficit pluviométrico, a água retida alimenta a evapotranspiração real. Com o aumento da umidade ou com o surgimento das precipitações, cresce também a

evapotranspiração a um valor máximo, caracterizando, portanto a evapotranspiração potencial ( $E_p$ ), ou seja, a quantidade de água que evapotranspira quando as reservas de água do solo são suficientes para compensar as altas perdas. Conseqüentemente, este parâmetro representa o consumo de umidade necessário para que a vegetação nunca sofra falta de água.

Estudo de balanço hídrico realizado pela COGERH (1999), sobre a RMF indica que um amplo setor da faixa costeira, onde está contida a área deste trabalho, apresenta um valor zero para a taxa de escoamento superficial encontrado. Esse resultado vem contribuir para que o valor da infiltração eficaz, que se pretende calcular, esteja dentro das condições naturais que envolvem área de estudo, já que o método antes abordado de balanço não considera o referido deflúvio. Segundo essa instituição, a inexistência de valor para esse parâmetro está associada aos aspectos geológicos e geomorfológico da área, já que os terrenos da Formação Barreiras possuem baixo gradiente topográfico e são constituídos litologicamente por solos arenosos, favoráveis a infiltração, além das boas condições de permeabilidade e porosidade existentes nos depósitos dunares. (utilizar em Revisão Bibliográfica)

## **8.2 – Determinação da Evapotranspiração Potencial**

De acordo com as considerações apresentadas, efetua-se a avaliação do balanço hídrico da área de pesquisa para o período 1961-1990, seguindo-se os critérios de cálculo do balanço para camadas aquíferas, utilizando-se os parâmetros hidrológicos climáticos, já enfocados, através da fórmula empírica de Thornthwaite (apud Castany, op.cit). Considerando-se os elementos básicos empregados nessa fórmula, a evapotranspiração potencial ( $E_p$ ) constitui o elemento inicial para o cálculo do balanço hídrico, e a sua obtenção está fundamentada na utilização da temperatura mensal média ( $T$ ) e do fator ( $k$ ), conforme está descrito na fórmula empírica de Thornthwaite, a seguir:

$$E_p = 16(10 \times T/I)^a \times k$$

Onde:

$E_p$  = evapotranspiração potencial (mm);

$T$  = temperatura média mensal em °C, referente ao período considerado

$I$  = o índice térmico anual definido como a soma dos índices mensais ( $i$ );

$k$  = fator de correção que depende da latitude do lugar e do valor da insolação média mensal

$i$  = índice térmico mensal, obtido em função da temperatura média mensal ( $T$ )

$a$  = constante, cujo valor está relacionado ao índice térmico ( $I$ )

$$i = (T/5)^{1,5}$$

$$I = \sum i = 147$$

$$a = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$$

$$a = 3,6$$

Através dos dados utilizados na fórmula acima, foram obtidos os valores da evapotranspiração potencial ( $E_p$ ) existentes na **tabela 2**, referentes às médias mensais do período já determinado. Para sua obtenção foram usadas as temperaturas mensais médias ( $T$ ) e o índice térmico anual ( $I$ ), além do fator de correção  $k$ , que está relacionado à latitude do local da área pesquisada, cujos valores mensais correspondentes são fornecidos por Villela *et al.* (1975).

**Tabela 2** – Cálculo da Evapotranspiração Potencial para Fortaleza e Aquiraz, segundo o método de Thornthwaite, referente ao período 1961- 1990

MESES	TEMPERATURA T(°C)	ÍNDICE TÉRMICO(I)	FATOR <u>K</u>	Ep(mm)
JAN	27,3	12,75	1,06	157,49
FEV	26,7	12,33	0,95	130,29
MAR	26,3	12,06	1,04	135,09
ABR	26,5	12,20	1,00	136,16
MAI	26,3	12,06	1,02	132,50
JUN	25,9	11,78	0,99	121,70
JUL	25,7	11,65	1,02	121,93
AGO	26,1	11,92	1,03	130,17
SET	26,6	12,27	1,00	135,31
OUT	27,0	12,54	1,05	149,92
NOV	27,2	12,68	1,03	151,02
DEZ	27,3	12,75	1,06	157,49
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>26,8</b>	<b>147</b>	—	<b>1659,07</b>

LEGENDA: Ep = Evapotranspiração potencial; K = Fator de correção térmica mensal

### 8.3 – Resultados dos Principais Dados do Balanço

A partir dos dados mensais da evapotranspiração potencial (Ep) e dos respectivos valores das médias de precipitação pluviométrica mensais é construída a **tabela 3**, composta pelos principais parâmetros necessários ao quadro do balanço hídrico da área. Os outros elementos que compõem as demais colunas dessa tabela foram obtidos através da relação entre a variação climática e as condições de absorção da água no solo, fato responsável pela a infiltração e também pela evapotranspiração real do balanço. A contabilização desses dados propiciou a definição dos valores da infiltração eficaz ( $I_w$ ) e da referida evapotranspiração real (Er).



**Tabela 3** – Dados gerais do Balanço Hídrico para Fortaleza e área pesquisada, de acordo com Thornthwaite (Período 1961 a 1990)

MESES	P(mm)	Ep(mm)	P – Ep (mm)	CA(mm)	Er (mm)	Déficit (mm)	Ex(mm)
JAN	129,6	157,5	-27,9	0,0	129,6	27,9	0,0
FEV	215,6	130,3	85,3	85,3	130,2	0,0	0,0
MAR	338,6	135,1	203,51	100,00	135,1	0,0	188,8
ABR	348,1	136,1	212,0	100,00	136,1	0,0	212,0
MAI	226,1	132,5	93,6	100,00	132,5	0,0	93,6
JUN	160,1	121,7	38,4	100,00	121,7	0,0	38,4
JUL	91,4	121,9	-30,53	69,47	121,9	0,0	0,0
AGO	31,2	130,1	-98,97	0,0	100,6	29,5	0,0
SET	22,8	135,3	-112,51	0,0	22,8	112,5	0,0
OUT	15,6	149,9	-134,32	0,0	15,6	134,3	0,0
NOV	13,4	151,0	-137,62	0,0	13,4	137,6	0,0
DEZ	49,8	157,5	-107,7	0,0	49,8	107,7	0,0
<b>TOTAL</b>	<b>1642,3</b>	-	-	-	<b>1109,3</b>	-	<b>532,8</b>

LEGENDA: P = Precipitação; Ep = Evapotranspiração potencial; Er = Evapotranspiração real; CA = Capacidade de Armazenamento do solo; Ex = Excedente hídrico.

Além desses dados, é considerada também a capacidade de armazenamento de água (CA) que o solo é capaz de suportar, a qual funciona como limite de tolerância hídrica do solo, caracterizando as condições de excesso ou de deficiência de água em relação aos volumes precipitados e/ou evapotranspirados. O valor atribuído à quantidade de água que o solo é capaz de armazenar, varia normalmente com as características litológicas apresentadas. Ocorre, porém, que Thornthwaite (op. cit.) fixou de forma arbitrária o valor de 100 mm como capacidade de armazenamento de água que o solo pode suportar, sendo esse o valor usado como ponto de referência entre as condições de infiltração e de evapotranspiração.

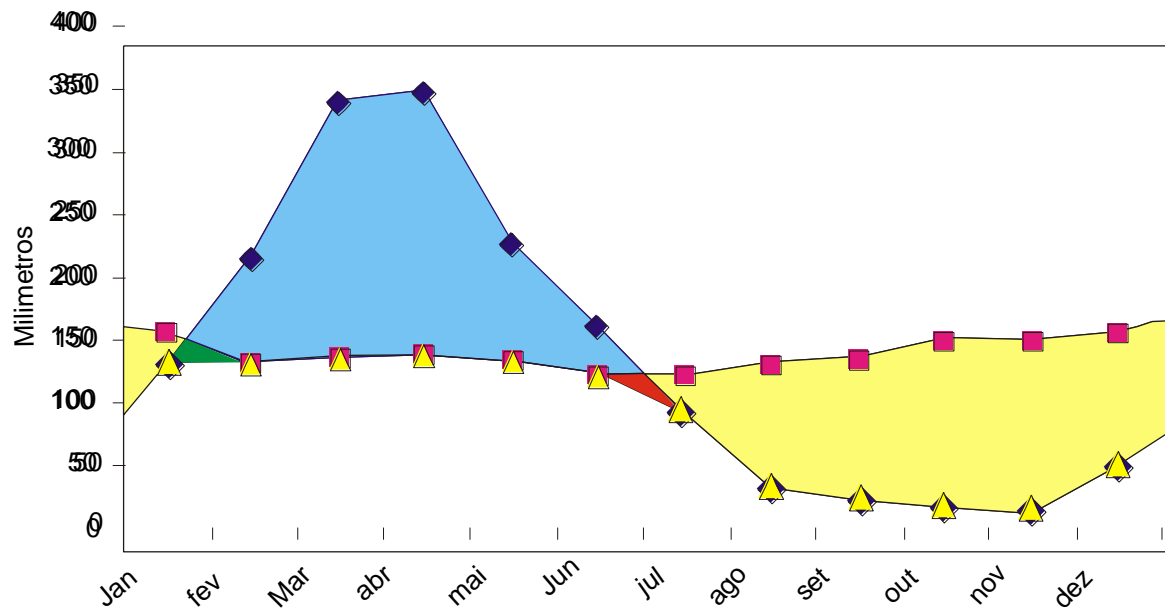
Com base nos dados levantados na tabela anterior, pode ser estabelecida uma avaliação do comportamento das variáveis envolvidas no balanço em relação ao período considerado. O gráfico da **figura 5** mostra a variação climática entre esses

dados e também os respectivos resultados hidrológicos em milímetros, em cada faixa de tempo do ano médio.

Considerando-se as informações apresentados na tabela e nas curvas do gráfico, pode-se concluir que o período de maior incidência de precipitação ocorre entre os meses de fevereiro a maio. Durante essa época, a evapotranspiração real se iguala a evapotranspiração potencial, gerando conseqüentemente, um excedente hídrico (Ex), que contribui para infiltração eficaz média ( $I_w$ ), responsável pela recarga do aquífero e pela variação da superfície potenciométrica.

Com relação ao excedente hídrico na faixa litorânea, Ribeiro e Gonçalves (1981) e Bezerra (1989) apud Brandão *et al.* (1995), comentam que quando a razão precipitação/evapotranspiração potencial ( $P/E_p$ ) é maior que 1 (um), significa que existe um potencial hídrico disponível à recarga dos aquíferos e a capacidade de armazenamento de água no solo, fato que deve acontecer normalmente entre os meses de maiores precipitações.

A partir dos dados apresentados na referida tabela 2, calcula-se, em fim, o valor da infiltração eficaz ( $I_w$ ), através da fórmula abordada anteriormente, representada por  $I_w = P - E$ . Neste caso, a referida infiltração é calculada pela diferença entre a precipitação e evapotranspiração real, ou seja:  $I_w = 1642,3 - 1109,3 = 533 \text{ mm}$ . Esse valor constitui um dado referencial importante para avaliação das reservas renovadoras dos aquíferos pesquisados.



### LEGENDA

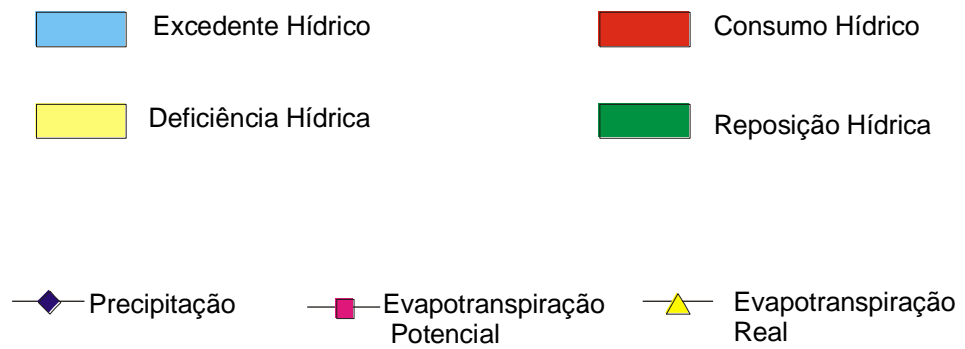


Figura 5 - Balanço Hídrico

Observa-se também que os meses de agosto a dezembro apresentam-se como um período de baixos índices pluviométricos e é caracterizado como época de acentuada estiagem. Nessa fase, a evapotranspiração potencial eleva-se bastante em comparação com a evapotranspiração real, resultando, portanto, numa situação deficitária de água para o solo, anulando concomitantemente as condições de infiltração para o aquífero.

Considerando todos os elementos apresentados, conclui-se, portanto, que o período mais importante da série anual para a contribuição dos aquíferos, está representado pelos meses em que ocorre o excedente hídrico, tempo que acontece a infiltração eficaz ( $I_w$ ). Em termos gerais, observa-se que houve um saldo positivo para a infiltração eficaz média em relação ao período considerado (1961-1990), a qual irá influir no comportamento das reservas reguladoras da área.

Vasconcelos (1994) usando dados semelhantes aos deste trabalho, e para um período menor (20 anos), encontrou para Fortaleza um valor inferior ( $I_w = 505$  mm), comprovando, portanto a aproximação com o valor de  $I_w$  encontrado nessa pesquisa, fato que confirma também a existência das mesmas características climáticas e geológicas entre Aquiraz e Fortaleza.

A infiltração eficaz desse balanço, definida na fórmula anterior corresponde à aproximadamente 33% do total das precipitações médias para o período considerado. O valor encontrado será aplicado nas avaliações das reservas renováveis, proporcionalmente às taxas de porosidades efetivas dos principais sistemas aquíferos da área.

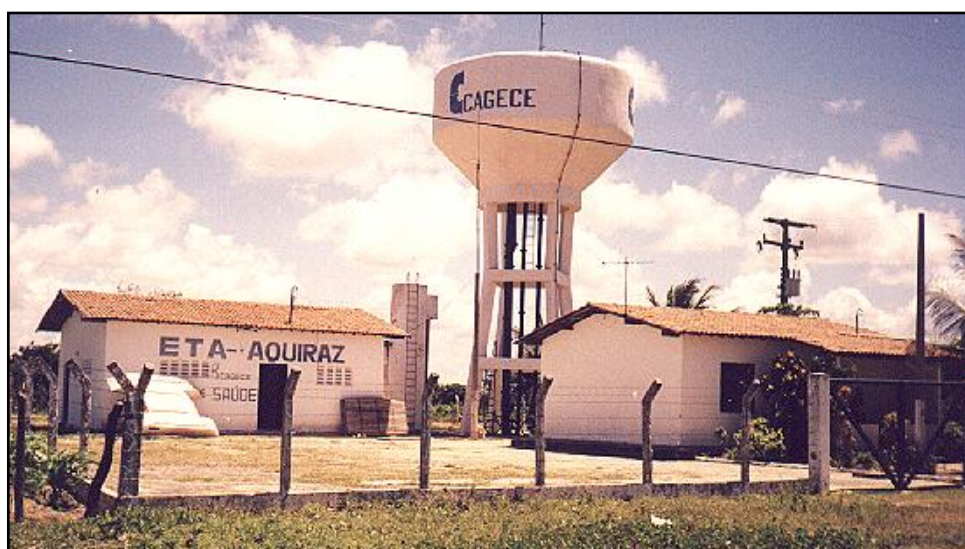
## **9 - CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

O município de Aquiraz, dado ao seu posicionamento litorâneo, possui condições climáticas agradáveis, decorrentes da influência dos ventos alísios e dos maiores índices de precipitação do estado (1.000 a 1.380 mm/ano), cuja intensidade tende a diminuir na direção do sertão. A associação desses fatores com a hidrogeologia local do aquífero contribuem para que a população da região litorânea do município seja beneficiada por

água subterrânea dos sistemas aquíferos dunas/paleoduna e Barreiras.

A área do presente trabalho está inserida no contexto físico do referido município, ficando, portanto envolvida pelas características climáticas e ambientais que constituem a zona costeira. Além da sede municipal, a área de estudo é composta por vários núcleos urbanos que têm a água subterrânea como a principal alternativa de abastecimento doméstico.

Comparativamente aos outros setores urbanos, as condições política e administrativa da citada sede constituem um referencial importante na avaliação do consumo de água e nas condições limites de abastecimento, compostas pelos fatores representados por maior abrangência urbana, consumo mais elevado e também a participação mais efetiva dos órgãos públicos do município e do estado nos problemas relacionados aos interesses da comunidade. Além da oferta da água subterrânea, parte da população local é suprida também pela água superficial da lagoa do Catu, que é bombeada para uma estação de tratamento da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) (**foto 3**) e, em seguida, distribuída para várias residências de algumas localidades, principalmente da sede. Essa empresa é o órgão público responsável pelo abastecimento e saneamento de várias cidades do estado.



**Foto 3** - Aspecto do reservatório da CAGECE que armazena água da lagoa do Catu.

Segundo informações da CAGECE (1998), a cidade de Aquiraz, principal referencial, possui aproximadamente 18.000 habitantes, dos quais apenas 3.000 pessoas (16%) são beneficiadas por 800 ligações, atendidas pelo setor público, através de água superficial, enquanto a maioria da população restante utiliza água subterrânea.

Ainda, conforme os dados fornecidos pela referida instituição, são bombeados 700m<sup>3</sup>/dia durante 12 horas, resultando de uma vazão horária de 58 m<sup>3</sup>. Desse total, ocorre uma perda de aproximadamente 70 m<sup>3</sup> (10%) até a água chegar ao consumidor. Tais perdas são justificadas em função da água utilizada nas lavagens de filtros de tratamento, e também devidos a pequenos vazamentos que ocorrem no processo de adução. Este volume de água é considerado insuficiente para atender as necessidades plenas dos usuários. Além disso, a água da lagoa não apresenta qualidades satisfatórias para o consumo, pois, apesar de passar por processo de cloração, não possui características suficientes de potabilidade. Tal fato leva a população do lugar recorrer a principal alternativa de abastecimento, que é a água subterrânea, captada através de poços tubulares, cacimbas (poços escavados) e água mineral comercializada.

Além da sede municipal, existem vários distritos e povoados com razoáveis concentrações urbanas, todos abastecidos com água subterrânea, captada dos sistemas aquíferos da área, através de poços tubulares, escavados e fontes. É o caso, por exemplo, do Porto das Dunas, região turística onde fica localizado o Beach Park (**foto 4**), órgão recreativo, cujo abastecimento ocorre em função da água extraída da zona de descarga do aquífero dunas/paleodunas, através de vários poços tubulares rasos, com profundidade média de 8 metros. Essa zona corresponde a uma parte de terreno, relacionada ao setor de berma, com características aproximadamente planas, posicionado entre o mar e as dunas, que apresenta bom potencial hidrogeológico.



**Foto 4** - Vista parcial do Porto das Dunas, vendo-se ao fundo o Beach Park, empreendimento recreativo, totalmente abastecido por água subterrânea do aquífero dunas/paleodunas.

Outras localidades como a Prainha, Tapera e Iguape também podem ser destacadas pelo uso da água subterrânea. A segunda destas localidades possui poços profundos ligados a alguns chafarizes públicos interligados a várias casas do lugar.

As fontes naturais constituem uma outra alternativa de abastecimento para algumas comunidades que habitam em localidades situadas na área correspondentes ao sistema aquífero dunas/paleodunas. São fontes naturais, cuja surgência ocorre em função da percolação da água subterrânea sobre os níveis argilosos da Formação Barreiras, como por exemplo, a fonte do Iguape, que é bastante conhecida e utilizada com grande frequência pela população local (**foto 5**).



**Foto 5** – Fonte do Iguape: Alternativa de abastecimento por água subterrânea (Sistema aquífero dunas/paleodunas)

É importante destacar que dos 52.282 habitantes do município, mais de 94% são beneficiadas com o uso da água subterrânea, captada por poços tubulares, escavados, e fontes. O restante do abastecimento é complementado por águas superficiais provenientes de algumas lagoas e também por água mineral, adquirida comercialmente.

A falta de saneamento básico associada ao crescimento urbano das localidades compromete a qualidade da água subterrânea da área, haja vista a facilidade de



contaminação que existe nos meios porosos, em decorrência da proliferação de fossas sépticas e lançamentos de águas servidas. Várias análises feitas em poços dessas localidades revelaram a contaminação da água subterrânea pelas presenças de bactérias do grupo coliformes fecais. Além disso, o risco de contaminação destas captações dependem também do cuidado que se deve ter em relação às características construtivas dos poços, principalmente os tubulares, que são feitos sem nenhuma proteção sanitária (proteção de cimento) entre o tubo de revestimento e a formação rochosa.

Levando-se em conta a situação costeira da área de pesquisa e, especificamente, de algumas localidades situadas em zonas praianas, a água salgada não tem constituído até o presente, nenhum fator agravante para o consumo das água subterrâneas pelas populações dessas áreas, já que todos se abastecem sem apresentar nenhuma restrição sobre a salinidade excessiva, ou contaminação por água salgada. De uma forma geral, a água salgada pouco tem afetado a potabilidade das águas subterrâneas, captadas em localizações próximas ao mar, sejam em poços tubulares ou escavados.

A contaminação bacteriológica tem sido a forma mais comum de comprometimento da qualidade da água de subsuperfície. Sua ocorrência está relacionada à existência de fossas sépticas e a falta de saneamento básico. Considerações mais detalhadas a esse respeito serão feitas nos tópicos referentes a Hidroquímica, envolvendo a qualidade da água.

De uma forma geral, a água subterrânea é considerada como um elemento de vital importância para o abastecimento das populações da região estudada.

## **10 - HIDROGEOLOGIA DA ÁREA**

O desenvolvimento deste tema está relacionado à identificação dos aquíferos da área e das suas características hidrogeológicas, além da verificação dos fatores responsáveis pela qualidade da água. Nesse sentido, faz-se necessário à utilização dos dados disponíveis, já apresentados nos procedimentos metodológicos, e que são acrescidos de informações atualizadas, as quais possam contribuir para elucidação das potencialidades aquíferas existentes.



Paralelamente à aplicação dos dados abordados acima, faz-se necessário nessa pesquisa, a utilização das orientações técnicas emitidas por Custódio & Llamas (1983), referentes a pesquisas hidrogeológicas, as quais visam a identificação dos aquíferos e suas relações entre as zonas de recarga e descarga, além de estudos sobre a qualidade da água subterrânea pesquisada.

### 10.1 - Informações Gerais sobre Poços Tubulares

A verificação efetuada sobre a **tabela 1**, em anexo, indica que dos 153 pontos de água levantados na área, 120 (78%) representam poços tubulares. Com exceção da profundidade, a análise dos dados mostra que apenas 59% desses poços tubulares possuem informações gerais sobre dados técnicos dos poços, caracterizando a seguinte situação:

- Aproximadamente 58% desses poços apresentam vazões entre 2 e 4 m<sup>3</sup>/h, e média de 3 m<sup>3</sup>/h;
- Os níveis estáticos possuem uma profundidade média geral de 10 metros, e 75 % estão enquadrados entre 4 e 25 metros, sendo que 23 % apresentam valores abaixo de 4 metros.
- 81,2% da capacidade específica desses poços estão abaixo de 1(m<sup>3</sup>/h) m, correspondendo a 52 poços, enquanto os demais apresentam valores que variam entre 1 e 12 (m<sup>3</sup>/h)/ m.

Conforme o que foi enfatizada acima, a profundidade representa o único dado, cuja análise de frequência está baseada no total geral de todos os poços dos dois aquíferos, e mostra que aproximadamente 50% dos poços tubulares e escavados apresentam valores que variam entre 40 e 60 metros de profundidade, com média geral de 38 m.

As principais informações cadastrais sobre pontos de água e dos aquíferos estão relacionados na tabela 1 em anexo, a qual reúne dados de localização, tipo de aquífero e características dos poços (vazão, profundidade, níveis estáticos e dinâmicos). Além da **tabela 1**, consta também, em anexo, o mapa que representa a base hidrogeológica, onde estão posicionados os referidos pontos de água. É importante salientar que as lacunas apresentadas na referida tabela estão relacionadas à carência de informações existentes por parte dos setores pesquisados, principalmente as empresas perfuradoras de poços, que não apresentam interesse em catalogar os dados referentes a perfil geológico, níveis estático e

dinâmico e também as datas de perfuração. A inexistência desses dados contribuiu para dificultar as avaliações das condições dos poços e do comportamento dos aquíferos.

## 10.2 – Sistemas Aquíferos

A identificação dos aquíferos da área de trabalho está fundamentada nas informações geológicas, topográficas, levantamento de pontos de água, obtidos nos trabalhos de campo, além de outros dados pesquisados nos trabalhos anteriores sobre a RMF, principalmente os que foram realizados nas adjacências da região pesquisada. A partir desses elementos, foram definidos na área os seguintes sistemas aquíferos: Barreiras (Terciário), dunas/paleodunas (Quaternário) e aquífero aluvionar (Quaternário), representados por rochas sedimentares, sendo o sistema dunas/paleodunas, o que possui maior intimidade com a linha de costa em toda sua extensão. A distribuição superficial destes aquíferos na área de pesquisa está caracterizada na base hidrogeológica em anexo.

O embasamento pré-cambriano não aflora nos limites da área de trabalho e se encontra sotoposto aos sedimentos da Formação Barreiras, só sendo detectado através de poços tubulares profundos. A presença dessas rochas cristalinas foi verificada, através de alguns poços tubulares, como os 131 e 132 situados no setor SW da área, onde os mesmos penetram mais de 10 metros no embasamento, segundo informações cadastrais obtidas nas fichas desses poços.

As condições de fluxos para os dois sistemas aquíferos são definidas normalmente em função da infiltração e da percolação da água no meio intergranular dos sedimentos inconsolidados arenosos e pouco compactados areno-argiloso e, também, entre as fraturas de rochas sedimentares consolidadas, predominantemente representadas por arenitos pertencentes ao sistema aquífero Barreiras. Em profundidade, o fluxo da água subterrânea é caracterizado através das entradas da água no poço, em trechos do perfil geológico, onde são colocados os filtros. A **tabela 4**, mostra a relação de alguns poços desses dois sistemas aquíferos em que o posicionamento dos filtros corresponde aos intervalos de entrada da água no poço de acordo com a profundidade de ocorrência do fluxo.

**Tabela 4** – Intervalos de filtros nos sistemas aquíferos.

<b>Nº do ponto</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Aquífero</b>	<b>Intervalo (m)</b>
33	60,00	Tb	13 a 21; 21 a 29; 41 a 49
54	53,00	Tb	A partir de 12
124	36,00	Qpd	A partir de 15
126	37,00	Qpd	A partir de 12
127	34,00	Qpd	A partir de 12
129	55,00	Tb	4 a 8 ; 12 a 20
132	60,00	Tb	28 a 32
133	33,00	Tb	17 a 25; 33 a 37
134	40,00	<b>Tb</b>	16 a 20; 24 a 28; 32 a 36
135	36,00	Tb	12 – 36
136	45,00	Qpd	15 – 45
137	72,00	Qpd	18 – 72
138	40,00	Qpd	9 – 40
139	44,00	Qpd	20 a 24; 30 a 34; 38 a 42
140	76,00	Tb	22 a 30; 34 a 36

Legenda: Tb = Aquífero Barreiras (Terciário); Aquífero dunas/paleodunas (Quaternário)

Observa-se que a maioria dos poços perfurados no sistema aquífero Barreiras são os que apresentam maior quantidade de intervalos de colocação dos filtros, tendo em vista a variação da entrada de água gerada pela diversidade litológica desse sistema. Por ser considerado litologicamente mais homogêneo em relação ao anterior, no sistema dunas/paleodunas, os filtros ou a crivagem no revestimento são feita em um estágio único, a partir da primeira entrada de água no poço, até o limite final da profundidade. Esse procedimento é adotado também em poços do sistema aquífero Barreiras, pois, segundo algumas empresas perfuradoras, o referido critério caracteriza um maior envolvimento da espessura perfurada, além de representar menores custos na execução do poço.

### 10.2.1 - Sistema Aquífero Barreiras

Essa unidade hidrogeológica representa aproximadamente 75% da área estudada, sendo constituída por sedimentos areno-argilosos, com granulação que varia de fina a média, com horizontes lateríticos, sem cotas definidas, mas que estão sempre associados

aos níveis de percolação das águas subterrâneas. De acordo com os dados obtidos em alguns poços, pode-se constatar, sobre a espessura dessa Formação, que o contato com o embasamento cristalino só ocorre em profundidade superior a 25 metros, o que se leva a se definir para esse sistema, uma profundidade média com valores variando entre 30 a 40 metros. Segundo Braga *et al.* (1981), a espessura da Formação Barreiras tende a aumentar em direção ao mar e as oscilações verificadas estão associadas à irregularidade superficial do embasamento cristalino. A sua inter-relação com a linha de costa é sempre interrompida pela faixa contínua dos terrenos dunares que identifica o sistema aquífero subjacente.

Em pesquisa hidrogeológica realizada sobre a RMF, Bianchi *et al.* (op cit.) afirmam que os sedimentos que compõem este sistema aquífero são caracterizados por intensa variação litológica, fato que afeta a capacidade de circulação da água subterrânea e conseqüentemente, os parâmetros hidrodinâmicos. Os referidos autores calcularam para o sistema aquífero Barreiras a condutividade hidráulica de  $1,85 \times 10^{-6}$  m/s, o que define para esta formação, em caráter regional, a condição de um aquífero.

Em relação à área de estudo, apesar das variações litológicas citadas acima, os poços que perfuram esse sistema revelam um comportamento de aquífero livre, com vazões diversificadas, podendo apresentar semi-confinamento, ou características de aquífero, apenas em pontos localizados, onde existem vazões com valores muito baixos (abaixo de  $1\text{m}^3/\text{h}$ ).

As recargas para esse sistema ocorrem principalmente sob forma de precipitação pluviométrica, seguida por outras formas de alimentação, representadas por drenagens influentes, lagoas interdunares e pelo sistema dunas/paleodunas que, segundo Cavallante (1998), funciona como aquífero de transferência, dado a sua condição de sobreposição e também pelas características favoráveis de permeabilidade.

Os dados dos poços para este sistema aquífero revelam que as vazões mais importantes ocorrem de forma localizada, caracterizando, portanto a influência da variação litológica no comportamento hidrogeológico desta unidade, gerando vazões de 0,4 (mínima) e  $11\text{m}^3/\text{h}$  (máxima), conforme mostra a **tabela 5**. De acordo com dados gerais levantados, observa-se que os poços deste sistema possuem vazão média oscilando em torno de 2,3 a  $2,5\text{m}^3/\text{h}$ .

**Tabela 5** - Classificação das vazões (Q) dos poços do sistema aquífero Barreiras

vazão (m <sup>3</sup> /h)	Nº de Poços	Porcentagem (%)
$0,4 \leq Q < 1$	10	14,3
$1 \leq Q < 2$	16	22,9
$2 \leq Q < 3$	20	28,6
$3 \leq Q < 4$	14	20,0
$4 \leq Q < 5$	4	5,7
$5 \leq Q < 6$	3	4,3
$6 \leq Q < 7,5$	2	2,8
$7,5 < Q \leq 11$	1	1,4
TOTAL	70	100,0

A relação geral entre nível estático e a profundidade do poço revela para este aquífero uma espessura saturada média de aproximadamente 15 metros, com rebaixamento do nível de água se mostrando bem acentuado, apresentando valores extremos que variam entre 0,14 e 43,25 metros, caracterizando, portanto o lento poder de recuperação, decorrente talvez da baixa permeabilidade dessa formação aquífera. **A tabela 6** resume os valores mais representativos dos poços pertinentes ao sistema aquífero Barreiras e mostra que a diferença entre os parâmetros revela a heterogeneidade litológica do citado sistema.

É importante ressaltar que as espessuras saturadas médias atribuídas aos sistemas aquíferos foram obtidas a partir de interpretações de alguns perfis litológicos existentes nas fichas dos poços. Observa-se ainda, que nem sempre a espessura saturada é igual a coluna de água (NE menos limite inferior do aquífero), em função da heterogeneidade litológica que constitui alguns aquíferos, como por exemplo, o Barreiras.

**Tabela 6** - Valores limites e médios sobre os principais dados de poços do sistema aquífero Barreiras.

PARÂMETROS	VALORES		
	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Profundidade (m)	5,0	39	75
Nível Estático (m)	1,5	9	22
Rebaixamento (m)	0,14	22,2	43,2
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	0,4	2,5	11

As principais formas de descargas desse aquífero correspondem a água extraída por poços tubulares e escavados, evapotranspiração, contribuição às drenagens efluentes e também ao aquífero cristalino subjacente, onde ocorre a circulação da água subterrânea através das fraturas interconectadas.

Alguns dos poços tubulares antigos (com mais de 15 anos de perfurados), localizados na sede municipal apresentam vazões muito baixas, mesmo em época chuvosa, sendo esse problema atribuído provavelmente, a alguns fatores que envolvem o aquífero e o poço, tais como: Semi-confinamento localizado, em função de material siltico-argiloso; problemas na execução do poço; má colocação dos filtros nas faixas de entrada de água no poço e, finalmente, obstrução das suas aberturas, decorrentes da incrustação por óxido de ferro proveniente de alguma concentração lateríticas existente na área de influência do poço. Exemplos nesse sentido são mostrados através dos poços 42 e 43 (vide tabela em anexo) da sede municipal de Aquiraz, os quais apresentam vazões muito baixas (1 a 1,2 m<sup>3</sup>/h), mesmo quando bombeados em época de estação chuvosa. Tal fato vem contrastar com os poços 35 e 146, localizados em setores próximos, mas que possuem vazões mais elevadas e favoráveis à demanda exigida. É importante destacar que, as observações comparativas sobre os referidos poços foram efetuadas “in loco”, quando foi efetuada a amostragem da água subterrânea destinada às análises.

### **10.2.2 -Sistema Aquífero Dunas/Paleodunas**

Estendendo-se por toda faixa costeira, os depósitos dunares quaternários que representam o sistema aquífero dunas/paleodunas ocorrem em aproximadamente 1/3 da área de pesquisa e atinge mais de 3 km de largura, nos trechos mais amplos. Conforme o que foi abordado antes, esse sistema é geologicamente formado pelas paleodunas que representam a geração mais antiga e pelas dunas recentes, ou móveis, que formam acumulações de sedimentos areno-quartzosos, distribuídas como um cordão contínuo, paralelo à linha costa, a partir da preamar.

Em trabalho de pesquisa hidrogeológica realizado para a RMF, Bianchi *et al.* (1984) concluíram que as poucas diferenças litológicas encontradas entre as dunas e

paleodunas não constituem motivos suficientes para que se caracterize uma separação hidráulica entre essas duas unidades geológicas, razão pela qual os referidos depósitos quaternários são considerados como um único sistema aquífero (dunas/paleodunas).

Na área desse trabalho, o referido sistema possui altitudes que variam entre 5 a 40 metros, além de espessura local que se apresenta com valor aproximado entre 4 e 35 metros. É considerado o sistema aquífero mais importante da área, com espessura saturada variando entre 6 a 8 metros.

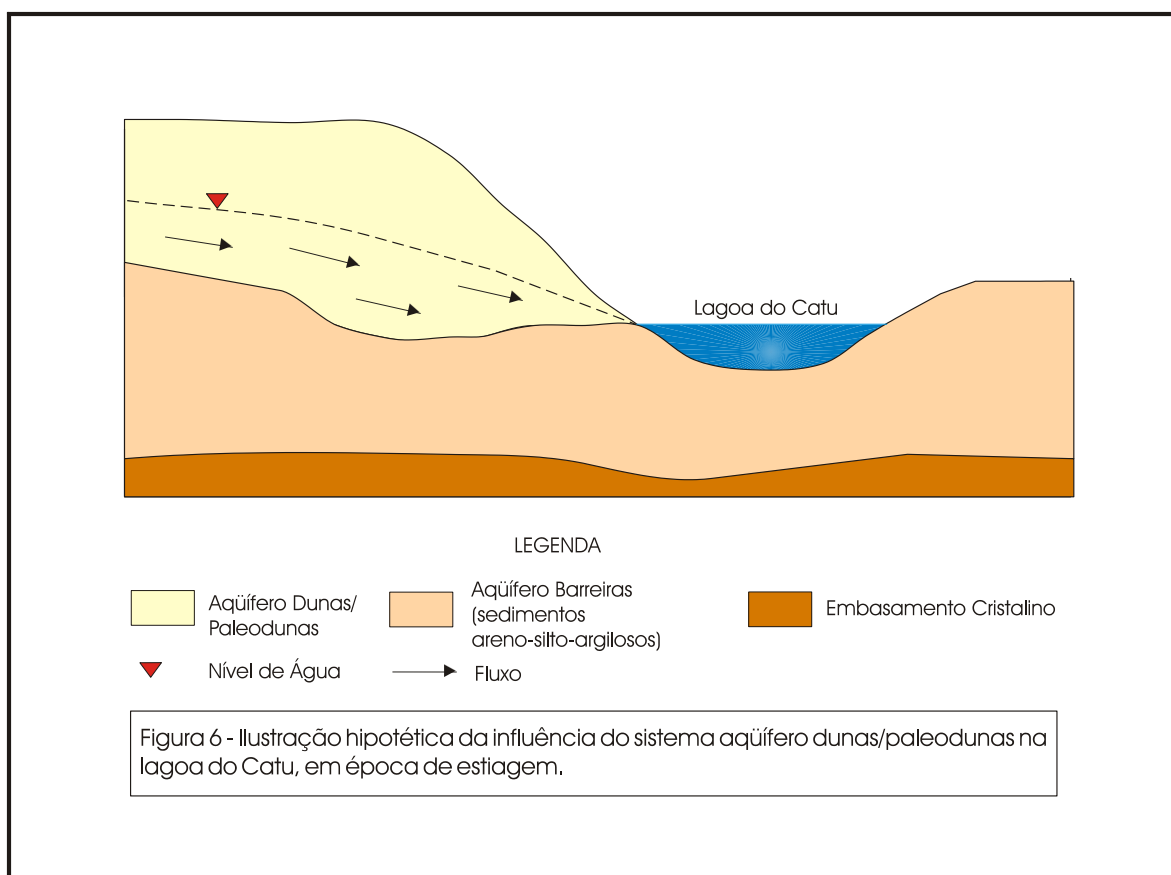
Levando-se em conta o seu posicionamento estratigráfico e topográfico, as condições de alimentação desse aquífero estão diretamente relacionadas à infiltração pluvial, a qual constitui o seu principal fator de recarga. Segundo Cavalcante (op. cit.), esse sistema funciona também como aquífero de transferência, o qual contribui na alimentação das estruturas subterrâneas subjacentes pertencentes ao sistema aquífero da Formação Barreiras. Nesse sentido, dado as boas condições de permeabilidade, as águas pluviais precipitadas e infiltradas nas superfícies dunares, contribuem tanto para o próprio aquífero, como também para os sistemas posicionados em cotas inferiores.

Conforme o autor acima, esse sistema aquífero constitui o melhor potencial hidrogeológico da Região Metropolitana de Fortaleza, fato também constatado na realização desse trabalho, através dos dados gerais levantados, os quais compreendem os poços e o próprio aquífero.

As zonas de recargas e descargas são definidas em função das diferenças topográficas e morfológicas que envolvem esse sistema, sendo que a parte mais baixa representa última zona, relativamente à primeira (mais elevada).

As condições de descargas são caracterizadas através da ocorrência de algumas formas naturais e artificiais, tais como afloramento do lençol na base das dunas, fluxo para o mar e para drenagens efluentes, além da evapotranspiração e principalmente, a extração de água por poços diversos, considerada a mais efetiva e mais importante forma de descarga. Já os setores de recarga são predominantemente alimentados por infiltração pluvial.

De acordo com Cavalcante (1998), as perdas d'água do aquífero estão relacionadas à intensa evapotranspiração, associada, também, ao nível estático sub-aflorante na zona de descarga. Além desse aspecto, a alimentação de lagoas interdunares por esse sistema representa uma outra forma de descarga, que ocorre principalmente em época de estiagem, quando as lagoas mantêm um determinado volume de água na parte principal do seu leito. Nesse período, os níveis desses corpos de água ficam abaixo do nível de saturação subterrânea, resultando na influência do aquífero em relação às drenagens superficiais, fato constatado na área através das lagoas do Catu e Encantada. O desenho ilustrativo da **figura 6** mostra uma forma hipotética em que esse aquífero influi na lagoa do Catu, considerada como ponto de descarga ou exutório.



Além dos casos citados, outras descargas naturais são presenciadas em campo, tendo em vista a percolação da água subterrânea entre a base do sistema aquífero dunas/paleodunas e o topo da Formação Barreiras, onde o fluxo da água é interceptado por níveis argilosos dessa formação. É o caso, de algumas fontes de água que afloram em diversos pontos do sistema aquífero dunas/paleodunas e se encontram situadas nas localidades do Iguape e da Prainha, a



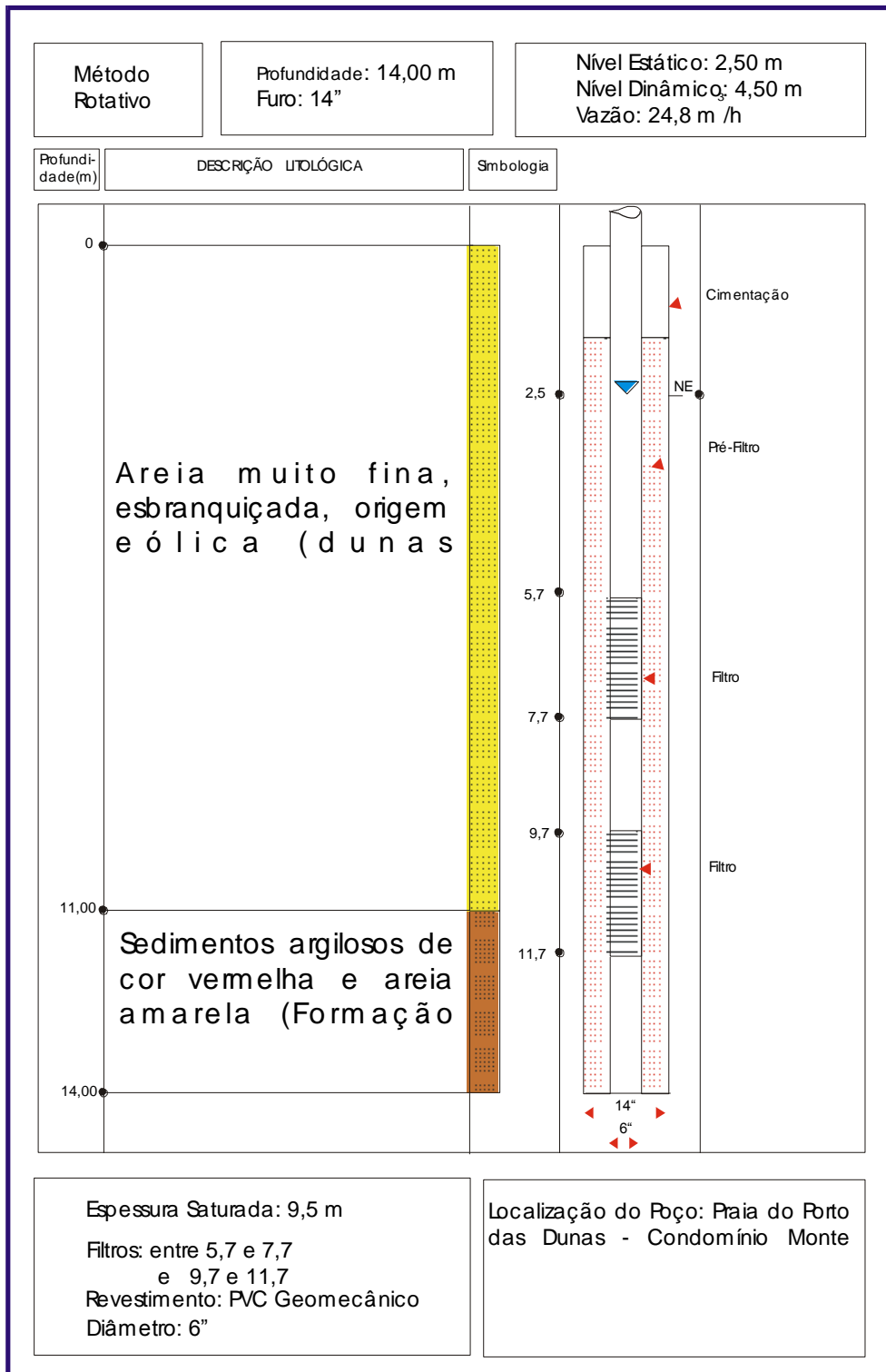
exemplo da foto 2, já referida no item anterior, que fala sobre a rede hidrográfica.

Este sistema aquífero representa um trecho da área de pesquisa que é morfologicamente caracterizado por um desnível topográfico, o qual é configurado pelas dunas (na sua parte mais elevada), identificando a zona de recarga e pela faixa de berma (porção mais ou menos plana entre a base da duna e a linha de costa) que representa a zona de descarga, relativamente à anterior.

Algumas partes dessa zona de descarga do contexto dunas/paleodunas se comportam como uma bacia hidrogeológica, ou seja, uma área para onde converge às águas percolantes de montante e de infiltração pluviométrica incidente. Existem, neste setor muitos poços tubulares rasos e profundos, sendo a maioria com boa vazão e pequeno rebaixamento, diferentes daqueles que são observados na zona de recarga, os quais possuem vazões mais baixas e capacidade específica menor que 1 (um), fato comparado entre poços 136 e 142 da tabela 1 em anexo. Neste exemplo, o poço 136 está situado na zona de descarga, e o 142 no setor de recarga.

É importante salientar que, tendo em vista a sobreposição estratigráfica do sistema dunas/paleodunas sobre o aquífero Barreiras, os poços tubulares da zona de descarga desse primeiro aquífero (com profundidade superior a 15 metros), sempre atravessam os sedimentos das duas unidades aquíferas, caracterizando uma condição de aquífero misto. Neste caso, o sistema aquífero dunas/paleodunas funciona também como aquífero de transferência, pois além de armazenar, ainda fornece água para o sistema aquífero Barreiras que se encontra sotoposto. Esse comportamento é observado com mais frequência na zona de descarga, onde nível da água subterrânea é sempre raso. Exemplo neste sentido pode ser visto através da **figura 7** em que o perfil lito-construtivo do poço nº 144 mostra o envolvimento dos dois sistemas aquíferos.

Conforme já foi comentado acima, a maioria dos poços que exploram o citado aquífero, na zona de descarga, são considerados rasos e possuem profundidades que oscilam entre 8 e 12 metros, enquanto que os que estão situados na zona de recarga apresentam um valor médio da profundidade em torno de 55 metros. Acrescenta-se, ainda, que as melhores vazões desse sistema aquífero ocorrem também na sua zona de descarga, com valor médio de 8,7 m<sup>3</sup>/h,



**Figura 7 - Perfil construtivo e litológico de poço tubular nº 150**

enquanto o setor de recarga apresenta vazão média de 3 m<sup>3</sup>/h. Para o sistema aquífero dunas/paleodunas com um todo, define-se uma vazão média de 5 m<sup>3</sup>/h.

As perfurações dos poços tubulares são realizadas normalmente através de máquinas percussivas e/ou rotativas; com diâmetro de perfuração predominante 12”, cujo revestimento é feito com tubos PVC – Geomecânico de 4 a 6”, os quais são acoplados aos filtros ranhurados ou crivados, colocados em setores ou intervalos relacionados à entrada da água no poço, os quais indicam também a situação de fluxo no aquífero.

Já os poços tubulares simples, perfurados manualmente, são feitos por meio de equipamentos artesanais, conhecidos por trado ou “sonda de sopapo”, ambos com capacidade muito limitada de perfuração. O revestimento utilizado para este tipo de poço é o tubo de PVC comum, normalmente empregado em instalações sanitárias, com diâmetro de 6” e filtro crivado no próprio tubo, a partir da primeira entrada de água no poço. A **foto 6** mostra a perfuração de um desses poços (poço n<sup>o</sup> 147) que estava sendo feita na área de recarga do sistema aquífero dunas/paleodunas, localizado na zona urbana do povoado da Prainha. No detalhe da foto, observa-se o equipamento manual, sonda de sopapo, utilizado na perfuração do poço.



**Foto 6** – Aspecto da perfuração de um poço tubular raso pelo processo manual, na zona de recarga do aquífero dunas/paleodunas (localidade da Prainha)

Conforme já foi comentado anteriormente sobre esse aquífero, alguns dados dos poços levantados apresentam valores diferenciados tendo em vista a posição topográfica onde os

mesmos são perfurados. Isto significa que os poços tubulares da zona de recarga são normalmente mais profundos (> 40 m) e apresentam sempre menores vazões e menores capacidades específicas, comparativamente aos que são perfurados na zona de descarga desse aquífero. Nesse sentido, estão relacionados na **tabela 7** os valores mais importantes dos poços que envolvem estas duas zonas no referido sistema.

**Tabela 7** – Relação dos principais dados dos poços das zonas de recarga e descarga do sistema aquífero dunas/paleodunas.

Zonas Aquíferas	Nº do Poço	DADOS DOS POÇOS			
		Profund.(m)	Nível estático (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Rebaix. (m)
Recarga	99	70	29,0	2,08	10,0
	102	45	8,0	2,0	18,0
	142	54	28,0	2,0	4,0
	149	51	8,0	6,0	27,0
	137	72	23,0	3,0	13,0
	30	40	20,0	2,85	14,5
Descarga	145	6	2,0	3,0	-
	138	40	2,5	5,0	8,5
	141	40	2,0	8,0	8,0
	144	14	2,5	24,8	2,0
	94	10	4,0	3,0	2,0
	150	23	1,2	3,0	2,1

### 10.2.3 – Sistema Aquífero Aluvionar

Nos limites da área de estudo, os depósitos aluvionares estão distribuídos nas margens do baixo curso do rio Pacoti, setor Noroeste da região pesquisada. São depositados em ambiente flúvio-marinho e constituídos por sedimentos de composição siltico-argilosa, com intercalação de matéria orgânica, devido à influência da vegetação de mangue.

Referindo-se às aluviões dos principais rios da RMF, Bianchi *et al.* (op. cit.) afirmam que a baixa declividade do rio, nesta zona, permite o avanço das águas do mar, nas marés cheias, até distâncias consideráveis e que segundo Cavalcante (op. cit.), chega a 8 km, o que possibilita a formação de salinas, e conseqüentemente, a influência da água salgada nos aluviões.

Levando-se em conta os aspectos ambientais e salinos, *Bianchi et al.* (1984) chamam a atenção para que, a captação da água subterrânea nos depósitos aluvionares da RMF só seja realizada sem risco de salinidade, quando os pontos de extração da água no aquífero venham ocorrer acima da equipotencial de 5 metros.

O problema da salinidade e a baixa permeabilidade, em função da constituição siltico-argilosa desse material aluvionar, devem representar os principais motivos pela falta de trabalhos hidrogeológicos específicos que possam determinar as condições hidrodinâmicas desse aquífero, cuja qualidade da água é afetada, principalmente pela salinidade.

Na área de estudo, os depósitos aluvionares praticamente não são utilizados para captação de água subterrânea, já que na faixa desses terrenos não ocorre ocupação urbana. Apenas em alguns setores da sede municipal, localizados na margem direita do rio Pacoti, existem poucos poços rasos escavados (cacimbas), com profundidade máxima de 2 metros, nível estático quase aflorante e pequeno aproveitamento doméstico, devido a alta salinidade da água nesses locais. Segundo informações de populares, a água das cacimbas não é considerada própria para o consumo humano.

As condições de recargas devem estar relacionadas à precipitação pluviométrica, as águas influentes dos sistemas dunas/paleodunas e Barreiras, além da influência do rio que drena a área, enquanto que a evapotranspiração e a exploração representam os principais parâmetros de descarga.

### **10.3 – Considerações Hidrodinâmicas**

Estas considerações se referem a importância que os parâmetros hidrodinâmicos possuem em relação aos principais aquíferos da área, representados basicamente pelos sistemas aquíferos dunas/paleodunas e Barreiras. Levando-se em conta a realidade hidrogeológica local, os parâmetros mais considerados nas pesquisas são caracterizados pela condutividade hidráulica, transmissibilidade e coeficiente de armazenamento, sendo este último sempre representado pela porosidade efetiva, tendo em vista a condição de aquíferos livres. Nesse sentido, são atribuídos os seguintes valores para a porosidade dos

dois aquíferos, 15% para o sistema dunas/paleodunas e 5% para o sistema aquífero Barreiras (Cavalcante, op. cit.).

De uma forma geral, a definição destes parâmetros está associada à necessidade de conhecimento dos fatores responsáveis pela caracterização hidrogeológicas da área. A maior parte das pesquisas hidrogeológicas da RMF foi sempre direcionada para o sistema aquífero dunas/paleodunas, sobre o qual foram levantados dados relacionados à condutividade hidráulica e a transmissibilidade. Nesse sentido, os depósitos dunares, pelos aspectos geológicos e ambientais, reúnem condições mais favoráveis à exploração de água subterrânea, comparativamente ao Barreiras, considerado por Beltrão & Manoel Filho (1973), como unidade aquífera de fracas tendências hidrogeológicas.

Visando o estudo dos recursos hídricos da região metropolitana, Bianchi *et al.* (op. cit.), através de pesquisa hidrogeológica estimaram os parâmetros hidráulicos para os sistemas dunas/paleoduna e barreiras, representados apenas pelas condutividades hidráulicas dos dois aquíferos, cujos valores (já mencionados) correspondem a  $1,8 \times 10^{-4}$  e  $1,85 \times 10^{-6}$  m/s, referentes ao primeiro e ao segundo, respectivamente.

Outros dados hidrodinâmicos envolvendo condutividade hidráulica e transmissibilidade foram calculados pela CAGECE (1984), referentes ao estudo de água subterrânea no campo de dunas da Abreulândia, adjacente à área de trabalho. Os dados obtidos resultaram em valores médios de  $7 \times 10^{-4}$  m/s e 9,7m<sup>2</sup>/h, representando os respectivos parâmetros (K e T) acima indicados. Numa análise posterior efetuada sobre esses estudos, Cavalcante (1998) afirma que os referidos valores são considerados muito alto para as areias finas das dunas.

É importante salientar, que os dados encontrados para as áreas congêneres da RMF são analogamente estimados para a área de pesquisa desse trabalho, tendo em vista os mesmos apresentarem características semelhantes e/ou iguais em relação ao meio físico.

Em pesquisa atual que está sendo realizada pela COGERH (1999) sobre o potencial das águas subterrâneas e bacias hidrográficas da RMF, estão sendo levantados vários dados relacionados às características dos aquíferos, incluindo-se entre eles os

parâmetros hidrodinâmicos. Os trabalhos envolvem perfurações de poços em locais representativos dos principais sistemas aquíferos, além da utilização dos poços existentes (antigos) em testes de bombeamento visando à obtenção desses elementos.

Alguns poços estão incluídos na área de estudo e se encontram distribuídos em vários locais que abrangem os sistemas aquíferos Barreiras e dunas/paleodunas. Exemplo nesse sentido, ocorre com os poços 43, 29 e 150, 151 e 152 (anexos), sendo que os dois primeiros se referem aos poços antigos, localizados na sede municipal de Aquiraz, enquanto os demais são poços novos, construídos em outros locais do município. Mesmo com os trabalhos em andamento, a COGERH (op. cit.) forneceu vários dados obtidos até o presente, referentes aos parâmetros hidráulicos dos aquíferos que envolvem a área desse estudo. **A tabela 8** apresenta os valores médios dos parâmetros relacionados aos principais sistemas aquíferos da área, observando-se, entretanto que dos trabalhos realizados, apenas o da empresa acima apresenta dados de transmissibilidade e da condutividade hidráulica para os dois sistemas aquíferos.

**Tabela 8** - Parâmetros hidráulicos médios dos aquíferos dunas e Barreiras na RMF.

<b>Autor</b>	<b>Sistemas aquíferos</b>	<b>K(m/s)</b>	<b>T(m<sup>2</sup>/h)</b>
Bianchi (1984)	Dunas/paleodunas	$1,8 \times 10^{-4}$	—
	Barreiras	$1,85 \times 10^{-6}$	—
CAGECE (1984)	Dunas/paleodunas	$7 \times 10^{-4}$	9,77
COGERH (1999)	Barreiras	$1,89 \times 10^{-5}$	1,87
	dunas/paleodunas	$2,49 \times 10^{-4}$	6,84

K = Condutividade hidráulica; T = Coeficiente de Transmissibilidade.

Os valores apresentados nesta tabela caracterizam o quadro geral dos aspectos hidrodinâmicos entre os principais aquíferos da área de pesquisa dentro do contexto da região metropolitana. De acordo com esses dados, observa-se que existe uma certa homogeneidade entre a maioria dos valores da condutividade hidráulica de cada sistema aquífero, com exceção do valor calculado pela CAGECE, referente ao aquífero dunas da Abreulândia, cuja média de  $7 \times 10^{-4}$  m/s é considerada muito elevada para o padrão granulométrico das areias dunares (areias finas). Já a transmissibilidade

referente a esse mesmo sistema (dunas/paleodunas) é outro parâmetro que apresenta valores aproximados, caracterizando, portanto, boas condições de fluxo.

O único valor da transmissibilidade, associado com a baixa permeabilidade do sistema aquífero Barreiras, vem confirmar para essa unidade aquífera sua fraca tendência hidrogeológica.

## **11 - QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

A partir das análises físico-química e bacteriológica, as características que definem a qualidade da água estão fundamentadas nos padrões e limites que classificam o uso dessa água levando-se em consideração os valores dos componentes químicos e bacteriológicos encontrados nas análises.

### **11.1 - Aspectos Hidroquímicos**

A qualidade da água subterrânea está relacionada a sua composição química encontrada nas análises das amostras coletadas em pontos de água que representam os aquíferos da área de estudo. Segundo Custódio & Llamas (1983), a qualidade da água é definida em função do conhecimento dos elementos que a compõe e dos efeitos que esses possam causar, seja no todo, ou separadamente.

Desta forma a qualidade da água está fundamentada na relação dos dados físico-químicos verificados nos resultados das análises realizadas, cujos valores estão representados na tabela 2, em anexo, e, também, nas informações específicas sobre a potabilidade da água.

A caracterização hidroquímica dos principais aquíferos da área (sistemas Barreiras e dunas/paleodunas) foi realizada através dos parâmetros levantados nas 26 análises feitas em amostras coletadas nos pontos de água, representadas por poços tubulares escavados, e fontes. Estão também relacionados os dados completos dessas análises, os quais são



constituídos pelos principais elementos e parâmetros químicos, indicativos da hidroquímica dos referidos sistemas.

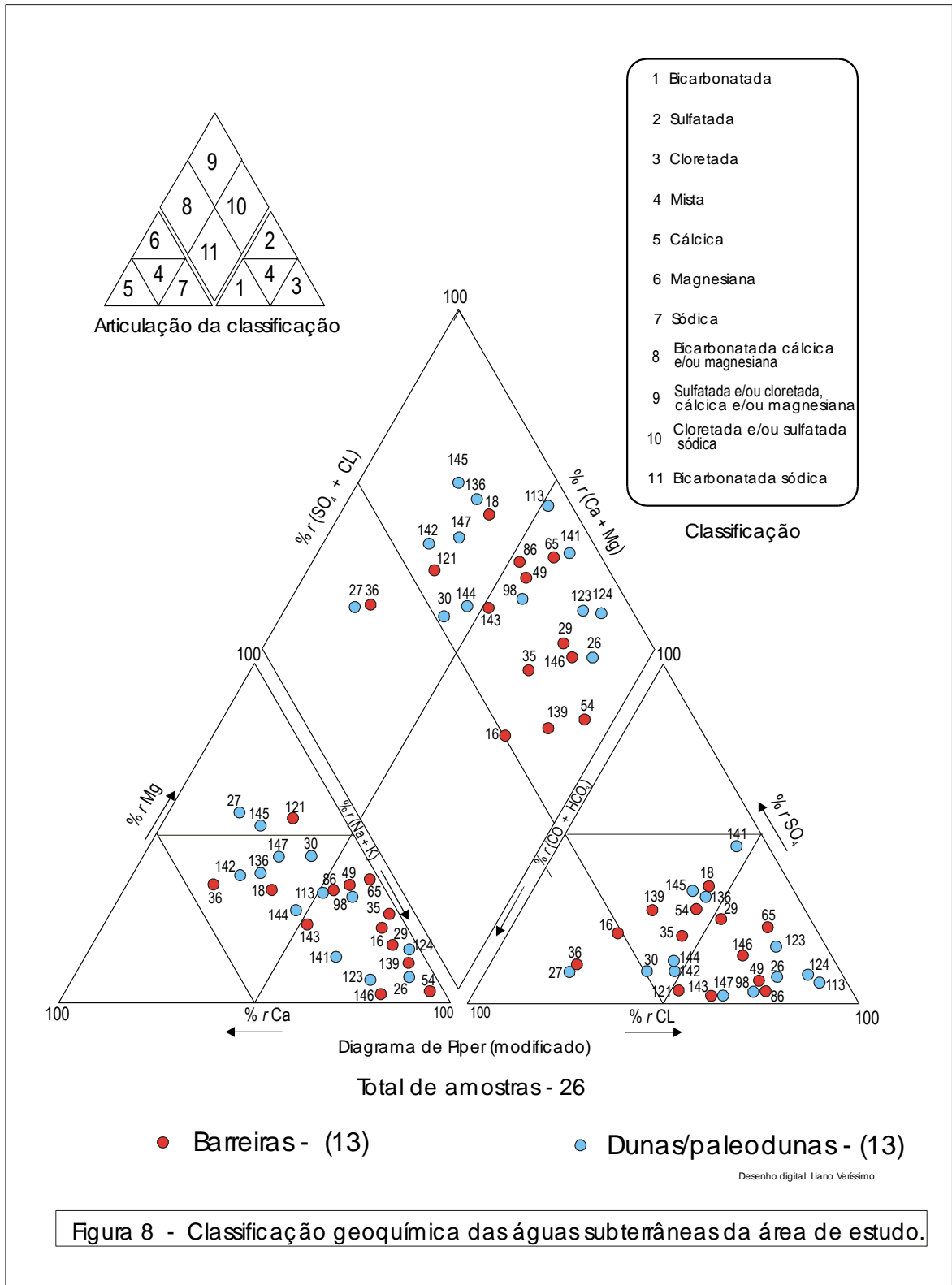
Os elementos identificados constituem uma base necessária para a definição da composição química que será utilizada na classificação iônica das águas subterrâneas em relação aos íons dominantes. Essa classificação é determinada com o uso do diagrama trilinear de Piper, onde são plotados os valores percentuais das concentrações em meq/L dos principais constituintes iônicos. Os dados das concentrações dos elementos e de suas percentagens estão relacionados, por aquífero, nas tabelas 3a e 3b (anexos).

De acordo com emprego do referido diagrama, (**figura 8**) a composição química das águas são predominantemente cloretadas sódicas para os dois aquíferos, em que as relações iônicas se apresentam da seguinte forma:  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^-$  e  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$ .

Essa relação iônica revela o domínio do cloro e do sódio para os dois sistemas aquíferos e segundo Santos (1997), esses dois elementos são muito estáveis em solução, de difícil precipitação e são sempre abundante nas águas subterrâneas. As presenças dominantes do sódio e do cloro no aquífero Barreiras deve está associada à ampla distribuição desses elementos na composição dos minerais fontes provenientes do continente, enquanto que no aquífero dunas/paleodunas, parte dos mesmos deve está relacionadas a influencia do mar.

O resultado geral das análises mostra que a constituição hidroquímica dos dois aquíferos apresenta dados aproximadamente homogêneos entre os teores dos principais elementos e também em relação aos valores dos parâmetros físico-químicos identificados. A **tabela 2** (anexo) registra os referidos resultados, com a distribuição com todos os dados encontrados nas análises.

Através desses dados é possível que seja estabelecido uma relação entre a composição química das águas analisadas e os respectivos aquíferos. É o caso, por exemplo, de teores significativos de cloreto de sódio em dois poços do sistema dunas/paleodunas e, também, a presença do íon ferro no sistema aquífero Barreiras, fato



que deve está relacionado à influência marinha no primeiro e a existência de rocha laterítica no segundo aquífero, respectivamente.

A **tabela 9** apresenta os valores referentes aos principais íons, considerados os mais comuns em todas as análises. Com base nesses dados, observa-se uma certa aproximação entre os valores da maioria dos elementos encontrados nos dois aquíferos, verificando-se que no sistema aquífero dunas/paleodunas, principalmente, o cloreto e o sódio possuem concentrações pontuais mais elevadas localmente.

**Tabela 9** – Valores limites dos principais íons das análises

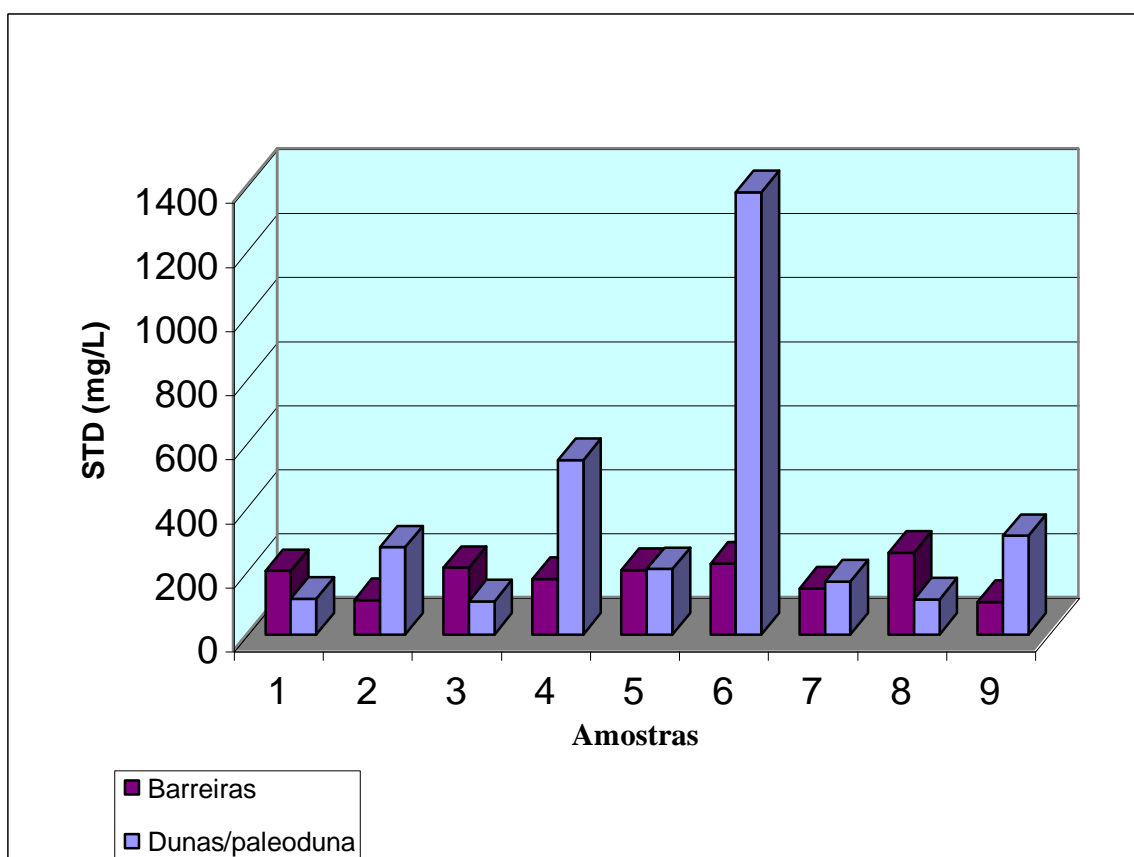
AQUÍFEROS	MÉDIAS E LIMITES	CONCENTRAÇÕES IÔNICAS (mg/L)						
		Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>
DUNAS	MÁXIMA	21,6	37,7	27,30	409,5	745,0	100,0	116,1
	MÉDIA	10,0	11,8	7,40	54,0	103,2	35,3	20,3
	MÍNIMA	1,6	1,6	2,40	4,0	9,0	8,0	2,7
BAR-REIRAS	MÁXIMA	22,8	17,3	11,11	91,7	76,0	119,0	68,4
	MÉDIA	7,8	7,8	5,60	38,7	43,7	47,3	18,8
	MÍNIMA	1,2	0,03	2,40	6,8	11,0	9,0	2,0

## 11.2 - Características Físico-Químicas

Os dados das análises revelam, também, a ocorrência de regularidade entre os valores dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) do sistema aquífero Barreiras, enquanto que o aquífero Dunas/paleodunas já apresenta algumas discrepâncias de determinados elementos, devido à condição de aquífero misto, antes comentado e, também, dado a sua proximidade com o mar.

O diagrama em coluna (**figura 9**) caracteriza a situação do comportamento do STD em relação as amostras mais relevantes das análises. Os dados utilizados referem-se as nove amostras de cada aquífero com valores superiores a 100mg/L, que foram extraídos da tabela química em anexo e representam as principais concentrações do STD.

Além dos aspectos já mencionados, o gráfico evidencia também os destaques dos valores do aquífero dunas/paleodunas, cujas concentrações máximas de cloreto e sódio variam entre 545,0 (Prainha) e 1380,0 (Iguape) mg/L, respectivamente, referentes às duas amostras correspondentes às localidades da Prainha e do Iguape, respectivamente.



**Figura 9** - Principais valores dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) dos sistemas aquíferos Barreiras e dunas/paleodunas

A condutividade elétrica representa a facilidade que água tem em conduzir a corrente elétrica através do STD ionizado, ou seja, a condutividade aumenta com as concentrações de sais dissolvidos. Segundo Castany (1975), além do conteúdo em sais, o aumento da condutividade elétrica é influenciado também pelo aumento de temperatura. No caso desse trabalho, o aumento dessa condutividade se encontra proporcionalmente relacionado com o primeiro parâmetro, confirmando, portanto, que em cada análise a condutividade elétrica é maior que o respectivo valor de STD.

Observa-se que os maiores valores da condutividade elétrica são encontrados nos pontos de água situados no sistema aquífero dunas/paleodunas, onde os valores mais elevados correspondem a 1.049  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 2.657  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (**tabela 2 em anexo**). Os demais valores são considerados relativamente baixos para os padrões de água doce, cujos limites de potabilidade apresentam condutividade elétrica em torno de 750 a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Logan, 1965).

### 11.2.1 - pH

Os resultados gerais das análises apresentam também os valores do pH, que varia entre 4,8 a 7,5 para os dois aquíferos da área, sendo que aproximadamente 50% desses dados revelam um pH entre 4,5 e 6,5, indicativo de caráter ácido. É importante salientar que a maior parte (60 %) das análises que apresentam características ácidas está situada nos limites do sistema aquífero dunas/paleodunas. A maior incidência do pH ácido nesse aquífero deve estar associada à presença de matéria orgânica, decorrente da influência marinha nos sedimentos quaternários que compõem o sistema.

### 11.2.2 - Dureza

A dureza na água é uma propriedade iônica que revela a capacidade que a água tem de consumir e/ou neutralizar o sabão em função das presenças dos íons de cálcio e magnésio, além de outros elementos que podem influir na classificação da dureza, tais como Fe, Sr, Mn, Cu, entre outros. Normalmente a dureza é representada em função dos teores de carbonato de cálcio e magnésio, definindo, portanto, a dureza de carbonatos (dureza temporária). Já os não carbonatos constituem a dureza resultante dos íons cloretos e sulfatos, a qual é produzida pelos íons de cálcio e magnésio que se combinam com os íons de sulfatos, cloretos e outros (dureza permanente).

Segundo Custódio & Llamas (1983), a soma das durezas temporária e permanente representam a dureza total. O grau de dureza da água é definido em função da sua concentração em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Nesse sentido, o autor acima classifica a água de acordo

com os seguintes limites de durezas: branda – menos de 50; moderadamente dura – valores entre 50 a 100; dura - valores entre 100 e 200; e finalmente, muito dura – valor acima de 200 mg/L CaCO<sub>3</sub>.

Na área desse trabalho, as águas dos aquíferos dunas/paleodunas e Barreiras são classificadas em função das análises realizadas, sendo a dureza total o parâmetro básico considerado para classificação. As amostras coletadas desses aquíferos apresentam águas de caráter predominantemente brando (49%), seguindo-se 35% para as águas moderadamente duras, e as demais, variam entre dura a muito dura. Esses últimos valores, considerados os mais elevados, referem-se a alguns pontos localizados do sistema aquífero dunas/paleodunas, influenciados provavelmente por cloretos.

### 11.3 - Balanço Iônico

O balanço iônico de uma análise química completa fica definido quando se verifica que a soma dos ânions é aproximadamente igual a soma dos cátions em meq/L, resultando num coeficiente de erro máximo de 10% (Logan, 1965). Fundamentado nessa afirmação, através do programa de computação Excel, a CAGECE desenvolveu um modelo com dados químicos, capaz de relacionar e calcular o balanço iônico de várias análises, evidenciando ao mesmo tempo, os respectivos coeficientes de erros. Nesse sentido, os dados iônicos obtidos nas análises realizadas, expressos em mg/L, são relacionados com os respectivos equivalentes químicos e em seguida transformados em meq/L. Os valores encontrados são somados e utilizados na fórmula abaixo, a qual define o coeficiente de erro de cada análise.

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

A **tabela 10** representa os elementos descritos no referido modelo, envolvendo, os resultados do balanço iônico das 26 análises pertinentes aos sistemas aquíferos barreiras e duna/paleoduna. Os dados químicos dessa tabela são constituídos pelos principais elementos, considerados essenciais para o citado balanço e também para a caracterização das águas subterrâneas da área.

Do conjunto das 26 análises, apenas o ponto de água 146B apresenta um valor anormal (16,44) em relação ao coeficiente de erro máximo admitido (10%). De acordo com Custodio & Llamas (op. cit.), esse tipo de irregularidade só ocorre em função de erro de análise para algum elemento analisado ou através de uma quantidade anormal dos íons menores.

**Tabela 10** - Dados do balanço iônico das 26 amostras analisadas

Amostra	Cátions (mg/L)				Ânions (mg/L)					Cátions (meq/L)	Ânions (meq/L)	Erro (%)
	Nº	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	HCO <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>			
143B	40,00	10,50	18,00	12,00	54,00	0,00	2,03	52,00	29,90	3,89	4,72	9,63
49B	12,10	2,40	2,00	4,10	9,00	0,00	2,55	18,00	6,55	1,02	1,21	8,23
86B	18,30	3,10	4,40	6,72	22,00	0,00	3,51	47,00	0,50	1,65	1,87	6,43
36B	9,20	3,40	18,00	8,40	58,00	0,00	9,06	11,00	0,50	2,08	1,69	-10,15
146B	48,00	6,60	11,20	0,03	46,00	0,00	2,72	76,00	11,30	2,82	3,93	16,44
54B	91,70	5,90	3,60	2,90	56,00	0,00	48,19	54,00	3,22	4,56	3,88	-8,09
139B	91,50	8,30	4,40	7,20	119,00	0,00	68,41	60,00	5,21	5,00	5,87	7,93
16B	30,00	3,10	2,40	5,00	53,00	0,00	17,00	18,00	2,20	1,92	2,08	4,07
18B	29,00	11,10	22,80	14,60	50,00	0,00	9,03	63,00	20,56	3,88	4,43	6,60
121B	6,80	2,70	7,60	17,30	49,00	0,00	3,14	33,00	9,30	2,17	2,64	9,84
65B	32,00	5,00	1,60	11,00	13,00	0,00	18,78	40,00	15,43	2,50	2,88	7,00
35B	25,40	3,40	1,20	5,00	32,00	0,00	14,29	23,00	6,36	1,66	2,04	10,18
29B	69,10	7,00	3,00	7,68	54,00	0,00	46,11	74,00	2,94	3,97	4,34	4,46
145D	10,30	2,40	8,00	12,00	30,00	0,00	30,60	28,00	1,58	1,90	2,14	6,04
27D	4,00	2,70	6,40	8,88	52,00	0,00	5,36	9,00	1,50	1,29	1,51	7,81
147D	31,00	6,80	21,60	23,76	56,00	0,00	1,65	66,00	24,50	4,55	4,76	2,26
142D	7,60	2,40	8,40	5,52	22,00	0,00	4,07	15,00	1,26	1,27	1,04	-9,89
30D	8,80	2,40	2,40	4,80	27,00	0,00	4,03	15,00	0,76	0,96	1,10	6,90
136D	6,80	2,40	5,60	4,32	15,00	0,00	14,90	16,00	0,67	0,99	1,11	5,58
113D	87,50	14,20	26,00	32,40	29,00	0,00	15,71	235,00	25,67	8,13	9,37	7,07
98D	13,10	2,40	2,00	4,30	12,00	0,00	2,76	25,00	3,66	1,08	1,26	7,63
26D	57,00	23,90	5,20	3,60	32,00	0,00	12,25	84,00	3,88	3,65	3,54	-1,46
124D	409,50	27,30	17,20	37,70	100,00	0,00	116,10	745,00	0,82	22,47	25,49	6,29
144D	20,80	3,10	17,20	12,48	67,00	0,00	14,70	46,00	1,91	2,87	3,08	3,53
123D	29,00	4,20	6,00	1,66	10,00	0,00	12,00	36,00	10,00	1,80	2,18	9,40
141D	16,20	2,40	5,20	2,40	8,00	0,00	30,00	22,00	0,25	1,22	1,42	7,56

Legenda: D – dunas; B - Barreiras

Os valores das demais análises apresentam coeficiente de erros com valores toleráveis, indicando que as mesmas se encontram ionicamente completas e que seus dados são plenamente confiáveis para a utilização posterior.

#### 11.4 - Usos e Padrões da Água

Os resultados apresentados nas análises e mais as considerações já abordadas anteriormente, refletem as condições de aproveitamento das águas subterrâneas dos dois sistemas aquíferos, indicando que essas águas podem ser quimicamente utilizadas para vários fins, principalmente nos limites aceitáveis de potabilidade e irrigação. De outra forma, são presenciados pequenas divergências de valores químicos envolvendo o pH e pontos localizados, próximos à linha de costa, onde são observados valores de cloretos diferenciados dos demais (vide tabela 2 em anexo). Nesse sentido, são observadas, a seguir, as principais características de uso da água em relação aos aspectos de consumo humano e irrigação.

#### **11.4.1 – Condições de Potabilidade**

A qualidade da água para o uso humano está relacionada às condições físico-químicas e bacteriológicas que a água possui, de modo que a saúde do homem não venha a ser afetada pelas presenças dos elementos constituintes. Segundo Custódio & Llamas (op. cit.), a potabilidade química é caracterizada quando as concentrações dos elementos se encontram dentro dos valores determinados pelas normas e padrões instituídos, enquanto que a água bacteriologicamente potável é desprovida de bactérias patogênicas que possa ocasionar qualquer problema à saúde do homem.

Os limites químicos de potabilidade para as águas analisadas da área são definidos pela **tabela 11** a qual reúnem alguns padrões oficiais de potabilidade incluindo-se dentre eles as normas da OMS (Organização Mundial de Saúde) e a Portaria 36/90 do Ministério da Saúde.

Quase todos os parâmetros químicos identificados apresentam valores compatíveis com os limites indicados na tabela padrão, diferenciando apenas para algumas concentrações de ferro e cloro que revelam teores acima dos padrões determinados. Dentre estes elementos, o ferro é o que possui incidência mais elevada (aproximadamente 40%),



**Tabela 11** – Resumo dos diversos padrões de potabilidade nacional e internacional  
Genericamente as concentrações analisadas não constituem nenhum inconveniente nas condições de explorações para os dois sistemas aquíferos. (CESTESB, 1990).

	Parâmetro	unid.	Fonte Referência					
			1	2	3	4	5	6
I	Cor	Pt/L	15	20	5 <sup>(*)</sup>	15	15	-
	Odor	-	INOFENSIVO	N.O	N.O	INOFENSIVO	3 <sup>(*)</sup>	2 A 12°C <sup>(*)</sup>
	Sabor	-	INOFENSIVO	N.O	N.O	-	-	-
	Turbidez	UNT	5	5	1	15	1-5	-
	Temperatura	°C	-	-	-	15	-	25
	pH	-	6,5 - 8,5	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 9,5
II	Arsênio	mg/L As	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,04
	Bário	mg/L Ba	-	1,0	1,0	1,0	1,0	-
	Cádmio	mg/L Cd	0,005	0,01	0,005	0,005	0,01	0,005
	Chumbo	mg/L Pb	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,04
	Cianetos	mg/L CN	0,1	-	0,1	0,2	-	0,05
	Cromo	mg/L Cr	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Fluoretos	mg/L F	1,5	0,6 - 1,7	0,6 - 1,7	1,5	4,0	1,5
	Mercurio	mg/L Hg	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001
	Nitratos	mg/ L N	10	10	10	10	10	50
	Nitritos	mg/ L N	-	-	-	1,0	-	0,1
	Prata	mg/L Ag	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01
	Selênio	mg/L Se	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
III	Alumínio	mg/L Al	0,2	0,1	0,2 <sup>*4</sup>	-	-	0,2
	Surfactantes	mg/L LAS	-	0,5	0,2	-	0,5	0,2
	Cloretos	mg/L Cl	250	600	250	250	250	-
	Cobre	mg/L Cu	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-
	Dureza Total	mg/L	500	-	500	-	-	-
	Ferro Total	mg/L Fe	0,3	1,0	0,3	0,3	0,3	0,2
	Manganês	mg/L Mn	0,1	0,5	0,1	0,05	0,05	0,05
	Sódio	mg/L Na	200	-	-	-	-	150
	STD	mg/L	1000	1000	1000	500	500	-
	ST	mg/L	-	1500	-	-	-	-
	Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	400	-	400	500	-	240
	Sulfeto de H	mg/L S	N.D	-	0,025 - 0,25	0,05	-	-
	Zinco	mg/L Zn	5,0	5,0	5,0	5,0	-	-
IV	Coliformes Fecais	n°/100mL	0	-	0	0	-	-
	Coliformes Totais	n°/100mL	0	-	0	10	-	-
Notas:								
1 - Parâmetros físicos e organolépticos.					*1	- Cor aparente.		
III - Parâmetros químicos inorgânicos.					*2	- Taxa de diluição.		
III - Parâmetros químicos que afetem a qualidade organoléptica.					*4	- Valor Experimental.		
IV - Parâmetros microbiológicos.					UNT	- Unidade nefelométrica de turbidez.		
1 - Organização Mundial da Saúde (OMS) - Recomendado.					N.O	- Não Objetável.		
2 - Decreto Federal nº 79637 de 09/03/77, Portaria 56, BSB-13/03/77.								
3 - Portaria 36 do Ministério da Saúde de 19/01/90.								
4 - Canadá.								
5 - EUA.								
6 - Alemanha.								

Fonte: Modificado – CPRM, 1998.

com valores acima do permissível (0,3 mg/L), sendo maior destaque para os poços 144D, 145D e 143B, 121B, relacionados na tabela 2 (anexo). Conforme já foi mencionadas anteriormente, as presenças das concentrações do íon ferro acima do limite padrão, deve está associado à existência de corpos lateríticos e de matéria orgânica em pontos isolados dos sistemas Barreiras e dunas/paleodunas, respectivamente. Genericamente, as concentrações analisadas não constituem nenhum inconveniente nas condições de explorações para os dois sistemas aquíferos.

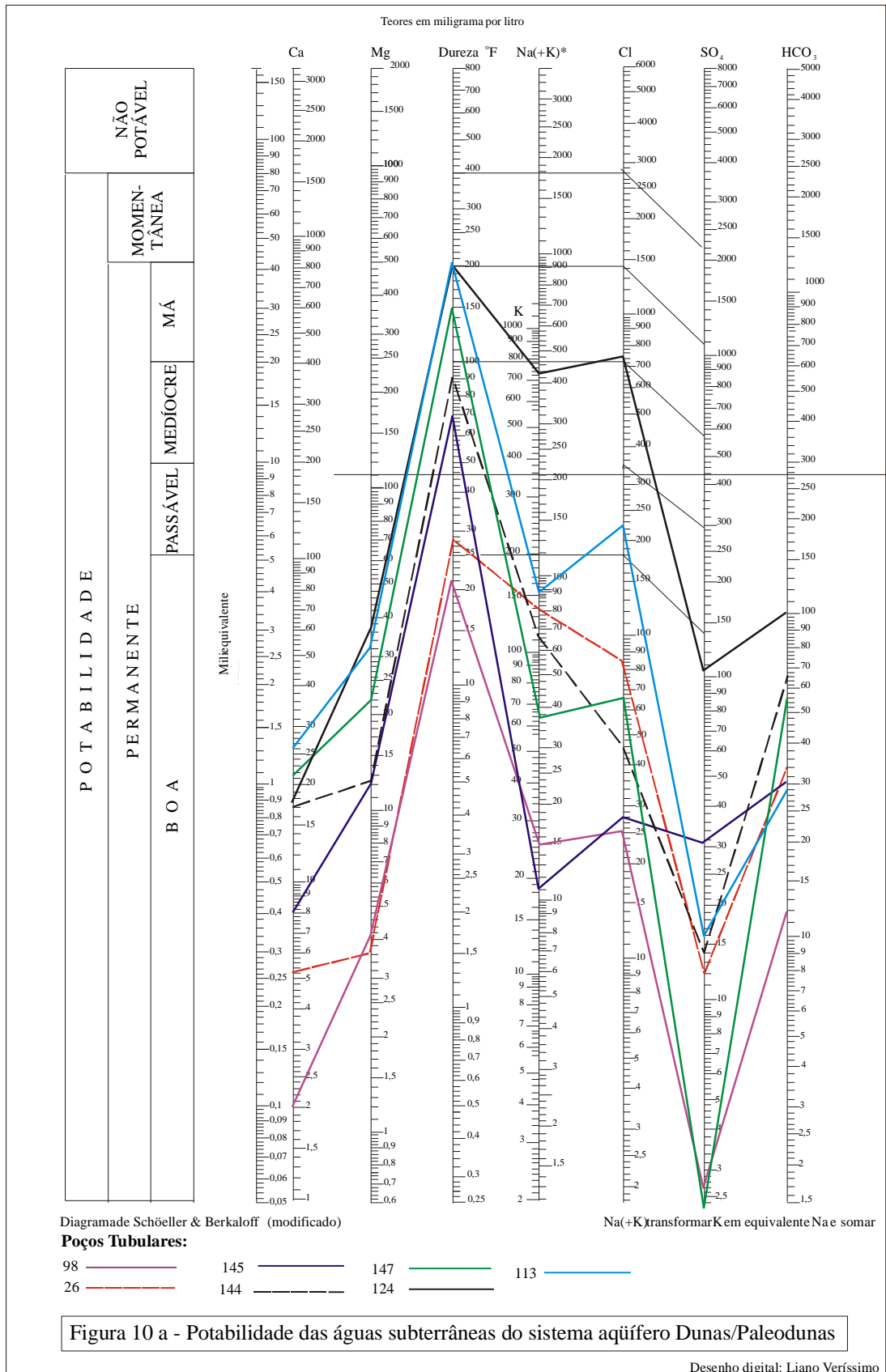
No que diz respeito a presença do cloreto, não existe risco de comprometimento da potabilidade geral dos aquíferos da área, haja vista que mais de 90% das análises apresentam teores bem abaixo dos máximos recomendados. Os valores diferenciados encontrados nas análises estão relacionados aos poços 124D e 113D (tabela 1 em anexo) do sistema aquífero dunas/paleodunas, sendo que apenas o primeiro apresenta uma concentração acima do limite permissível (250 mg/L).

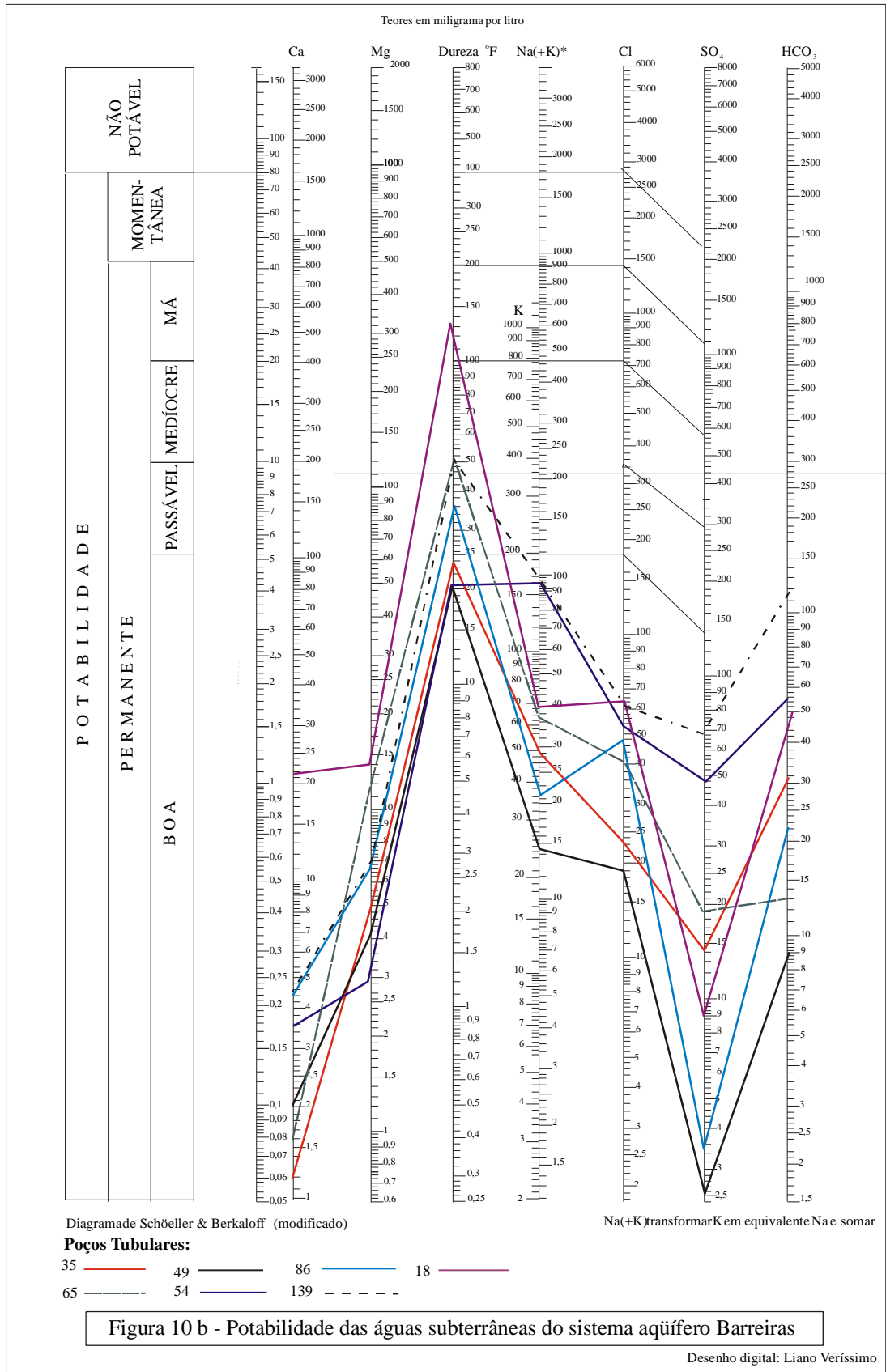
Como avaliação da influência dos elementos químicos na potabilidade, é apresentado nas **figuras 10a e 10b** o diagrama de Schoeller & Berkloff, através do qual são verificadas as classificações da água nos dois sistemas aquíferos e, que de acordo com as concentrações máximas desses elementos a qualidade da água varia de boa a não potável.

Em relação ao sistema barreiras, as águas são classificadas como de boa qualidade, com valor mais elevado para o sódio e mais baixo para os sulfatos. Já no sistema aquífero dunas/paleodunas, às águas apresentam uma classificação dominante como sendo de boa qualidade, porém as amostras com valores mais elevados de cloretos se enquadram entre a passável a medíocre, fato comprovado apenas em duas amostras representadas no gráfico do referido sistema, dados esses que se opõem aos baixos valores do sulfato.

É importante ressaltar que o pH identificado no sistema dunas/paleodunas apresenta características relativamente ácidas, com valores variando entre 5 e 6,5.

Dentre os compostos químicos que afetam a potabilidade da água, o nitrato, detectado em quase todas as análises (tabela em anexo) pode prejudicar a saúde das crianças, desde que o valor encontrado seja superior a 10 mg/l. De acordo com a OMS,





esse nível de concentração pode provocar a metemoglobinemia infantil, ou enfermidade azul, resultando a asfixia e a morte. Nas análises referentes aos dois sistemas aquíferos foram detectados nas amostras de alguns poços, valores com concentrações acima do limite recomendado.(10 mg/l). Tal fato deve está associado à presença de dejetos orgânicos, provenientes de fossas sépticas, muito comuns em todos os setores povoados da área.

Além da potabilidade química, foram realizadas também dez análises bacteriológicas, com o objetivo de identificar em sua composição, organismos patogênicos que comprometam a qualidade da água e, conseqüentemente a saúde do homem. As referidas amostras representam as principais localidades da área.

Do total das análises (10), oito revelaram as presenças de bactérias do grupo coliforme fecal, sendo a maior parte representada pela *Escherichia coli*, organismo indicador de poluição das águas por influência de fossas sépticas. A **tabela 12** mostra a relação das bactérias encontradas e também os valores das concentrações, representadas como NMP/100ml (Número Mais Provável/100ml).

**Tabela 12** – Dados bacteriológicos sobre as análises das principais localidades da área.

Nº do Ponto de água	Localidades	Bactérias	Concentração (NMP/100ml)
142D	Porto das Dunas	E.C	9
30D	Prainha	P.A	93
98D	Fonte Iguape	Negativo	0
65B	Pau Pombo	P - Sp	0
146B	Aquiraz – Sede	E.C	240
147D	Prainha	E.C	240
27D	Porto das Dunas	E.C	23
35B	Aquiraz – Sede	E.C	23
26D	Iguape	Negativo	0
143B	Tapera	E.C	240

Fonte: modificado CAGECE (1996), apud Cavalcante (1998).

Legenda: E.C – *Escherichia coli*; P.A. – *Pseudomonas Aeruginosa*; P – Sp – *Pseudomonas Sp.*

A razão da poluição das águas por essas bactérias está relacionada à existência de fossas sépticas, tendo em vista a falta de saneamento básico das localidades da área, principalmente àquelas de maior concentração urbana, onde ocorre uma maior aproximação entre o poço e a fossa.

Além da precariedade do saneamento, a permeabilidade das formações aquíferas e a execução de poços mal construídos contribuem de forma significativa para que a contaminação ocorra com mais facilidade, afetando, conseqüentemente, a potabilidade da água de muitos poços. A presença de elementos contaminantes pode ser a causa de algumas doenças de veiculação hídrica, como é o caso das diarreias e problemas intestinais diversos.

#### 11.4.2 - Qualidade da Água para Irrigação

A qualidade da água utilizada na irrigação está basicamente relacionada ao conteúdo de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), expresso pela condutividade elétrica da água a 25 °C e também pelo SAR (*Sodium Absorption Ratio*) – Razão de Adsorção do Sódio. Esse índice representa a medida em que a concentração de sódio na água substitui o cálcio e o magnésio no solo. Segundo a JOHNSON Division (1978), o valor desse índice sendo superior a 10, é considerado perigoso para o solo. Os valores do SAR relacionados na **tabela 13** mostram que apenas uma análise possui valor superior a esse limite. A determinação do referido índice é calculada em função das concentrações em meq/L dos elementos envolvidos, através da seguinte equação:

$$\mathbf{SAR} = \frac{r\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{r\text{Ca}^{+2} + r\text{Mg}^{+2}}{2}}}$$

onde  $r = \text{meq/L}$

A relação entre a condutividade elétrica e o SAR é caracterizada através do diagrama do U.S. Salinity Laboratory, que é utilizado na classificação das águas para a irrigação, conforma mostra a **figura 11**.

Tabela 13 – Relação dos valores do SAR e da condutividade elétrica para os dois sistemas aquíferos

Dunas/paleodunas			Barreiras		
Nº do ponto	SAR	Condutiv. Elét.rica (µS/cm)	Nº do ponto	SAR	Condutiv. Elétrica (µS/cm)
145	0,53	213	143	1,81	380
27	0,23	132	49	1,15	107
147	1,10	524	86	1,29	206
142	0,50	133	36	0,45	199
30	0,75	200	146	4,00	400
136	0,51	116	54	9,04	332
113	2,71	1.049	139	6,31	386
98	1,19	136	16	2,60	204
26	4,77	393	18	1,17	425
124	12,73	2.657	121	0,30	195
144	0,93	317	65	2,02	275
123	2,80	175	35	2,30	197
141	1,49	160	29	4,54	507

Legenda: SAR – Sodium Absorption Ratio

As diferenças de concentrações dos componentes do diagrama são demonstradas pelos sub-índices numéricos, cujos valores variam de 1 a 4. Estes dados permitem que a água seja classificada com as anotações  $C_i-S_j$ , em que os sub-índices maiores que 2 representem a má qualidade dessa água.

Conforme a classificação das águas determinada pelo diagrama, os resultados das análises revelam que 57% das amostras se enquadram na classificação  $C_1-S_1$ , caracterizando águas de baixa salinidade e baixo teor em sódio, podendo ser utilizadas na maioria das culturas e vegetais e em vários tipos de solos (Santos op. cit.). A segunda maior parte, correspondendo a 34%, pertence a classificação  $C_2-S_1$ , indicando água de salinidade média, que pode ser usada em solos silto-arenosos, e águas fracamente sódicas, que se prestam ao cultivo de quase todos os vegetais.

Finalmente, a classificação restante (8%), identifica água do tipo  $C_3-S_1$  e  $C_2-S_2$ , com alta e média salinidade, respectivamente, além do valor do sódio, que varia de baixo a médio.





Os valores dominantes encontrados nas classificações indicam que as águas dos dois sistemas aquíferos podem ser utilizadas na irrigação de quase todas as culturas e também na maioria dos solos.

## 12 – RESERVAS

A avaliação ou estimativas das reservas hídricas subterrâneas está relacionada aos fatores dimensionais que envolvem os aquíferos e aos resultados do balanço hídrico que influem nessas reservas. Nesse sentido, serão considerados os aspectos hidrogeológico das estruturas aquíferas que armazenam água e também as condições de alimentação dos aquíferos a partir do balanço, tendo como consequência a formação de reservas permanentes e reguladoras.

### 12.1 – Aspectos Gerais

Segundo Castany (1975), as reservas das águas subterrâneas representam o volume de água armazenado em rochas aquíferas através de um determinado período. Essas reservas estão condicionadas às dimensões das estruturas hidrogeológicas e as propriedades aquíferas pertinentes, tais como, porosidade eficaz e coeficiente de armazenamento, que são considerados essenciais na avaliação dessas reservas.

Levando-se em conta o volume total das águas subterrâneas, as reservas estão classificadas em permanente e renovável (reguladora), sendo esta última caracterizada pela variação da superfície potenciométrica do aquífero, devido à influência periódica das precipitações pluviais. Nesse sentido, os cálculos das reservas são desenvolvidos em função dos dados que envolvem a referida classificação.

Na definição do autor acima, a **reserva reguladora** corresponde ao volume de água da camada aquífera, limitado por dois níveis potenciométricos extremos, mínimos e máximos, os quais oscilam em decorrência das contribuições sazonais ou anuais das precipitações. Essas reservas alimentam e controlam a vazão de fluxo nos pontos de

exutório. A **reserva permanente** é caracterizada como profunda e/ou secular, representando uma quantidade de água livre, acumulada na camada aquífera, com os limites no aquífero definidos na base por um substrato impermeável, e na parte superior por uma superfície potenciométrica mínima.

A soma das reservas reguladora com a permanente corresponde à reserva potencial ou total, a qual representa o volume de água livre armazenada.

Além das definições acima, torna-se necessário o reconhecimento das condições das reservas de água subterrânea como oferta, considerando-se, nesse caso, a relação entre a demanda e a quantidade de água que o aquífero pode fornecer sem que venha a comprometer o potencial de água disponível. Nesse sentido é que surgem os termos de potencialidade e disponibilidade das reservas aquíferas, os quais são considerados por Costa (1998) como essenciais para a avaliação das reservas que podem ser extraídas dos sistemas aquíferos, levando-se em conta os tipos de aquífero, o volume de água armazenado e a demanda existente.

Tendo em vista aos aspectos hidrogeológicos antes abordados, as avaliações de reservas serão relacionadas somente aos sistemas aquíferos Barreiras e dunas/paleodunas, já que o fator salinidade inviabiliza o aproveitamento das águas do aquífero aluvionar, não sendo necessário, portanto, o cálculo de reservas para este sistema.

## **12.2 - Avaliação das Reservas de Águas Subterrâneas**

As reservas hídricas subterrâneas da área de estudo são representadas pelos volumes de água armazenados nos sistemas aquíferos Barreiras e dunas/paleodunas, cujos valores são avaliados a partir das áreas de ocorrências desses aquíferos e dos parâmetros hidrogeológicos específicos, usados na verificação das referidas reservas. Nesse sentido, a infiltração eficaz (I) representa um importante elemento, componente do balanço hídrico, que é utilizado nos cálculos das reservas reguladoras.

As avaliações gerais das reservas para os dois sistemas estão fundamentadas nos critérios mais recentes propostos por Costa (op.cit.), através dos quais são calculadas as reservas reguladoras e permanentes.

Os dados da porosidade eficazes empregados nos cálculos das reservas permanentes são os mesmos definidos por Cavalcante (op.cit.), com valores de 5 e 15% para os sistemas aquíferos Barreiras e dunas/paleodunas, respectivamente.

### 12.2.1 – Reservas Renováveis ou Reguladoras

Conforme foi abordado anteriormente, o volume hídrico desse tipo de reserva está relacionado à variação dos níveis potenciométricos, máximo e mínimo, devido à influência das precipitações sazonais. Nesse sentido, o volume pluviométrico (**P**), a taxa de infiltração (**I**) e a área (**A**), constituem os principais elementos para a avaliação de reserva renovável (**R<sub>r</sub>**) em aquífero intersticial, utilizados na equação abaixo.

$$\mathbf{R_r = A \times P \times I}$$

A infiltração eficaz (**I<sub>w</sub>**), encontrada no balanço hídrico, corresponde a parcela de água infiltrada (não uma taxa de infiltração), através do solo, que irá influir nas reservas reguladoras dos sistemas aquíferos. Nesse sentido, não é considerado o valor total da precipitação (**P**) da fórmula acima, tendo em vista que a quantidade de água infiltrada está implícita nessa precipitação. Sendo assim, torna-se necessário, apenas, o valor da área de ocorrência do aquífero (**A**) e o valor da infiltração eficaz (**I<sub>w</sub>**) para formar a nova equação, representada por: **R<sub>r</sub> = A x I<sub>w</sub>**. É importante acrescentar que em relação ao sistema aquífero Barreiras, o valor de **I<sub>w</sub>** será comparativamente proporcional aos valores da porosidade eficaz determinados para os dois aquíferos. Como a porosidade eficaz do sistema aquífero Barreiras corresponde a 1/3 desta mesma variável no sistema dunas/paleodunas, isso implica que a infiltração eficaz deste sistema será de: 0,53m/3, ou 0,17m, dado esse que será utilizado somente no cálculo da reserva renovável do sistema aquífero Barreiras.

A constituição areno-argilosa desse aquífero lhe confere uma permeabilidade mais baixa, quando comparada com o material areno-quartzoso do aquífero dunas/paleodunas, resultando, também, numa menor capacidade de infiltração.

Salienta-se também que o valor do fluxo de base seria um dado muito relevante na avaliação das reservas reguladoras, caso existisse algum levantamento desse parâmetro no domínio da região. De acordo com Filho (1997), a quantidade de água que infiltra para zona de saturação representa a recarga ou os recursos renováveis dos aquíferos, que pode alcançar os leitos dos rios e formar o fluxo de base. Nesse sentido, o volume de água calculado no exutório iria refletir o verdadeiro valor infiltrado que influi nas reservas renováveis do aquífero, o qual pode ser usado como referencial para definição das referidas reservas.

Devido às irregularidades climáticas da região e a intermitência dos rios locais, não será considerado nesse trabalho, sobre as reservas renováveis, nenhum dado relacionado ao referido fluxo, já que inexistem informações específicas a esse respeito. Tendo em vista tais aspectos, um dos elementos considerado mais importantes para os cálculos das reservas renovadoras dos aquíferos da área é a infiltração eficaz ( $I_w$ ), encontrada no balanço hídrico, já apresentado.

#### **Sistema aquífero Barreiras**

Considerando a área ( $A$ ) de 126,8 km<sup>2</sup> e a infiltração eficaz ( $I_w$ ) = 0,17 m, o valor das reservas renováveis para este sistema corresponde a **21,55 milhões de m<sup>3</sup>/ano**.

#### **Sistema aquífero dunas/paleodunas**

Com o valor da infiltração de **0,53m** e a área de ocorrência do sistema de **34,2 km<sup>2</sup>**, a reserva renovável calculada para sistema aquífero é igual a **18,14 milhões de m<sup>3</sup>/ano**.

### **12.2.2 - Reservas Permanentes**

As reservas permanentes para aquífero intersticial livre são calculadas pela seguinte fórmula:

$$R_p = A \times b \times \mu$$

Onde:

**R<sub>p</sub>** = reserva permanente (**m<sup>3</sup>/ano**)

**A** = área de ocorrência do aquífero (**m<sup>2</sup>**)

**b** = espessura saturada (**m**)

**μ** = porosidade eficaz (**adimensional**)

### **Sistema aquífero Barreiras**

Além da porosidade ( $\mu$  de 5%, os demais valores da fórmula acima utilizados para este sistema são: **A** = 126,8 km<sup>2</sup> e **b** = 15m, obtendo-se uma reserva permanente de **95,1 milhões de m<sup>3</sup>/ano** para o sistema aquífero Barreiras.

### **Sistema aquífero dunas/paleodunas**

Esse sistema aquífero possui os seguintes dados: área (**A**) = 34,24 km<sup>2</sup>, espessura saturada média (**b**) = 7m e porosidade eficaz (**μ**) de 15%, resultando numa reserva permanente (**R<sub>p</sub>**) de **35,95 milhões de m<sup>3</sup>/ano**.

#### **12.2.3 - Reservas Totais**

Levando-se em conta os resultados obtidos sobre os sistemas aquíferos, as reservas totais para cada sistema são representadas pelas somas das reservas permanentes e renováveis encontradas na área. Nesse sentido, os sistemas Barreiras e dunas/paleodunas apresentam como resultados das reservas totais, os valores de **116,65 e 54,09 milhões de m<sup>3</sup>/ano**, respectivamente.

### **12.3 - Exploração das Água Subterrâneas**

A partir das informações sobre as potencialidades e disponibilidades aquíferas, tornou-se possível verificar as condições de exploração das águas subterrâneas da área, considerando-se as relações existentes entre as reservas e o potencial hídrico disponível nos sistemas aquíferos.

Conforme foi mencionado anteriormente, a disponibilidade se refere ao volume, ou vazão anual de água que pode ser extraído de um aquífero sem que se produza nenhum risco de exaustão.

No caso específico desse trabalho, a exploração é fundamentada na disponibilidade efetiva atual ( $D_{ea}$ ), que é geralmente inferior à disponibilidade instalada, ou seja, a quantidade captada é menor que a vazão máxima obtida pelas obras de captação instalada no sistema (disponibilidade instalada), num regime de bombeamento máximo de 24h/dia. De acordo com Costa (op. cit), a disponibilidade efetiva atual está normalmente associada a um regime de bombeamento máximo de 8 horas, ou até 4 horas/dia, dependendo do tipo de aquífero, das condições técnicas e econômicas de exploração.

Segundo as informações hidrogeológicas levantadas e as características dos poços da área, adota-se para esse trabalho um regime de exploração de 6h/dia, com vazões médias diferenciadas para os dois sistemas aquíferos.

Os cálculos das disponibilidades terão como base o número de captações existentes multiplicado pelas respectivas vazões médias horárias e pelo total de horas durante o ano ( $365 \times 6 = 2.190h$ ), conforme a equação abaixo.

$$D_{ea} = n \times Q_m \times 2.190h$$

Onde:

$D_{ea}$  = Disponibilidade efetiva atual ( $m^3$ /ano)

$n$  = Número de captações existentes (adimensional)

$Q_m$  = Vazão média horária ( $m^3$ /h)

De acordo com o levantamento de dados realizado, foram cadastrados 145 poços nos dois aquíferos, sendo 95 no sistema Barreiras e 50 no sistema dunas/paleodunas. Além desses dados foram atribuídas para essas duas unidades hidrogeológicas, respectivamente, vazões médias de 2,5 e  $5 m^3/h$  para um bombeamento de 6h/dia, durante o ano.

Através desses dados e com a utilização da equação acima, obtiveram-se para os dois sistemas as disponibilidades efetivas atuais ( $D_{ea}$ ) de 547.500 e 520.125  $m^3$ /ano,

referentes aos sistemas aquíferos dunas/paleodunas e Barreiras, respectivamente. Esses resultados correspondem aos dados percentuais de 3 e 2,4% das reservas renováveis anuais.

É importante acrescentar que essas disponibilidades se referem apenas aos poços cadastrados, pois além destes estima-se que existem a mais, 320 poços captando os dois aquíferos, sendo que 200 e 120 são distribuídos nos sistemas Barreiras e dunas/paleodunas, respectivamente. Esses novos dados representam uma disponibilidade de 1.095.000 m<sup>3</sup> para o primeiro e 1.314.000 m<sup>3</sup>/ano para o segundo sistema, resultando taxas respectivas de 5,0 e 7,2%, em relação as reservas renováveis.

Somando-se os resultados das disponibilidades atuais (cadastradas e estimadas), obtém-se os valores totais de **1.861.500 m<sup>3</sup>/ano** para o sistema dunas/paleodunas e **1.615.000 m<sup>3</sup>/ano** referente ao Barreiras, equivalendo a 10,2 e 7,5% das reservas renováveis, respectivamente.

Conclui-se, portanto, que os valores dessas disponibilidades apresentam baixos índices de exploração, quando comparados com as reservas renovadoras dos sistemas, implicando que o regime de bombeamento indicado é considerado suficiente para atender a demanda solicitada, preservando os aquíferos sem provocar depleção nas reservas permanentes por determinado período de tempo.

Para o sistema aquífero dunas/paleodunas, a disponibilidade atual contida na reserva revela, também, que a quantidade de água retirada anualmente não interfere no equilíbrio hidráulico, existente na interface formada pelas águas doce e salgada, evitando, portanto, o avanço da interface salina em direção ao continente. As evidências de água salgada nesse aquífero ocorrem somente em pontos isolados, nas proximidades do: 85 onde a água do mar penetra no continente, a exemplo dos poços 113 e 124, localizados nas regiões da Prainha e Iguape, locais em que ocorre o avanço da maré através do riacho Catu e do canal da Barra Iguape.

Para o sistema Barreiras, a composição areno-argilosa constitui um fator limitante na exploração da água subterrânea, pois o reduzido índice de infiltração hídrica impede um

maior acúmulo de água e conseqüentemente contribui para que as reservas fiquem comprometidas, caso ocorra um nível de exploração acima do permissível.

A exploração é realizada através de sistemas de captações constituídos predominantemente por poços tubulares rasos (inferior a 20 m) e profundos (acima de 20m), que possuem diâmetros de perfuração variando entre 8 e 10” e são revestidos com tubos de 4 a 6”, em média. Somados a essas captações, existe também o uso de poços escavados ou cacimbas, além de algumas fontes aflorantes no sistema dunas/paleodunas.



### 13 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com a as pesquisas gerais levantadas sobre o município de Aquiraz, conclui-se não existir nenhum trabalho ou publicação específica relacionados ao tema abordado no presente estudo. Nesse sentido, ficou constatado que as pesquisas que envolvem área são sempre de natureza regional, pertinentes aos domínios da RMF e enfoca mais assuntos abrangentes.

Com base no exposto espera-se que o conteúdo desse trabalho possa ser útil para o desenvolvimento de outras pesquisas que venham ser realizadas na mesma área ou em regiões de interesse semelhante, além de constituir novas informações sobre as condições hídricas subterrânea do município. Os assuntos apresentados foram fundamentados em dados obtidos, sobre os quais ficaram concluídos os seguintes aspectos:

- Deficiência de informações por parte de empresas publica e privadas, principalmente, dados hidrogeológicos, a exemplo dos parâmetros hidrodinâmicos. As dificuldades dessas informações são refletidas através das dispersões dos dados e nas lacunas apresentadas nos elementos cadastrais.
- A falta de coordenadas geográficas ou UTM em todos os poços construídos é um fator praticamente constante em quase toda a área. Sua carência no cadastro só não é notada, porque foram efetuadas medições na maioria dos poços.
- A água subterrânea constitui a principal alternativa de abastecimento de água para a área pesquisada e também para o município, correspondendo a aproximadamente 90% do consumo, cuja captação é feita por meio de poços tubulares, poços escavados e algumas fontes. A sede municipal representa um dos poucos locais onde o abastecimento é complementado por água superficial proveniente da lagoa do Catu, através de bombeamento e distribuição feito pela CAGECE, e também, água mineral comercializada.
- As unidade hidrogeológicas que compõem a área são representadas pelos sistemas aquíferos Barreiras, dunas/paleodunas e aluvionar, sendo que este último é considerado

de pouca importância, devido à influência da água salgada do rio Pacoti, quando atingido pela maré. Os demais possuem condições hídricas de exploração em toda a área, principalmente o sistema dunas/paleodunas, considerado como o de maior potencial hidrogeológico.

- No sistema dunas/paleodunas a profundidade do nível estático está sempre condicionada ao comportamento topográfico do relevo, ou seja, o setor de maior cota é caracterizado como zona de recarga, onde o nível estático se encontra à profundidade média de 25 metros, ao contrário da zona de descarga que apresenta nível estático em torno de 4 m.
- Comparativamente ao Barreiras o sistema dunas/paleodunas apresenta uma vazão média de 5 m<sup>3</sup>/h, enquanto que no primeiro sistema essa vazão é de 2,5 m<sup>3</sup>/h.
- A falta de controle litológico durante as perfurações dos poços por parte de empresas públicas e particulares impedem que sejam geradas informações importantes que envolvem o rendimento do poço e o conhecimento das características litológicas do sistema aquífero. Associado a este aspecto existe também, a falta de controle t<sup>87</sup> sobre colocação de filtros nas zonas de entradas de água no poço ao longo das camadas aquíferas atravessadas, fato que influi negativamente na eficiência do poço.
- Durante as atividades de campo observou-se que as principais lagoas da área, em período de estiagem, são alimentadas pelo sistema aquífero dunas/paleodunas, que funciona como aquífero influente. Tal fato é afirmado, com base na manutenção do volume de água na parte central da bacia da lagoa, em época da estiagem.
- Qualitativamente, as águas desses sistemas aquíferos foram definidas em função dos resultados das análises químicas e bacteriológicas realizadas. De acordo com os dados das análises físico-químicas, as águas são consideradas como cloretadas sódicas e apresentam condições aceitáveis de uso, tanto para potabilidade, quanto para a agricultura. Dentre os elementos encontrados nas análises, o ferro foi o que mais apresentou concentrações acima do limite permitido para o consumo humano (0,3 mg/l). Esses valores foram mais incidentes nas amostras do sistema aquífero

Barreiras, devido provavelmente às presenças de corpos lateríticos em pontos localizados desse sistema.

- Com relação à salinização, não existem nos resultados das análises, evidências caracterizadas sobre o avanço da cunha de água salgada nas zonas aquíferas próxima ao mar. Conforme os dados da tabela química em anexo, apenas no poço 124D foram encontrados valores anormais de cloretos, seguido do poço 113D com valores discrepantes, se comparados aos demais. Esses poços estão posicionados no sistema aquífero dunas/paleodunas e são localizados nas proximidades de drenagens que possibilitam o avanço do mar no continente, salinizando alguns pontos do aquífero. Segundo essa situação, a presença de cloretos nesses poços está mais associada à influência da água salgada das drenagens do que do avanço da interface água doce e salgada.
- A ocupação urbana dos setores costeiros, localizados em áreas adjacentes ao mar, ainda não explorou o suficiente para induzir o avanço da cunha de água salgada em direção aos aquíferos. Provavelmente, esse avanço teria salinizado vários poços.
- Com valores proporcionais às concentrações iônicas, os resultados dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e da condutividade elétrica apresentam valores normais para a potabilidade e irrigação, exceção apenas do ponto de água 124D.
- Diferentes dos resultados hidroquímicos sobre a qualidade da água, 80% das análises bacteriológicas realizadas revelam que as águas dos dois sistemas aquíferos se encontram poluídas por coliformes fecais, tendo em vista a falta de saneamento básico na área, que é largamente ocupada por fossas sépticas. O índice acima apresentado indica que a contaminação das águas subterrâneas por bactéria fecal é um fato comum em todos os aquíferos estudados.
- A infiltração eficaz ( $I_w$ ) encontrada no balanço hídrico representa um parâmetro importante para os cálculos das reservas reguladoras, já que as variações dessas reservas nos aquíferos dependem diretamente dos volumes de água infiltrado durante um período de tempo.

Além dos dados concluídos, recomenda-se que outros trabalhos sejam realizados na área de estudo, visando o desenvolvimento de novas pesquisas hidrogeológicas que tenham como objetivo as descobertas das potencialidades hídricas e suas relações com o meio físico. Nesse sentido, sugere-se que nesses trabalhos venham ser produzidos dados de campo a partir da realização das pesquisas através das seguintes atividades:

- Investigação sobre o comportamento da cunha de água salgada, em áreas urbanas, cuja exploração futura possa comprometer o equilíbrio da interface, principalmente em setores onde já apresentaram algumas anomalias de cloretos em um ou mais pontos de água, a exemplo da Prainha e do Iguape. Para esta investigação será necessário, portanto, a utilização de sondagens geofísicas, associadas a análises físico-químicas das amostras coletadas em pontos de água constituídos por poços bombeados e de observação.
- Medições de coordenadas, geográficas ou UTM, de cada poço construído ou ponto de água inventariado, objetivando o posicionamento desse ponto em relação aos aquíferos e aos mapas que representam área.
- Selecionar certa quantidade de poços tubulares no sistema aquífero dunas/paleodunas, com o objetivo de efetuar medições da variação do nível da água visando, conseqüentemente, a elaboração de um mapa de fluxo e o cálculo da frente de escoamento natural. Esses dados são considerados de grande relevância na avaliação da reservas renováveis do aquífero.
- Realização de controle técnico de perfuração durante a execução de um poço, com o objetivo de se obter dados litológicos relacionado ao poço e ao aquífero. Além dessas informações, o acompanhamento técnico deve fornecer também dados essenciais aos intervalos de entrada de água ao longo do perfil do poço, fato que traz relevante contribuição para a colocação dos filtros nos setores correspondentes as drenanças.
- Com relação ao controle de poluição, recomenda-se a execução de medidas e proteção contra prováveis riscos de contaminação do aquífero por infiltração de efluentes líquidos poluídos provenientes de camadas superficiais. Em função disto é recomendável que as

instituições e/ou empresas que operam em atividades de perfuração de poços adotem as medidas técnicas cabíveis, de forma a evitar que a qualidade da água seja afetada pelas presenças de elementos químicos ou bacteriológicos.

#### **14 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BELTRÃO, A. E. & MANOEL FILHO, J. **Abastecimento de Água da Área Metropolitana da Cidade de Fortaleza – CE**. Recife: SUDENE – Div. De Documentação, 1973. 296 p. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 44)
- BEZERRA, E. C. **Balanço Hídrico**. Fortaleza: Atlas do Ceará, 1995, p. 14-23.
- BEZERRA, E. C., BEZERRA, J. E. G., MENDES, M. F. S. DE, **Precipitações Pluviométricas**. Fortaleza: Atlas do Ceará, 1995, p. 20-21.
- BRAGA, A. de P. G., PASSOS, C. A. B., SOUZA, E. M. de. **Projeto Fortaleza. Relatório Final**. Recife – Pernambuco. DNPM/CPRM, 1977. 339 p. V.1.
- BRANDÃO, R. de L., CAVALCANTE, I. N., SOUZA, M. J. N. **Diagnostico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), 1995. 88 p. (Projeto SINFOR)
- BIANCHI, L., MARQUES, J. C. de S. **Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na RMF Fase I – Fatores Condicionantes**, Fortaleza – Ceará. AUMEF – SEPLAN/CE, 1984. 30 p.
- CARVALHO, A. M. de, COUTINHO, P. da N., MORAIS, J. O. Caracterização Geoambiental e Dinâmica Costeira da Região de Aquiraz na Costa Leste do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, V.7, p. 55-65, 1994.
- CASTANY, G. **Tratado Prático de las Aguas Subterráneas**. Barcelona: Ediciones Omega, S. A., 1971. 672 p.
- \_\_\_\_\_. **Prospección y Explotación de Las Águas Subterráneas**. Barcelona: Ediciones Omega S.A. 1975. p. 577-621.
- CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos Hidrogeológicos para Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza Estado do Ceará**. São

- Paulo: USP, 1998. 142p. Dissertação (Tese de Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998.
- CLEARY, R. W. Águas Subterrâneas. *In: Ramos et al. Engenharia Hidrológica*. Rio de Janeiro: ABRH, editorada URFJ, 1989, cap. 5.
- COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO CEARÁ (CAGECE). **Captação de Abreulândia**. Fortaleza: 1984. 58 p.
- \_\_\_\_\_. **Informações sobre consumo de água em Aquiraz**. Aquiraz, 1998 (informações verbais).
- COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO CEARÁ (COGERH). **Avaliação do Potencial de Águas Subterrâneas e de Lagoas das Bacias Hidrográficas da RMF**. Fortaleza, 1999 (trabalho em andamento).
- COSTA, W. D. **Avaliação de Reservas, Potencialidade de Aquíferos**. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10.*, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: ABAS, 1998.
- CUSTÓDIO GIMENA, E. LLAMAS MADURGA, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega S.A., 1983. 2400 p. 2v.
- FIGUEIREDO, M. A. **Vegetação**. Fortaleza: Atlas do Ceará, 1995. p. 26-27.
- FILHO, J. M. Ocorrência das Águas Subterrâneas *In: FEITOSA, F.A.C. , FILHO, J. M. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM, 1997, cap.2 , p. 15-17.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO CEÁRA (IPLANCE). **Perfil básico municipal: Aquiraz – CE**. Fortaleza: 1998. 42 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas (1961 – 1990)**. Brasília: 1992.
- JOHNSON Division, Universal Oil Products Co. **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares**. Trad. CETESB. São Paulo, 1978. 482 p.
- LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas de Água**. Trad.: Lemos, A. M. de. Recife: Agency for International Development, 1965. 67 p.
- LUNDGREN, L. **Environmental geology**. New Jersey: Prentice Hall, 1986. 576 p.
- MENEZES, M. A. S., ANDRADE, H. A. **Exploração de Água Subterrânea nas Dunas da Praia de Caponga Estado do Ceará**. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3.*, 1984, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABAS, 1984. V. 1, p. 378-386.

- SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica *In*: FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, 1997, cap. 5, p. 81-107.
- SOUZA, M. J. N. **Geomorfologia**. Fortaleza: Atlas do Ceará: 1995. p. 16-17.
- VASCONCELOS, S. M. S. Estimativa da Recarga Subterrânea a Partir do Balanço Hídrico – Exemplo de Fortaleza, (CE). **Revista de Geologia**, Fortaleza, V. 7, p. 27-34, 1994.
- VILLELA, S. M. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mcgraw Hill do Brasil, Inc, 1975. 245p.

## ANEXOS I e II



**ANEXO I - Cadastro de Pontos de Água**  
**- Tabelas Químicas**

**Tabela 1 – Inventário dos pontos de água subterrânea da região costeira de Aquiraz-CE**

Nº do Ponto	LOCALIDADES	COORDENADAS		DATA	Natureza do ponto	Aquífero	PROF. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	VAZÃO (m³/h)	S' (m)	q' (m³/h/m)
		LATITUDE	LONGT.									
1	Sítio Berra bode	956751	567228	Out/85	PT	Tb	50,00	4,40	40,00	1,00	35,6	0,03
2	Tapera	9563677	572160		PT	Tb	60,00	3,50	42,00	0,90	38,5	0,02
3	Condomínio Aquavile	9575842	566640	Set/98	PT	Tb	53,00	12,00	30,00	2,60	18	0,14
4	Sítio Jenipapeiro	9560764	565836		PT	Tb	60,00	13,00	51,00	0,50	38,0	0,01
5	Patacas	9560607	570616		PT	Tb	60,00	15,20	40,50	2,00	25,3	0,07
6	Iguape	9564286	578328		PT	Qpd	70,00	29,00	52,00	1,50	23,0	0,06
7	Faz. Encantada	9560295	577400		PT	Tb	65,00	16,30	48,00	1,00	31,7	0,03
8	Lagoa do Mato	9567982	563220		PT	Tb	66,00	11,00	25,00	6,50	14,0	0,46
9	Sítio Tapera	9563677	572160		PT	Tb	25,00	12,00	22,00	0,60	10,0	0,06
10	Rua das Laranjeiras	9568900	567538		PT	Tb	45,00	3,00	28,00	1,30	25,0	0,05
11	C.Com. Otoni Sá	9568593	567846		PT	Tb	49,00	10,00	38,00	0,40	28,0	0,01
12	Instit.Stênio Gomes	9568593	567846		PT	Tb	69,00					
13	Mercado Público	9568275	568019		PT	Tb	42,00	4,40	30,70	0,80	26,3	0,03
14	Praça César Cals	9568900	567538		PT	Tb	42,00	8,60	35,50	0,60	26,9	0,02
15	Estr. Berra Bode	9566751	567228		PT	Tb	50,00	4,00	32,00	2,20	28,0	0,07
16	Sítio Fagundes	9562604	570001	Jul/77	PT	Tb	39,00	8,00	28,00	2,00	20,0	0,1
17	Hospital O. Lobo	9568900	567538		PT	Tb	60,00	7,50	46,50	2,00	39,0	0,05
18	Pça. Cônego Araripe	9568715	567714		PT	Tb	50,00	6,80	36,00	1,40	29,2	0,04
19	Irmã Maria Montenegro	9568593	567846	Jul/85	PT	Tb	50,00	5,00	37,10	1,00	32,1	0,03
20	Fagundes	9562604	570001		PT	Tb	46,00	20,00	24,00	2,50	4,00	0,6
21	Pço. granja ciavel (Lag. Catu)	9567183	570797	Mai/98	PT	Tb	60,00			1,00		
22	Av. Princ. - Prainha	9568812	572515		PT	Qpd	60,00	21,00	47,00	0,40	26,0	0,01
23	Prainha (poço da delegacia)	9568621	571909	Mai/98	PT	Qpd						
24	João Gentil (P. das Dunas)	9575188	566714		PT	Qpd	52,00			1,20		
25	Sítio Piau (feros. g.cedível)	9566750	570460	Mai/98	PE	Tb	8,00	5,00				
26	Chaf. do Iguape	9564208	578299		PT	Qpd	52,00			2,00		

OBS: PT = poço tubular; PE = poço escavado; Qpd = paleodunas(Quaternário); Tb = Formação Barreiras(Terciário); Qa = aluvião; S' = Rebaixamento; q' = vazão específica.

**Tabela 1 – Inventário dos pontos de água subterrânea da região costeira de Aquiraz-CE**

Nº do Ponto	LOCALIDADES	COORDENADAS		DATA	Natureza do ponto	Aquífero	PROF.(m)	N.E.(m)	N.D.(m)	VAZÃO (m³/h)	S' (m)	q' (m³/h/m)
27	Cond.Paradise (P. Dunas)	9575721	566234		PT	Qpd	75,00					
28	Tapuio	9566294	562355		PT	Tb	40,00	12,00	23,00	1,70	11,0	0,15
29	Estação rodoviária	9568808	567673		PT	Tb	50,00			0,28		
30	Luis Coelho - Prainha	9568894	571866		PT	Qpd	40,00	20,02	34,50	1,10	14,48	0,07
31	Iguape	9564286	578328		PT	Qpd	53,00	18,00	28,00	2,50	10,0	0,25
32	Iguape	9564286	578328		PT	Qpd	51,00	22,00	42,00	3,00	20,0	0,15
33	Sítio Catu (Cícero Ferraz)	9567113	571275	1993	PT	Tb	60,00	12,00	44,00	1,02	32,0	0,03
34	" "	"	"		PE	Tb	16,00					
35	Sítio Wellington (sed. municipal)	9568483	567211	Out/98	PT	Tb	60,00	13,00	43,00	2,00	30,0	0,06
36	Rest.Wave ( próx. ao Iguape)	9567974	571967		PE	Qpd	14,00					
37	Iguape - Ant. Lacerda	9619251	577446		PT	Qpd	54,00	0,40	40,00	1,00	39,6	0,02
38	José Renato (Prainha)	9569228	571539		PT	Qpd	40,00					
39	Cambebinha	9568847	569457		PE	Tb	9,00	6,00				
40	Ação Social (centro Aquiraz)	9568566	567834		PE	Tb	11,00	9,00				
41	Próx.ao grupo esc.(Aquiraz)	9568563	567938		PT	Tb	9,00					
42	Chaf.rua Pedro Brasil (Aqrz.)	9568630	568370		PT	Tb	38,00					
43	Chaf. da rua Tabajara (Aqrz.)	9568432	568488		PT	Tb	40,00					
44	Rua Des.O. Ramos (Aquiraz)	9568550	567376		PE	Tb	8,00	2,00				
45	Chaf. das Minelvinas (Aquiraz)	9568141	567552		PT	Tb	52,00					
46	Jacundá (Sítio Pindoba - D.Ieda)	9568815	565071		PE	Tb	15,00					
47	Jacundá (Ortobom)	9569280	565346		PE	Tb	24,00	21,00		1,00		
48	Sítio Alvorada (Tap.Dr.Carlos)	9563313	572136		PE	Tb	5,00			2,00		
49	Chaf.Igreja Católica (Tapera)	9563658	572115		PT	Tb	53,00	15,00		3,50		
50	Senhor Sinval (Tapera)	9564242	571803		PT	Tb	50,00	14,70	30,20	2,70	15,5	0,17
51	Senhor Edvaldo (tapera)	"	"		PT	Tb	53,00	9,00		2,70		
52	Sít.Panterinhas (estrđ.Iguape)	9564074	573858		PT	Tb	10,00	4,50		1,00		

OBS: PT = poço tubular; PE = poço escavado; Qpd = paleodunas(Quaternário); Tb = Formação Barreiras(Terciário); Qa = aluvião; S' = Rebaixamento; q' = vazão específica.

**Tabela 1 – Inventário dos pontos de água subterrânea da região costeira de Aquiraz-CE**

Nº do Ponto	LOCALIDADES	COORDENADAS		DATA	Natureza do ponto	Aquífero	PROF.(m)	N.E.(m)	N.D.(m)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	S' (m)	q' (m <sup>3</sup> /h/m)
53	Sít.Pau Pombo (estrđ.Iguape)	9562466	572048		PE	Tb	11,00	6,00		1,00		
54	Machuca (Posto Sec.Faz.)	9565328	567613	Jun/89	PT	Tb	53,00	14,00	35,00	1,50	21,0	0,07
55	Machuca - José Rufino Cruz	9565280	567870		PE	Tb	6,00					
56	Sítio Machuca (P.César)	9564754	567805		PT	Tb	43,00			3,80		
57	Sítio Refúgio do Guer (mach)	9564679	567906		PT	Tb	48,00					
58	Sítio Refúgio do Guer (mach)	9564655	567970		PE	Tb	6,00					
59	Granja Cialne	9564113	567734		PT	Tb	66,00	10,00	17,00	7,20	7,0	1,0
60	Granja Cialne	" "	" "		PT	Tb	75,00	12,00	36,00	3,00	24,0	0,12
61	Granja Cialne	" "	" "		PT	Tb	40,00	3,60	30,00	3,00	26,4	0,11
62	Granja Avine	9562526	569464		PT	Tb	40,00					
63	Ce-040 (Sr. Aduino Barroso)	9562399	570001		PT	Tb	65,00			1,70		
64	Sítio Odilon (Pau Pombo)	9562148	572325		PT	Tb	42,00			3,00		
65	Chafariz Público (Pau Pombo)	9561997	573021		PT	Tb	52,00					
66	Sr. José Belo (Pau Pombo)	9561985	573175		PE	Tb	14,00					
67	Sr. Argileu (Pau Pombo)	9562148	572325		PE	Tb	9,00					
68	Patacas (Chafariz público -1)	9560089	571314		PT	Tb	42,00			5,00		
69	Patacas (Chaf. Pub. 2, Ig. cat)	9560248	571097		PT	Tb	50,00			3,00		
70	Fatacaz (Chaf. Pub. 3, Ig. Evg)	9560279	570942		PT	Tb	50,00			2,00		
71	Patacas (rua Pingo de Ouro)	9559992	570895		PE	Tb	13,00					
72	Patacas (Chaf. Pub. 4)	9559685	571731		PT	Tb	70,00			2,50		
73	Sítio Picão (poço CAGECE)	9567202	568823		PT	Tb	62,00			5,00		
74	Sítio Sto. Ant.(sítio Picão)	9567207	570145		PE	Tb	9,50					
75	Chaf. da Prefeitura (Sítio Picão)	9567398	569495	Nov/83	PT	Tb	58,00	14,50	40,00	1,50		
76	Poço CAGECE (praça S. Picão)	9567405	569636		PT	Tb						
77	Poço Joaq.Câmara (S. Picão)	9567436	569499		PE	Tb	10,00					
78	Chácara Rainha da Paz	9568526	569766		PE	Tb	9,00			3,00		

OBS: PT = poço tubular; PE = poço escavado; Qpd = paleodunas(Quaternário); Tb = Formação Barreiras(Terciário); Qa = aluvião; S' = Rebaixamento; q' = vazão específica.

**Tabela 1 – Inventário dos pontos de água subterrânea da região costeira de Aquiraz-CE**

Nº do Ponto	LOCALIDADES	COORDENADAS		DATA	Natureza do ponto	Aquífero	PROF.(m)	N.E.(m)	N.D.(m)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	S' (m)	q' (m <sup>3</sup> /h/m)
79	Sítio Morrinho	9568296	570924		PE	Tb	13,00					
80	S.Calado (Sr. Canídeo) Jacundá	9569311	563900		PT	Tb	70,00					
81	Chácara Frota Bez .(Jacundá)	9569362	563633		PE	Tb	30,00			3,00		
82	Sítio JOCUM (Jacundá)	9569322	563462		PT	Tb	60,00			3,50		
83	Poço chaf.publico (Jacundá)	9569415	563488		PT	Tb	50,00			5,00		
84	Chaf.Mun.Vic.Fernandes (Jac.)	9569514	565060		PT	Tb	50,00			2,80		
85	Sítio Sinval Rolim (Jacundá)	9569673	565922		PT	Tb	80,00			4,50		
86	Sítio Sinval Rolim (Jacundá)	9569540	565895	Abr/97	PT	Tb	60,00	5,00	26,00	3,20	21,0	0,15
87	Rua dos Palmar.(Sed.Aquiraz)	9568514	567259		PE	Tb	2,00					
88	Sítio Paulo Cesar (Ce-040)	9569200	565966		PT	Tb	60					
89	Sítio Meu Pedaco (Jacundá)	9569316	565891		PE	Tb	9,00					
90	Sítio Bodegão (Jacundá)	9569255	565504		PT	Tb	60,00			2,00		
91	Trairussu ( próx.lagoa Encant.)	9562804	579152		PT	Tb	17,00					
92	Genip-Canindé ( próx.lag.Enc.)	9561090	579718		PT	Tb	65,00					
93	Terminal Rodoviário Aquiraz	9568388	567892		PT	Tb	33,00	7,95	20,88	0,51	12,93	0,04
94	Cond. Aq. Ville - 1(P.Dunas)	9575791	566617		PT	Qpd	10,00	6,00		3,00		
95	Beach Park(P. Dunas)	9574978	567657		PT	Qpd	9,00	6,00				
96	Terrance Anderson(P.dunas)	9574239	567280		PE	Qpd	8,00					
97	Poço próx. ao açude do Catu	9566595	571237		PE	TQb	13,10					
98	Fonte Iguape	9564222	577235		FONTE	Qpd						
99	Cond.Melville (P.Dunas)	9575935	566267		PT	Qpd	70,00	29,00	39,00	2,08	10,0	0,20
100	P. Alemão (P.Dunas)	9573572	567225		PT	Qpd	96,00					
101	Cond.Mariúba (Porto Dunas)	9576054	566078		PT	Qpd	84,00					
102	Prainha (rua da igreja) (D.Rita)	9568560	572433		PT	Qpd	45,00	8,00	26,00	2,00	18,0	0,11
103	Fonte-1(Prainha)	"	"		FONTE	Qpd						
104	Prainha	9568590	572472	Jul/84	PT	Qpd	45,00	11,00	34,00	1,40		

OBS: PT = poço tubular; PE = poço escavado; Qpd = paleodunas(Quaternário); Tb = Formação Barreiras(Terciário); Qa = aluvião; S' = Rebaixamento; q' = vazão específica.

**Tabela 1 – Inventário dos pontos de água subterrânea da região costeira de Aquiraz-CE**

Nº do Ponto	LOCALIDADES	COORDENADAS		DATA	Natureza do ponto	Aquífero	PROF.(m)	N.E.(m)	N.D.(m)	VAZÃO (m³/h)	S' (m)	q' (m³/h/m)
105	Poço próx. ao açude do Catu	9565674	570157	Mai/80	PE	Qpd	10,80	3,26	3,67	3,20	0,41	7,80
106	Poço próx. ao açude do Catu	9566595	571237	Fev/80	PE	Tb	13,00	2,77	5,25	11,00	2,48	4,40
107	Poço próx. ao açude do Catu	9566288	570774	Abr/80	PE	Tb	7,50	1,66	1,80	3,60	0,14	25,7
108	Poço próx. ao açude do Catu	9565827	570466	Abr/80	PE	Tb	9,10	3,18	3,48	3,60	0,3	12,0
109	Prainha	9568283	572310		PT	Qpd	48,00	8,00	25,00	4,80	17,0	0,28
110	Fonte-2(Prainha)	9570315	570676	Mai/98	FONTE	Qpd						
111	Rest. Leôncio (Prainha)	9568667	572469		PE	Qpd	8,00			1,50		
112	Barraca da Praia (Prainha)	9568865	572488		PE	Qpd	4,00			3,00		
113	Prainha (Samburá Araçonga)	9568220	572447		PT	Qpd	52,00			1,20		
114	Hotel Escola Prainha	9568187	572365		PT	Qpd	45,00			3,00		
115	Hotel SPA New Life (Prainha)	9568187	572365		PT	Qpd	60,00			1,50		
116	Barraca do Tadeu (P.Dunas)	9573402	568880		PT	Qpd	12,00	4,78	5,06	5,54	0,28	19,80
117	Sítio Curralinho	9564338	575008		PT	Qpd	54,00					
118	Hotel Jangadeiro (Presídio)	9564984	576843		PE	Qpd	6,00			3,00		
119	Rua Cel. Osv.(Pedro Jorge)	9563980	578896		PE	Qpd	7,00	4,50		3,50		
120	Ives Dias Bco.(Iguape)	9563653	579793	1990	PT	Qpd	60,00					
121	Alto Iguape (Maria Olívia)	9563335	577790		PT	Qpd	50,00	7,00	32,00	3,00		
122	Sítio Mãe Maria (Iguape)	9563350	577811		PT	Qpd	30,00					
123	Pousada do Coronel (Prainha)	9568344	572418		PT	Qpd	36,00	15,48	16,62	0,49	1,14	0,43
124	José Rodrigues -Iguape	9564666	577654	Fev/96	PT	Qpd	36,00	3,00	9,00	4,00	6,0	0,66
125	Fco.Isidoro - Iguape	9564658	577645	Fev/96	PT	Qpd	39,00	3,00	12,00	3,00	9,0	0,33
126	Elias Lima - Iguape	9564655	577638	Mar/96	PT	Qpd	37,00	3,00	7,00	4,50	4,0	1,12
127	Oto Leal - Iguape	9564520	577893		PT	Qpd	34,00	4,00	9,00	6,00	5,0	1,20
128	Chaf. Tapera (Canoa)	9564227	570674		PT	Tb						
129	Lab.ENDOMED (Poço 4)	9569815	563014	Mar/95	PT	Tb	55,00	4,50	26,30	1,94	21,8	0,08
130	poço - 5	9569949	563066	Mar/95	PT	Tb	51,00	1,50	20,00	4,50		

OBS: PT = poço tubular; PE = poço escavado; Qpd = paleodunas(Quaternário); Tb = Formação Barreiras(Terciário); Qa = aluvião; S' = Rebaixamento; q' = vazão específica.

**Tabela 1 – Inventário dos pontos de água subterrânea da região costeira de Aquiraz-CE**

Nº do Ponto	LOCALIDADES	COORDENADAS		DATA	Natureza do ponto	Aquífero	PROF.(m)	N.E.(m)	N.D.(m)	VAZÃO (m³/h)	S' (m)	q' (m³/h/m)
131	ENDOMED poço-6	9569885	563024	Jan/97	PT	Tb	60,00	11,50	39,00	0,70	27,5	0,02
132	ENDOMED poço - 7	9569567	563705	Ago/97	PT	Tb	60,00	13,00	40,00	2,00	27,0	0,07
133	Favela Pantanal	9570683	564486	Mai/97	PT	Tb	33,00	4,80	25,30	2,20	20,5	0,10
134	Jacundá	9570038	563930	1997	PT	Tb	40,00	7,30	45,80	3,30	38,5	0,08
135	Sítio Mamoeiral (J.Demontier)	9566503	569294	Jul/98	PT	Tb	60,00	4,50	36,00	2,70	31,5	0,08
136	Cid Marconi (P. das Dunas)	9575568	567289	Jan/93	PT	Qpd	45,00	6,00	8,00	8,40	2,0	4,20
137	Prainha (Nivardo da Silva)	9568242	572533		PT	Qpd	72,00	23,00	36,00	3,00	13,0	0,23
138	Const.Baquit (P. das Dunas)	9573807	568342	Nov/93	PT	Qpd	40,00	2,50	11,00	5,00	8,5	0,58
139	Comund. Patacas (P-1; FNS)	9568270	572521	Jul/98	PT	Tb	44,00	14,40	29,10	4,00	14,7	0,27
140	Com. Patacas (P-2; FNS)	9559561	571790	Jul/98	PT	TQb	76,00	15,10	41,00	2,50	25,9	0,09
141	Férias (ASSEFAZ) P. Dunas	9573398	568835	05/09/1991	PT	Qpd	40,00	2,00	10,00	8,00	8,0	1,00
142	Régis A Miranda (P.Dunas)	9574503	566640	23/05/1997	PT	Qpd	54,00	28,00	32,00	2,00	4,0	0,50
143	Ant. F. Rodrigues (Tapera)	9564005	571753	03/03/1999	PT	Tb	59,00	19,00	36,00	0,90	17,0	0,05
144	M. Líbano Imob.(P. Dunas)	9575801	567031	05/03/1999	PT	Qpd	14,00	2,50	4,50	24,80	2,0	12,40
145	Água Ville - 2 (P.Dunas)	9576051	566719	Fev/99	PT	Qpd	6,00	2,00				
146	José Façanha (sede mun.)	9568757	568349		PE	Tb	23,00			2,00		
147	José N. Ferreira (Pon)- Prainha	9568539	572316	Mar/99	PE	Qpd	12,00	8,00				
148	Creche M. Jesus - Tapera	9563914	571462	05/02/1997	PT	Tb	60,00	8,00	29,00	2,4	21,00	0,38
149	Sr. Aquilino (Porto das Dunas)	9575721	566537		PT	Qpd	51,00	8,00	35,00	6,00	27,00	0,22
150	Res.Regina Cardoso (Prainha)	9568811	572340	Mar/99	PT	Qpd	23,50	1,26	3,35	3	2,09	0,95
151	Canoa (Restaurante o Átila)	9565122	570434	08/05/1999	PT	Tb	19,00	2,77	11,99	1,53	9,22	0,17
152	Dr. Eivaldo (Machuca)	9568773	572410		PT	Tb	48,00	2,7	45,95	0,38	43,25	0,009
153	P. Dunas (próx. ao Beach Park)	9575010	567270		PT	Qpd	8,00	2,5				

OBS: PT = poço tubular; PE = poço escavado; Qpd = paleodunas(Quaternário); Tb = Formação Barreiras(Terciário); Qa = aluvião; S' = Rebaixamento; q' = vazão específica.

**Tabela 2 – Dados físico-químicos encontrados nas amostras dos sistemas aquíferos dunas/paleodunas e Barreira**

Nº do ponto	Data da Coleta	Temp. °C	Turbidez uT	pH	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	k <sup>+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	Fe (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	CO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)	durez.T (mg/l)	STD (mg/l)	Condut. Elet. (mS/cm)
143B	16/03/1999	31,0	15,0	4,80	18	12	10,5	40	3,66	52	2,03	54	0	29,9	0,64	95	198	380
49B	16/03/1999	30,0	0,7	6,79	2	4,1	2,4	12,1	0,21	18	2,55	9	0	6,55	aus.	22	56	107
86B	27/04/1999	31,0	10,0	6,47	4,4	6,72	3,1	18,3	0,49	47	3,51	22	0	0,5	aus.	39	107	206
36B	27/04/1999	31,0	0,6	5,67	18	8,4	3,4	9,2	0,07	11	9,06	58	0	0,5	0,06	80	104	199
146B	27/04/1999	30,0	2,5	6,53	11,2	0,03	6,6	48	0,09	76	2,72	46	0	11,3	0,03	50	208	400
54B	16/03/1999	31,0	0,7	6,60	3,6	2,9	5,9	91,7	0,2	54	48,19	56	0	3,22	0,23	21	173	332
139B	16/03/1999	31,5	0,5	6,99	4,4	7,2	8,3	91,5	0,3	60	68,41	119	0	5,21	0,21	41	201	386
16B	16/03/1999	28,0	3,7	6,20	2,4	5	3,1	30	1,28	18	17	53	0	2,2	aus.	27	106	204
18B	24/03/1999	-	0,5	6,96	22,8	14,6	11,1	29	0,15	63	9,03	50	0	20,56	0,47	118	221	425
121B	24/03/1999	30,5	17,0	5,51	7,6	17,3	2,7	6,8	2,96	33	3,14	49	0	9,3	0,89	59	101	195
65B	24/03/1999	-	0,5	6,97	1,6	11	5	32	0,28	40	18,78	13	0	15,43	0,05	50	143	275
35B	24/03/1999	-	23,0	7,00	1,2	5	3,4	25,4	0,74	23	14,29	32	0	6,36	0,21	24	102	197
29B	-	33,0	-	7,69	5,2	7,68	7,3	69,1	-	74	46,11	54	-	2,94	-	-	255	507
145D	29/04/1999	30,6	14,0	5,42	8	12	2,4	10,3	1,06	28	30,6	30	0	1,58	0,38	70	111	213
27D	27/04/1999	29,5	2,1	5,38	6,4	8,88	2,7	4	0,19	9	5,36	52	0	1,5	aus.	53	69	132
147D	27/04/1999	30,0	1,9	6,50	21,6	23,76	6,8	31	0,13	66	1,65	56	0	24,5	0,15	153	272	524
142D	27/04/1999	30,0	0,2	6,14	8,4	5,52	2,4	7,6	0,06	15	4,07	22	0	1,26	aus.	44	69	133
30D	27/04/1999	31,5	2,0	6,23	2,4	4,8	2,4	8,8	0,15	15	4,03	27	0	0,76	aus.	26	104	200
136D	27/04/1999	32,0	0,3	6,68	5,6	4,32	2,4	6,8	0,06	16	14,9	15	0	0,67	0,08	32	60	116
113D	24/03/1999	32,0	0,8	5,86	26	32,4	14,2	87,5	0,3	235	15,71	29	0	25,67	2,97	200	545	1.049
98D	16/03/1999	28,5	0,4	5,15	2	4,3	2,4	13,1	0,14	25	2,76	12	0	3,66	aus.	23	71	136
26D	16/03/1999	31,1	0,9	5,61	5,2	3,6	23,9	57	0,3	84	12,25	32	0	3,88	aus.	28	204	393
124D	22/07/1999	30,5	-	4,35	17,2	37,7	27,3	409,5	0,14	745	116,1	100	0	0,82	0,07	200	1.381	2.657
144D	01/06/1999	-	2,4	7,71	17,2	12,48	3,1	20,8	1,86	46	14,7	67	0	1,91	0,15	95	165	317
123D	-	28,8	-	7,15	6	1,66	4,2	29	-	36	12	10	-	10	-	-	110	175
141D	-	30,5	-	7	5,2	2,4	2,4	16,2	-	22	30	8	-	0,25	-	-	308	160
94D	03/03/1999	30,6	1,0	5,72	1,6	28,9	-	-	0,01	16,5	-	9,8	-	aus.	-	36	83,4	-

Obs: Análises realizadas pela CAGECE; Legenda : D – dunas; B – barreiras; STD = Sais Totais Dissolvidos



**Tabela 3<sup>a</sup>** – Dados iônicos dos principais elementos analisados sobre o sistema aquífero dunas/paleodunas, envolvendo unidades químicas e porcentagens

Nº do ponto	Ca <sup>++</sup>			Mg <sup>++</sup>			k <sup>+</sup>			Na <sup>+</sup>			Cl <sup>-</sup>			SO <sub>4</sub>			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%
143B	18	0,89	22,9	12	0,98	25,32	10,5	0,26	6,70	40	1,74	44,90	52	1,46	61,34	2,03	0,04	1,68	54	0,88	36,97
49B	2	0,09	9,00	4,1	0,33	33,00	2,4	0,06	6,00	12,1	0,52	52,00	18	0,50	72,46	2,55	0,05	7,24	9	0,14	20,28
86B	4,4	0,22	13,33	6,72	0,55	33,33	3,1	0,08	4,84	18,3	0,80	48,50	47	1,30	75,14	3,51	0,07	4,04	22	0,36	20,8
36B	18	0,90	43,26	8,4	0,70	33,65	3,4	0,08	3,84	9,2	0,40	19,23	11	0,30	20,97	9,06	0,18	12,58	58	0,95	66,43
146B	11,2	0,54	19,42	0,03	0,002	0,07	6,6	0,16	5,75	48	2,08	74,82	76	2,14	62,02	2,72	0,56	16,23	46	0,75	21,73
54B	3,6	0,17	3,75	2,9	0,23	5,07	5,9	0,15	3,31	91,7	3,98	87,85	54	1,54	44,63	48,19	1,00	28,98	56	0,91	26,37
139B	4,4	0,22	4,40	7,2	0,59	11,8	8,3	0,21	4,20	91,5	3,98	79,60	60	1,70	33,53	68,41	1,42	28,00	119	1,95	38,46
16B	2,4	0,11	5,80	5	0,41	21,57	3,1	0,08	4,21	30	1,30	68,42	18	0,50	29,24	17	0,35	20,46	53	0,86	50,29
18B	22,8	1,13	29,19	14,6	1,20	31,00	11,1	0,28	7,23	29	1,26	32,55	63	1,77	47,07	9,03	1,18	31,38	50	0,81	21,54
121B	7,6	0,38	13,67	17,3	1,42	51,07	2,7	0,69	24,82	6,8	0,29	10,43	33	0,93	51,95	3,14	0,06	3,35	49	0,80	44,70
65B	1,6	0,07	2,80	11	0,90	36,00	5	0,13	5,20	32	1,40	56,00	40	1,12	65,11	18,78	0,39	22,67	13	0,21	12,20
35B	1,2	0,06	3,63	5	0,41	24,84	3,4	0,08	4,84	25,4	1,10	66,66	23	0,64	44,13	14,29	0,29	20,00	32	0,52	35,86
29B	5,2	0,25	6,15	7,68	0,63	15,51	7,3	0,18	4,43	69,1	3,00	73,90	74	2,08	53,06	46,11	0,96	24,48	54	0,88	22,44

**Tabela 3b** – Dados iônicos dos principais elementos analisados do sistema aquífero Barreiras, envolvendo as unidades químicas e porcentagens

Nº do ponto	Ca <sup>++</sup>			Mg <sup>++</sup>			k <sup>+</sup>			Na <sup>+</sup>			Cl			SO <sub>4</sub>			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%	mg/l	meq/l	%
145D	8	0,40	21,27	12	0,98	52,10	2,4	0,06	3,24	10,3	0,44	23,40	28	0,79	41,14	30,6	0,63	32,8	30	0,50	26,04
27D	6,4	0,32	24,8	8,88	0,73	56,58	2,7	0,07	5,42	4	0,17	13,2	9	0,25	20,66	5,36	0,11	9,09	52	0,85	70,24
147D	21,6	1,00	22,42	23,8	1,95	43,72	6,8	0,17	3,81	31	1,34	30,00	66	1,86	66,42	1,65	0,03	1,07	56	0,91	32,50
142D	8,4	0,41	33,88	5,52	0,45	37,19	2,4	0,02	1,65	7,6	0,33	27,27	15	0,42	48,83	4,07	0,08	9,30	22	0,36	41,86
30D	2,4	0,12	13,18	4,8	0,39	42,85	2,4	0,02	2,19	8,8	0,38	41,8	15	0,42	44,68	4,03	0,08	8,51	27	0,44	46,80
136D	5,6	0,28	29,78	4,32	0,35	37,23	2,4	0,02	2,12	6,8	0,29	30,85	16	0,45	45,00	14,9	0,31	31,00	15	0,24	24,00
113D	26	1,29	15,90	32,4	2,66	32,80	14,2	0,36	4,43	87,5	3,80	46,9	235	6,62	88,97	15,71	0,32	4,30	29	0,50	6,72
98D	2	0,10	9,34	4,3	0,35	32,71	2,4	0,06	5,60	13,1	0,56	52,3	25	0,70	73,68	2,76	0,05	5,26	12	0,20	21,05
26D	5,2	0,25	6,86	3,6	0,30	8,24	23,9	0,61	16,75	57	2,48	68,1	84	2,36	75,40	12,25	0,25	7,98	32	0,52	16,21
124D	17,2	0,85	3,78	37,7	3,10	13,79	27,3	0,69	3,07	410	17,83	79,4	745	21,00	83,86	116,1	2,41	9,62	100	1,63	6,50
144D	17,2	0,85	23,87	12,5	1,02	28,65	3,1	0,79	22,19	20,8	0,90	25,28	46	1,30	48,14	14,7	0,30	11,1	67	1,10	40,74
123D	6	0,29	16,29	1,66	0,13	7,30	4,2	0,10	5,61	29	1,26	70,8	36	1,00	70,92	12	0,25	17,7	10	0,16	11,34
141D	5,2	0,25	20,83	2,4	0,19	15,83	2,4	0,06	5,00	16,2	0,70	58,3	22	0,62	45,25	30	0,62	45,3	8	0,13	9,48

**ANEXO II - Base Cartográfica dos Pontos de Água dos Sistemas  
Aquíferos**

