

## AQUÍFERO COSTEIRO NA REGIÃO DE PARACURU - CEARÁ

*Itabaraci Nazareno Cavalcante<sup>1</sup>; Nilton Barros da Costa<sup>2</sup>; Maria da Conceição Rabelo Gomes<sup>3</sup>;  
João Thiago Viana Maia<sup>4</sup>; Luís Carlos Bastos Freitas<sup>3</sup> & Ediu Carlos Lopes Lemos<sup>5</sup>*

**RESUMO** - Este trabalho tem como objetivo apresentar o aquífero costeiro de Paracuru-Ceará, com detalhamento em uma área de 52,5 km<sup>2</sup> inserida nos cordões de dunas de uma localidade denominada Sítio Freixeiras. Com base no conhecimento da área pesquisada e de posse de sua planta planialtimétrica, foram localizados e executados dezenove (19) furos de sondagens à percussão em 2", cobrindo de maneira bastante representativa a área Piloto do Sítio Freixeiras. Foram calculadas as Reservas Permanentes e Renováveis, a Potenciabilidade e as Disponibilidades Virtual, Efetiva e Atual, sendo a Reserva Permanente de 6,4x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>; a Reserva Renovável da área do Sítio Freixeiras, 8,26x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano; a Potencialidade da área de 33,86 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano; a Reserva Explorável (Re) ou Disponibilidade Virtual (Dv) de 27,08x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano; a Disponibilidade Efetiva Instalada-Dei de 1,75x10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/ano ou 480 m<sup>3</sup>/dia e a Disponibilidade Efetiva Atual-Dea de 1,0x10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/ano.

**ABSTRACT** - This work has as objective presents the study hydrogeologic of a Coast of Paracuru – Ceará. It is an area of 52.5 km<sup>2</sup>, inserted in the strings of dunes of a place denominated Sítio Freixeiras. With base in the recognition of the researched area and of ownership of the plant planimetric, they were located and executed nineteen (19) holes of Surveys to the percussão in 2", covering in a quite representative way Sítio Freixeiras's Pilot Area, enough for sample the litology of the underground. The estimates of the Permanent and Renewable Reservations, the Potentiality and the Virtual Readness were made calculations, it Executes and Current. Being the permanent Reservation of the study area, 6.4 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> of water; the Renewable Reservation of Sítio Freixeiras's area, 8.26 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year; the Potentiality of the area, 33.86 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year; the Exploitable Reservation (Reserve) or Virtual Readness, (DV) 27.08 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year; the Readness Executes Installed. I Gave, 1.75 x 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/year or 480 m<sup>3</sup>/day and the Readness Execute Current. Dea, 1.0 x 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/year.

Palavras Chave: Hidrogeologia, Paracuru, Aquífero Costeiro

<sup>1</sup> Prof. Dr. Adjunto do Departamento de Geologia/UFC. Av. Humberto Monte, s/n, Pici. Fortaleza/CE. e-mail: ita@fortalnet.com.br

<sup>2</sup> Graduado em Geologia/UFC. Av. Humberto Monte, s/n, Pici. Fortaleza/CE.

<sup>3</sup> Mestrando em Geologia - DEGEO/UFC. Rua Alcides Gerardo 71. Conjunto Palmeiras. Fortaleza/CE e-mail: conceicaoabelo@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Graduando em Geologia - DEGEO/UFC. Rua Monte Serrat 131. Maraponga. Fortaleza/CE e-mail: viana\_thiago@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Mestrando do Departamento de geologia/UFPE. e-mail: ediuCarlos@yahoo.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas constituem um dos pontos estudados quando da implantação de projetos populacionais, industriais ou de irrigação. Na faixa costeira do Ceará é comum se observar projetos e/ou comunidades totalmente abastecidas por poços, sejam eles rasos (Profundidade inferior a 20,0m) ou profundos (Profundidade superior a 50,0m), captando água subterrânea de boa qualidade físico-química para atender demandas diversas.

O desenvolvimento de uma região acarreta um aumento de consumo de água, seja pela elevação do nível de vida, seja pelo surgimento de novas solicitações, a exemplo de irrigação, indústrias, turismo, entre outras, podendo ocorrer o fato de que o referido recurso, que se apresentava satisfatório nas condições iniciais, passe a ser insuficiente para atender às novas demandas normalmente crescentes (CAVALCANTE & FRANGIPINI, 2000).

O aproveitamento do Aquífero Dunas na região costeira do Ceará para abastecimento de pequenas e médias comunidades decorre do pequeno investimento para a construção de poços tubulares rasos e boa qualidade da água, associando-se, ainda, a falta de recurso hídrico superficial capaz de proporcionar soluções permanentes e de baixo custo para abastecimento urbano.

Os conhecimentos hidrogeológicos disponíveis atualmente sobre esse aquífero a partir de estudos já realizados, particularmente pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE, demonstram que a captação de água das dunas é perfeitamente possível e economicamente viável, de acordo com os resultados obtidos pela CAGECE (CAMPOS & MENESES, 1982).

As regiões costeiras são zonas submetidas a uma crescente urbanização e um grande potencial turístico e que apresentam um gradativo aumento no consumo de água. Deste modo, os estudos hidrogeológicos de aquíferos costeiros assumem grande importância.

O trabalho ora proposto entende que o estudo de aquífero em regiões costeiras é de suma importância para o entendimento do comportamento hidrogeológico para servir de orientação à implantação de comunidades costeiras, projetos agrícolas, industriais, empreendimentos turísticos e, principalmente, para o direcionamento do uso racional destas águas.

## 2. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área estudada situa-se no litoral do nordeste brasileiro, no município de Paracuru, Ceará, englobando a sede municipal e as terras do sítio Freixeiras, situada entre os meridianos 38° 55' 40" W e 39° 00' 00" W e os paralelos 3° 24' 08" S e 3° 27' 24" S, com  $52,5 \times 10^6 \text{ m}^2$ , tendo o seu lado Norte banhado pelo Oceano Atlântico, com cerca de 6 km de faixa de praia, e ao Sul em contato

com 9 km de dunas móveis e fixas. Paracuru situa-se ao norte do Ceará limitando-se com os municípios de Paraipaba, São Gonçalo do Amarante e com o oceano Atlântico, localizado nas cartas topográficas Paracuru (AS.24-Y-D-III), Lagoa São Pedro (AS.24-Z-C-I), São Luís do Curu (AS.24-Y-D-VI) e Fortaleza (AS.24-Z-C-IV).

A sede do município dista 90 km de Fortaleza e o acesso pode ser feito pelas rodovias BR-222 ou CE-085 (Rodovia estruturante Sol Poente), e depois se percorrendo a CE-341 até a cidade de Paracuru. A área do Sítio Freixeirinhas pode ser atingida através da estrada que liga a sede do município ao terminal da PETROBRÁS e ao distrito de São Pedro, fazendo um percurso de 5 km em torno da área.

### **3. OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo principal o estudo hidrogeológico quantitativo, além de fazer uma avaliação das obras de captação de água subterrânea.

Especificamente se realizou:

- ✓ A caracterização hidrogeológica;
- ✓ Avaliação e definição do potencial das reservas de água subterrânea com relação à viabilidade e sustentabilidade hídrica;
- ✓ Definição de áreas de proteção e recarga;

### **4. METODOLOGIA DE TRABALHO**

A metodologia de trabalho adotada procurou seguir uma seqüência de etapas descritas a seguir.

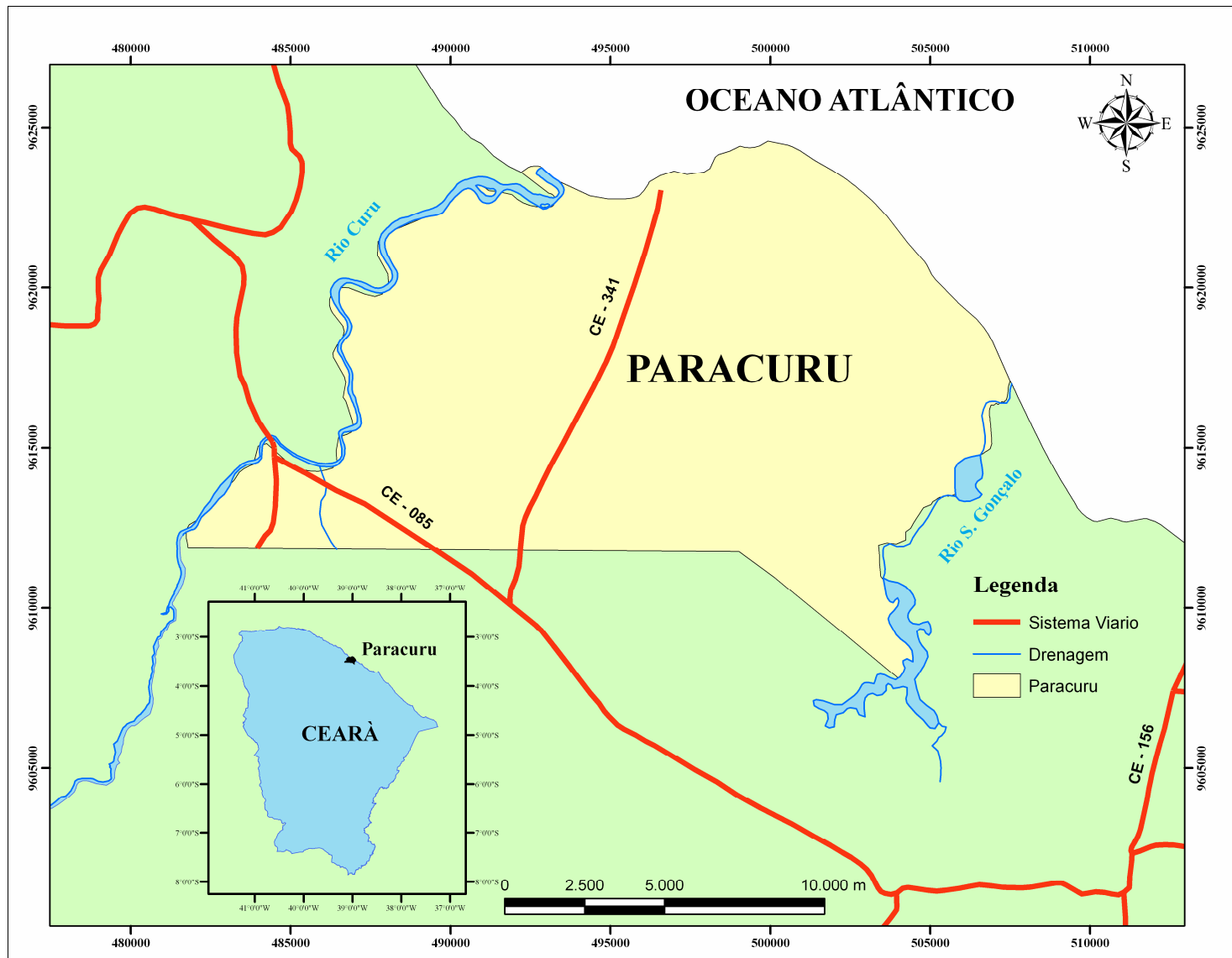


Figura 1- Localização de Paracuru, Ceará

#### **4.1. Levantamento de Informações Básicas**

Nessa etapa foi realizado um levantamento bibliográfico, com um acervo de relatórios técnicos, publicações técnicas, monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Conseqüentemente, foram adquiridos mapas geológicos e hidrogeológicos, elaborados em oportunidades anteriores. Foi feito um levantamento sobre a localização e situação dos poços tubulares existentes na região.

#### **4.2. Trabalhos de Gabinete**

Nessa etapa a principal meta foi a elaboração dos mapas Geológico, de Correlação Litológica de Sub-superfície e de Poços nas escalas 1: 10.000 e 1: 5.000, utilizando-se mapas catalogados anteriormente e perfis de sondagens a percussão e poços tubulares realizadas no Sítio Flexeiras.

#### **4.3. Tratamento de Dados**

As informações obtidas na primeira etapa e conferidas no campo receberam um tratamento mais acurado no que diz respeito aos dados cadastrais dos poços, perfis de sondagens a percussão.

#### **4.4. Interpretação Fotogeológica**

Interpretação de fotografias aéreas e plantas plani-altimétricas e geológicas em escala compatível com o projeto, dando destaque para os elementos geológicos. Foram também consultadas cartas da SUDENE da região na escala 1:100.000, mapas atualizados do Estado, indicando o posicionamento das estradas, drenagens superficiais e dinâmica costeira do município.

#### **4.5. Etapas de Campo**

O trabalho em campo foi realizado dentro dos limites da área e teve como principais objetivos o mapeamento das unidades hidrogeológicas estabelecidas nos mapas anteriores, assim como um levantamento e caracterização dos poços cadastrados.

Para o reconhecimento geológico e hidrogeológico, foram realizados vários perfis na área a fim de melhor estabelecer possíveis relações de contato geológico e posicionamento em relação ao contexto regional.

#### **4.6. Definição da Área Piloto**

As evidências de campo indicam um potencial subterrâneo associado ao Aquífero Dunas. Assim, para o trabalho proposto, foi realizada a delimitação de uma área piloto para o estudo das

águas subterrâneas (Área Sítio Flexeiras) através de sondagens mecânicas e poços tubulares rasos, como suporte a implantação de atividades hoteleiras que necessitem da água como insumo básico.

## 5. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

As reservas exploráveis no município de Paracuru são estimadas em 21,5 milhões de m<sup>3</sup>/ano, consideradas as informações de 72 poços tubulares cadastrados no Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH (CEARÁ, 1992). A profundidade dos poços varia de 10,0 a 76,0 metros, com vazão máxima de 6,0 m<sup>3</sup>/h.

Em nível regional observa-se a existência de quatro (04) sistemas aquíferos: Cristalino, Barreiras, Dunas/Paleodunas e Aluviões.

O Meio Cristalino, também chamado de “aquífero fissural”, na área de estudo não se encontra aflorando. Como basicamente a porosidade primária nesse meio é a inexistente, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas, o que se traduz em reservatórios aleatórios e descontínuos. As vazões produzidas por este meio hidrogeológico são pequenas, em média 2m<sup>3</sup>/h. Essa condição contribui para um baixo potencial hidrogeológico para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (CAVALCANTE, 1998). A recarga deste sistema se faz pela transferência de águas infiltradas nas Dunas/Paleodunas e Barreiras, enquanto como exutórios têm-se a exploração de poços, em nível regional, captando aquíferos mistos (Barreiras/Cristalino). Não existem informações dos poços construídos neste contexto na área de estudo.

O domínio representado pelo Barreiras caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica, com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos variáveis de acordo com o contexto local, que induzem potencialidades diferenciadas quanto a produtividade de água subterrânea. Essa situação confere localmente ao Barreiras características de um aquífero, não tendo na área uma expressividade maior como aquífero.

O Aquífero Dunas/Paleodunas é um aquífero livre constituído por areias que repousam diretamente sobre os clásticos Barreiras, normalmente pouco permeáveis. Os depósitos eólicos distribuem-se paralelamente à linha de costa e caracterizam-se pela morfologia ondulada, típica desses depósitos, ocorrendo principalmente em cordões constituem uma barreira natural à drenagem superficial proporcionando a formação de lagoas perenes.

No domínio das dunas recentes, por conta da altíssima capacidade de infiltração potencial, a drenagem superficial é endorreica e inexistente nas dunas móveis.

A associação dunas (paleodunas e dunas recentes) e terraços marinhos holocênicos representam, em função de sua natureza e características sedimentológicas, o conjunto de melhor vocação hidrogeológica produzindo vazões da ordem de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h constituindo, assim, o melhor sistema aquífero local.

As manchas aluvionares são representadas por sedimentos areno-argilosos recentes que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativamente alta do ponto de vista hidrogeológico. Normalmente a alta permeabilidade dos terrenos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas, porém não existem dados referentes a poços e/ou sondagens na área estudada. Normalmente as faixas aluvionares são captadas por cacimbas de 1,20m de diâmetro, profundidades inferiores a 5,0 metros e a água é retirada com auxílio de baldes /cordas.

Na Área Piloto-Sítio Freixeiras, o Aquífero Dunas é constituído por uma seqüência superior com litótipos arenosos inconsolidados. É do tipo costeiro, freático, apresentando nível estático aflorante ou sub-aflorante. Sua potencialidade está na maior parte associada aos aportes pluviométricos sazonais e ao potencial subterrâneo de micro-bacias daquela região. O contato basal é brusco e pode ter profundidades variando de 8,0 até cerca de 23,0 metros, fazendo com que a espessura do Aquífero Dunas na área estudada varie entre 6,0 e 22,0 metros, tendo as maiores espessuras nas partes centrais e sul da mesma. A espessura média deste aquífero na área estudada é de 13,0 metros.

Na planta geral da área é notada a inclinação da superfície potenciométrica, com gradiente hidráulico médio de  $6,4 \times 10^{-3}$ , no sentido sul-norte. Isto ocasiona um fluxo natural das águas do Aquífero Dunas através do subsolo formando as lagoas intermitentes e/ou em direção ao Oceano Atlântico.

Localmente, nas áreas de afloramento desta superfície, observa-se sempre forte oxidação nos terrenos arenosos, provocados pela exposição do ferro da água ao ar.

A alimentação desse sistema aquífero provém essencialmente de infiltração pluvial. O escoamento das águas subterrâneas se dá principalmente para as lagoas geralmente localizadas em depressões interdunares, e pequenas fontes difusas ao longo da costa. Contudo, as maiores perdas d'água do aquífero são ocasionadas pela evapotranspiração, em função da pequena profundidade das águas subterrâneas (em torno de 1,0 a 2,0 metros), da reduzida espessura do pacote clástico e do grande número de lagoas.

O levantamento realizado no município de Paracuru registrou a presença de 51 poços tubulares profundos, dos quais 17 são públicos e 34 particulares (CPRM/REFO, 1999). Com relação a distribuição desses poços por domínio hidrogeológico, verifica-se que existem 2 no meio fissural e 49 poços no domínio da Formação Barreiras (Figura 2).

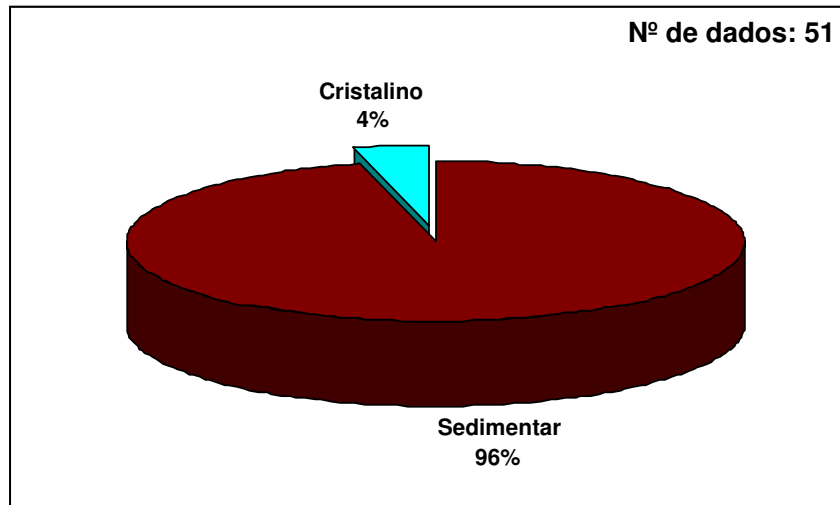


Figura 2 – Distribuição dos poços por domínio hidrogeológico em Paracuru, Ceará

## 6. ASPECTOS QUANTITATIVOS

Para o município de Paracuru foi considerado nos cálculos apenas o domínio dos sedimentos Barreiras, que abrangem 96% das captações de água subterrânea por poços tubulares. Segundo a diretriz proposta, foi considerada para esse domínio uma vazão média de 3,8 m<sup>3</sup>/h, com base na análise estatística das informações de 177 poços tubulares obtidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (CEARÁ, 1992).

Considerando 30 poços tubulares em uso localizados na Formação Barreiras, pode-se inferir uma produção atual da ordem de 114 m<sup>3</sup>/h de água para o município de Paracuru, sendo que 19 m<sup>3</sup>/h são devidos aos poços públicos e 95m<sup>3</sup>/h a poços privados. Caso seja implantada uma política de recuperação e/ou instalação de poços que atualmente não estão em uso, estima-se que seria possível atingir um aumento na ordem de 42,2% (49,4 m<sup>3</sup>/h) em relação à atual oferta de água subterrânea. Considerando-se somente os poços de domínio público, o aumento estimado seria de 16,6% (19m<sup>3</sup>/h) (CPRM/REFO, 1999).

### 6.1 Reservas Hídricas Subterrâneas



Vários parâmetros influenciaram no cálculo de reservas subterrâneas, tais como precipitação pluviométrica, tipo de aquífero, características dimensionais e hidrodinâmicas do aquífero.

É recomendável que o planejamento dos sistemas aquíferos considere os potenciais de renovabilidade, a integração com meio hidro-ambiental, a capacidade de regeneração das águas servidas que retornam ao manancial em apreço e, principalmente, o limite de intervenção humana que não deve ultrapassar o aceitável pelas condições inerentes ao meio local (CAVALCANTE, 1990).

Os volumes hídricos armazenados nos sistemas aquíferos representam as reservas e podem ser avaliadas segundo um ponto de vista natural ou utilitário, classificadas como reservas renováveis (Rr), permanentes (Rp) e totais (Rt). Sob uma análise integrada, a classificação de reservas permanentes (não renováveis) não encontra respaldo, pois se sabe que a água subterrânea não está desconectada do ciclo hidrológico, participando efetivamente a medida em que existe recarga e descarga.

Para cálculos dos parâmetros hidrodinâmicos, os resultados dos testes de aquífero foram interpretados a luz da Teoria de Neuman (1975), onde a equação desenvolvida representa o rebaixamento do nível dinâmico do poço em um aquífero freático com drenagem retardada e é dada por:

$$S = (Q/4\pi T) W(uA, uB, \beta) \quad (1)$$

Onde:  $W(uA, uB, \beta)$  é conhecida como função do poço.

$$uA = r^2 S / 4Tt \quad (\text{Curva tipo A para drenagem rápida})$$

$$uB = r^2 Sy / 4Tt \quad (\text{Curva tipo B para drenagem lenta})$$

$$\beta = r^2 K_v / D^2 K_h$$

O valor da condutividade hidráulica horizontal –  $K_h$  pode ser determinado pela fórmula:

$$K_h = T / h_o \quad (2)$$

Onde “ $h_o$ ” é a espessura saturada do aquífero livre. O valor da condutividade hidráulica vertical pode ser determinada pela fórmula:

$$K_v = \beta D^2 k_h / r^2 \quad (3)$$

Para a avaliação quantitativa do potencial hídrico subterrâneo da área estudada, lançou-se mão das terminologias e metodologias de cálculos proposta por Costa (1998), as quais levam em consideração o tipo de aquífero e os resultados obtidos com os testes de aquíferos com piezômetros. A quantificação foi direcionada essencialmente ao potencial do Aquífero Dunas por ser o mais significativo da área. Foram calculadas as Reservas Permanentes e Renováveis, a Potencialidade e as Disponibilidades Virtual, Efetiva e atual.

Com base nos resultados das sondagens a percussão, executadas em períodos pós-recarga do aquífero, calcula-se que a espessura saturada do Aquífero Dunas possa ser da ordem de 13 metros (Tabela 1).

Considerando-se as informações locais de que a flutuação sazonal da superfície potenciométrica, em função do ciclo hidrológico é cerca de 1,5 metros naquela região, podendo chegar até 2,5 metros em períodos de forte estiagem, a espessura saturada adotada, por segurança, é de 11 metros. A superfície potenciométrica da área de estudo tem inclinação geral no sentido sul-norte, provocando o escoamento subterrâneo na direção do Oceano Atlântico. Suas cotas podem, aproximadamente, entre 1,0 a 18,0 metros, gerando um gradiente hidráulico de  $6,4 \times 10^{-3}$ .

Tabela 1 – Resumo dos resultados das sondagens à percussão (Fonte: CAGEO, 1998)

Sondagem	Profundidade	Cota	Nível d'água	Cota do Nível d'Água	Espessura Saturada com Variação Sazonal	Espessura Saturada Adotada	Atitude Relativa
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Nível da Praia		2,801	0	2,801	-	-	0
SP-01	14,7	16,817	1,3	15,517	13,4	10,9	14,016
SP-02	12,6	12,804	0,6	12,204	12	9,5	10,003
SP-03	9,98	10,395	0,45	9,945	9,53	7,03	7,594
SP-04	15,4	19,221	1,4	17,821	14	11,5	16,42
SP-05	16,7	12,279	0,95	11,329	15,75	13,25	9,478
SP-06	14,9	16,41	0,85	15,56	14,05	11,55	13,609
SP-07	23	15,184	0,95	14,234	22,05	19,55	12,383
SP-08	14,3	11,754	0,85	10,904	13,45	10,95	8,953
SP-09	13,8	15,183	0,4	14,783	13,4	10,9	12,382
SP-10	12,85	12,639	0,7	11,939	12,15	9,65	9,838
SP-11	12,2	7,76	0,5	7,26	11,7	9,2	4,959
SP-12	13,15	9,54	0,8	8,74	12,35	9,85	6,739
SP-13	11,9	9,207	0,95	8,257	10,95	8,45	6,406
SP-14	10,2	3,498	1	2,498	9,2	6,7	0,697
SP-15	9,3	2,548	0,7	1,848	8,6	6,1	-0,253
SP-16	8	5,561	1,3	4,261	6,7	4,2	2,76
SP-17	17,5	13,005	0,95	12,055	16,55	14,05	10,204
SP-18	20	16,184	0,95	15,234	19,05	16,55	13,383
SP-19	11	5,159	1,3	3,859	9,7	7,2	2,358
<b>Média</b>	<b>13,76</b>	<b>11,32</b>	<b>0,89</b>	<b>10,43</b>	<b>12,87</b>	<b>10,37</b>	<b>8,52</b>

### 6.1.1. Reserva Permanente (Rp)

Reserva permanente (Rp) – Representa o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar, ou seja, corresponde ao volume armazenado abaixo da zona de flutuação do nível estático (CAVALCANTE, 1997). O cálculo destas reservas pode ser feito através da formula:

$$\underline{R_p = A \times b \times \mu} \quad (4)$$

Rp = Reserva Permanente (m<sup>3</sup>)

A = Área estimada de ocorrência do aquífero (m<sup>2</sup>)

b = Espessura saturada do aquífero (m)

μ = Porosidade específica do aquífero = 5,7x10<sup>-3</sup>

Assim: Rp = 65x10<sup>6</sup> x 11 x 5,71x10<sup>-3</sup> = 4,08x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

Tem-se para o Aquífero Dunas em Paracuru, uma Reserva Permanente calculada em 4,0 milhões de m<sup>3</sup>. A parcela deste volume equivalente aos limites da área de estudo é de cerca de 6,4 bilhões de metros cúbicos, cerca de 15,49% do total acima.

$$\underline{R_p(\text{área}) = 10.071.322 \times 11 \times 5,71 \times 10^{-3} = 0,63 \times 10^6 \text{ m}^3}$$

#### 6.1.2. Reserva Renovável (Rr)

Reserva Renovável (Rr) – Corresponde ao volume hídrico que participa efetivamente do ciclo hidrológico em uma escala de tempo anual ou sazonal. Quando este potencial não é aproveitado por obras de captação, ele é reintegrado ao ciclo hidrológico através da evapotranspiração ou constituindo o fluxo de base dos rios (CAVALCANTE, 1990). O método utilizado para o dimensionamento das reservas das águas subterrâneas em campos localizados em dunas é dada pela formula:

$$\underline{R_r = VEN = k \times b \times L \times i} \quad (5)$$

Quando se dispõe de mapa potenciométrico e se conhece a condutividade do aquífero:

VEN = Vazão de Escoamento Natural, ou reserva renovável (m<sup>3</sup>/ano)

k = Condutividade hidráulica ou permeabilidade do aquífero (m/ano)

b = Espessura saturada do aquífero (m)

L = Frente de escoamento considerada (m)

i = Gradiente hidráulico medido entre as curvas potenciométricas

Rr = VEN = (33,43x10<sup>3</sup>) x (12,87) x (15x10<sup>3</sup>) x (6,4x10<sup>-3</sup>)

Rr = 41,3 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano

A parcela deste volume na área do Sítio Freixeiras é de 8,3 milhões de m<sup>3</sup>/ano, cerca de 24,7% do total acima.

Rr(área) = VEN(área) = (33,43x 10<sup>3</sup> x 12,87 x 3x10<sup>3</sup> x 6,4x10<sup>-3</sup>)

$$\underline{Rr(\text{área}) = 8,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}}$$

### 6.1.3. Potencialidade (Pot)

Potencialidade – corresponde ao volume hídrico que pode ser utilizado anualmente, incluindo, eventualmente, uma parcela da reserva permanente passível se ser explorada, com descarga constante, durante um determinado período de tempo (COSTA,1996). É calculado pela fórmula:

$$\underline{Pot = Rr + (\%Rp)} \quad (6)$$

Rr = Reserva renovável (m<sup>3</sup>/ano)

%Rp = Parcela explorável das reservas permanentes.

Em nosso estudo, em função das características geográficas e geológicas do Aquífero Dunas, empregamos o percentual de 20% para a parcela explotável, o que equivale a uma margem de segurança de 0,4% ao ano para um período de 50 consecutivos.

$$Pot = Rr + (0,4\% \times 40,82 \times 10^9 = 41,3 \times 10^6 + (4 \times 10^{-3} \times 40,82 \times 10^9)$$

$$\underline{Pot = 2,05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}}$$

$$Pot(\text{área}) = Rr(\text{área}) + (0,4\% \times Rp(\text{área})) = 8,26 \times 10^6 + (4 \times 10^{-3} \times 6,4 \times 10^9)$$

$$\underline{Pot(\text{área}) = 33,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}}$$

A potencialidade da área de estudo é de 33,9 milhões de m<sup>3</sup>/ano, 16,5% do total regional.

### 6.1.4. Reserva Explorável (Re) ou Disponibilidade Virtual (Dv)

Reserva Explotável (Re) ou Disponibilidade Virtual (Dv) – Equivale à parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do sistema aquífero, sem que se produza efeito indesejável de qualquer ordem (COSTA, 1997). No caso do aquífero estudado, esta parcela, é no máximo, igual à potencialidade, podendo ser calculada pela fórmula:

$$\underline{Re = <Pot = Rr + (\%Rp)} \quad (7)$$

Devido os riscos de ordens diversas existentes pela exploração de volume demandado por um empreendimento, foi aplicado um percentual de 80% pela potencialidade que trará segurança e equilíbrio daquele ambiente.

$$Re = Pot \times 80\% = 2,05 \times 10^8 \times 0,8 = 1,64 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Re(\text{área}) = Pot(\text{área}) \times 80\% = 27,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Portanto, temos que para a região abrangida em Paracuru, uma reserva explotável para o Aquífero Dunas de 164 milhões de metros cúbicos por ano. A parcela da área de estudo equivale a 27,0 milhões de metros cúbicos por ano, 16,46% da reserva regional.

#### 6.1.5. Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei)

Disponibilidade Efetiva Instalada (Dei) – Corresponde ao volume anual de exploração através das obras de captação existentes, com base na vazão máxima de exploração, ou vazão ótima, e num regime de bombeamento de 24 horas diárias, em todos os dias do ano. (COSTA, 1997). É calculado pela fórmula:

$$\underline{Dei = n \times Q \times 24 \times 365} \quad (8)$$

Onde :

n = número de poços

Q = Vazão média horária (m<sup>3</sup>/ano)

Na área, as captações são feitas através de poços tubulares rasos, com diâmetros de 100 mm em sua maioria, pequenas cacimbas e algumas lagoas, com moto bombas centrífugas, estimando-se uma “Dei” de 1,75x10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/ano (cerca de 480 m<sup>3</sup>/dia).

#### 6.1.6. Disponibilidade Efetiva Atual (Dea)

Disponibilidade Efetiva Atual (Dea) – Este conceito corresponde ao volume hídrico anual efetivamente explorado pelas captações existentes (COSTA, 1997). Esta disponibilidade é inferior a disponibilidade instalada, em função principalmente dos regimes de exploração dos diferentes pontos de captação d’água, os quais ficam em torno de no máximo 15 horas/dia.

No estudo adotou-se como estimativa de “Dea” um volume de 4,0x10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/ano, sem qualquer monitoramento do Aquífero Dunas, sendo a grande parcela deste volume bombeada pela CAGECE para o abastecimento da cidade de Paracuru.

Na área do Sítio Freixeiras, o regime de exploração do aquífero fornece aproximadamente 1,0x10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/ano, destinados essencialmente para à irrigação com insignificante parcela para o consumo dos moradores e trabalhadores locais.

## 7. ABASTECIMENTO COM ÁGUA SUBTERRÂNEA

Num primeiro plano têm-se definidas grandes reservas hídricas associadas ao Aquífero Dunas, o que indica frente à demanda projetada, a sua viabilidade técnica para abastecimento da região e dos futuros empreendimentos turísticos no Sítio Freixeiras.

O balanço hídrico da região apresenta-se extremamente positivo e os valores de excedente hídrico de até 800 mm anuais possibilitam um aporte de até 52x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano à reserva reguladora e mantém o equilíbrio ambiental no aquífero explorado com volume de 3,0x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano.

Os parâmetros hidrodinâmicos mostram que essa demanda de pico de cerca de  $3,0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano (347 m<sup>3</sup>/h) poderá ser facilmente alcançada com a construção de poços tubulares rasos, os quais poderão fornecer individualmente vazões de 17 m<sup>3</sup>/h com custo operacional muito baixo, sem prejuízo hidrogeológico.

Fica absolutamente claro que o manancial da região do Sítio Freixeiras, sobremaneira a parte associada ao Aquífero Dunas, é extremamente viável do ponto de vista técnico-econômico por ser possuidor de potencial hídrico de fácil exploração e capaz de dar total sustentabilidade a região.

Não se pode descartar, também, o manancial do Aquífero Barreiras, que precisa ser melhor estudado na região. É provável que poços profundos neste aquífero permitam boas vazões.

## **8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Em termos de domínio hidrogeológico predominam os sedimentos Dunas/Paleodunas, onde se encontra a quase totalidade dos poços tubulares cadastrados. Depósitos aluvionares também estão presentes na região, entretanto parecem pouco explorados.

O estudo hidrogeológico da área do Sítio Freixeiras e de suas vizinhas comprovou as evidências de campo de que, ali, o Aquífero Dunas possui um grande potencial hídrico, com características geológicas que tornam extremamente viável técnica e economicamente para abastecimento de empreendimentos diversos.

A quantificação do potencial subterrâneo mostrou reservas hídricas de ordens absolutamente seguras perante o regime climático da área, oferecendo completa sustentabilidade ao abastecimento dos empreendimentos futuros.

A reserva explotável do Aquífero Dunas foi estimada em 115 milhões de m<sup>3</sup>/ano. É recomendado a implantação do Plano de Monitoramento Hidrogeológico, evitando assim explorações mal dimensionadas do aquífero, efeitos negativos ao ambiente, grandes rebaixamentos do nível estático ou, mesmo, o avanço da cunha salina.

É também recomendada a avaliação das potencialidades dos depósitos aluvionares, que na área são pouco explotados; um programa de recuperação/instalação dos poços desativados e não instalados, para aumentar a oferta de água na região; a manutenção periódica de todos os poços da área, para assegurar o seu funcionamento, principalmente em tempos de estiagem.

## BIBLIOGRAFIA

BRANDÃO, L., PADILHA, N.W.M., TEIXEIRA, J.E.M, COELHO, M.C.P., MARTINS, J.M. 7 AGUIAR, M.T.R., (1984). Plano de aproveitamento dos Recursos Hídricos na RMF, Fase I, Fatores Condicionantes. Fortaleza (inédito).

BRANDÃO, R.L., CAVALCANTE, I.N. & SOUZA, M.J.N., (1995). "Impactos Ambientais em Zonas Costeiras: Principais Problemas Relacionados ao Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza." In: I Simpósio sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil, Recife 1995.

CAGEO (Companhia de Água e Geologia), (1999). Levantamento Hidrogeológico do Sítio Freixeiras, Paracuru, Ceará. CAGEO Relatório Técnico. Fortaleza: CAGEO.

CAMPOS, L.A.S. 7 MENEZES, M.A.S., (1982). "Pesquisa e Aproveitamento de Água Subterrânea para abastecimento Urbano nas Dunas Costeiras do Estado do Ceará." In: 2º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador 1982

CARVALHO, A.M., COUTINHO, P.N. & MORAIS, J.O.M., (1994). "Caracterização Geoambiental e Dinâmica Costeira da Região de Aquiraz na Costa Leste do Estado do Ceará." Revista de Geologia, Fortaleza, 7pp.55-68.

CAVALCANTE, I.N. & FRANGIPANI, A., (2000). Gestão das águas – "Uma política de Sobrevivência." In: I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, Fortaleza 1994

CAVALCANTE, I.N. & JUNIOR, N.Q., (2000). "*Hidrogeologia do Município de Fortaleza, Ceará-Brasil.*" In: *I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas,* Fortaleza, 2000

CAVALCANTE, I.N., REBOUÇAS, A.C., VERÍSSIMO, L.S., (1996). "As Águas Subterrâneas do Município de Fortaleza, Ceará." In: IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador 1996.

CAVALCANTE, I.N., TAJRA, A.A., FRANGIPANI, A., VERÍSSIMO, L.S., (1997). "As Águas Subterrâneas do Estado do Cear." In: Encontro das Águas – I Fórum Interamericano de Gestão e Recursos Hídricos, Fortaleza 1997.

FEITOSA, F.A.C. & FILHO, J.M, (1997). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM/LABIHD Fortaleza-CE, 391p.

JUNIOR, N.Q., (1993). Estudo Hidrogeológico do Campo de Dunas de Águas Belas, Cascavel, Ceará. Relatório de Graduação, Fortaleza: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.

RIBEIRO, J.A.P. et al., (2000). Aspectos geológicos e hidrogeológicos da faixa costeira leste da região metropolitana de Fortaleza – Ceará. In: I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, Fortaleza.

TEIXEIRA, F.J., PAIVA, M.H., (1993). *Estudo Hidrogeológico e Hidroquímico da Região costeira do Município de Icapuí, Ceará*. Relatório de Graduação, Fortaleza: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.

VASCONCELOS, S.M.S., (1994). “Estimativa da Recarga Subterrânea a partir do Balanço Hídrico – Exemplo de Fortaleza, Cear.” *Revista de Geologia.*: 7 pp. 27-34.