



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**CARACTERES HIDROGEOLÓGICOS DO AQUÍFERO DUNAS PARA A
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE
FORTALEZA – CEARÁ.**

JOÃO BOSCO ANDRADE DE MORAIS

ORIENTADOR: Prof. Dr. ITABARACI N. CAVALCANTE – DEGEO/CC/UFC

Fortaleza – Ceará

Junho/2011

JOÃO BOSCO ANDRADE DE MORAIS

CARACTERES HIDROGEOLÓGICOS DO AQUÍFERO DUNAS PARA A GESTÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA –
CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Geologia do
Centro de Ciências da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Geologia.

Área de Concentração: Hidrogeologia e Gestão
Hidroambiental

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci N. Cavalcante –
DEGEO/CC/UFC

Fortaleza - Ceará

Junho/2011

JOÃO BOSCO ANDRADE DE MORAIS

CARACTERES HIDROGEOLÓGICOS DO AQUÍFERO DUNAS PARA A GESTÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA –
CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geologia, Área de Concentração em Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental.

Aprovada em 08/07/2011

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – DEGEO/CC/UFC

Prof. Dr. George Satander Sá Freire (Membro Titular)
Universidade Federal do Ceará – DEGEO/CC/UFC

Prof^ª. Dr^ª. Ticiano Marinho de Carvalho Studart (Membro Titular)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Aos meus pais,
Morais e Regina (*in memoriam*),
minha mulher Inah Abreu e
meus filhos do 1º casamento Flávia e Rafael.

AGRADECIMENTOS

Durante a realização desta pesquisa tive a oportunidade de conviver com pessoas fundamentais para que eu seguisse em frente. A todos (as) que contribuíram com esta Dissertação, a minha sincera gratidão.

Em especial, quero agradecer ao orientador, colega e amigo, Professor Dr. Itabaraci N. Cavalcante, pelos incentivos, paciência, confiança e orientação na realização desta Dissertação.

Aos Professores Dr. George Satander Sá Freire, Dr. José Antonio Beltrão Sabadia e Dr^a. Ticiania Marinho de Carvalho Studart, que participaram da Banca Examinadora, pela paciência e sugestões para o melhoramento do presente trabalho.

Ao Professor Luiz Bianchi, aquele que com sua competência e didática me despertou para conhecer com mais profissionalismo as ciências geológica e ambiental.

Ao Engenheiro de Pesca, doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, Jean Michel Corrêa, pela amizade e pela colaboração na organização da fase final desta Dissertação.

Aos graduandos do Curso de Direito/UFC, Ronan Aguiar e Karen Abreu Hissa, pela organização final da Dissertação.

Aos meus irmãos e irmãs, em especial ao Engenheiro Civil José de Andrade Moraes (*in memorian*), que reforçado pelo meu cunhado Rui Frazão (*in memorian*), incentivaram a submeter-me ao vestibular em Geologia da Universidade Federal do Ceará.

A Secretaria do Planejamento e Gestão do Estado do Ceará, em nome de todos (as) dirigentes, em especial ao Secretário-Adjunto Philipe Theóphilo Nottingham.

Ao Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, em nome de todos (as) professores (as) e funcionários (as), pelo apoio na elaboração desta Dissertação. Em destaque ao Prof. Dr. George Satander Sá Freire, que através de seu excelente relacionamento profissional contempla o Curso de Pós-Graduação com dedicados e competentes professores visitantes.

Aos colegas dos órgãos e empresas que trabalham no setor de águas subterrâneas e ciências ambientais: Prof. Dr. Luis Parente Maia (LABOMAR), Prof. Dr Luis Gonzaga Jr. (UECE), José Vitoriano de Brito Neto (CAGEO), Francisco Edson Mendonça Gomes (CPRM), René Lima de Castelo Branco (GEOHIDRO), José Alberto Ribeiro (CPRM), Maria da Conceição R. Gomes e Virgínia Sousa (LABHI/DEGEO/UFC), Lucinaura Diógenes (GEOCONSULT), Prof. Dr. Marcos Nogueira (UECE), Pedro Igor Bezerra de Moraes (GEOSIS) e Prof. Dr. Tadeu Dote Sá (GEOCONSULT- UNIFOR).

“Todas as coisas são conectadas como o sangue que une uma família. O que ocorre com a terra recairá sobre os filhos da terra. Há uma ligação em tudo; o homem não tramou o tecido da vida, ele é simplesmente um de seus fios. Tudo o que fizer com o tecido, fará a si mesmo”.

Carta de 1854 do Chefe da tribo Seattle

RESUMO

MORAIS, João Bosco Andrade de, Universidade Federal do Ceará. Julho de 2011. **Caracteres Hidrogeológicos do Aquífero Dunas para a Gestão de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará.** Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante. Membros Titulares da Banca Examinadora: Prof. Dr. George Satander Freire Sá e Prof^a Dr^a Ticiania Marinho de Carvalho Studart.

Este produto trata da Dissertação de Mestrado e que vem cumprir o requisito exigido no Programa de Pós Graduação - Mestrado em Geologia – Linha de Pesquisa Hidrogeologia e Gestão Hidroambiental do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará. Foi desenvolvida nos municípios litorâneos (Aquiraz, Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante) da Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, Estado do Ceará, no Sistema Aquífero Dunas, tendo por objetivo obter os caracteres hidrogeológicos para a gestão dos recursos hídricos nos municípios litorâneos da RMF, quantificando as reservas, potencialidades e disponibilidades hídricas, sempre levando em consideração o uso e a ocupação do solo. A metodologia de trabalho constou, inicialmente, do levantamento dos estudos hidrogeológicos anteriores, iniciados na década de 70, e em segunda análise do cadastro de poços tubulares do SIAGAS/CPRM, etapas de campo elaboradas das bases temáticas, tratamento de dados e cálculo das reservas (Renováveis, permanentes e totais), potencialidade aquífera e disponibilidade (Instalada, instalável e total). A área em estudo apresenta o Sistema Aquífero Dunas representando as dunas fixas e dunas móveis como um sistema aquífero único, em função das características litológicas e hidrodinâmicas similares impossibilitando uma nítida distribuição aquífera entre as mesmas em nível regional. O Sistema Dunas desenvolve-se da faixa da praia em direção ao continente, da zona costeira a partir de acumulação de areias quartzosas de granulometrias médias a finas vindas da praia e do estirâncio. O Sistema Aquífero Dunas (Blocos I a X), possui 29.638,76 ha, vazão média por poço de 3,62 m³/h, 248 poços em operação (85 poços com vazão e 163 sem vazão), 775 poços paralisados (754 com vazão e 31 sem vazão), totalizando 1023 poços tubulares cadastrados. Foram calculadas as reservas totais que representam um volume de 345,84 x 10⁶ m³/ano (Reserva renovável de 79,11 x 10⁶ m³/ano e reservas permanentes 266,74 x 10⁶ m³, disponibilidade hídrica total de 6,40 x 10⁶ m³/ano (Disponibilidade hídrica efetiva de

1,08 x 10⁶ m³/ano e disponibilidade hídrica instalável de 5,32 x 10⁶ m³/ano), potencialidade aquífera de 68,24 x 10⁶ m³/ano e, finalmente, o valor das perdas reais do sistema da CAGECE nos setores das unidades Aldeota e Floresta, em parte do município de Fortaleza (Parte dos Blocos III, IV, V, VI) de 12,43 x 10⁶ m³/ano que estão inseridos nas reservas renováveis. A constituição destes depósitos arenosos representa um ponto de fundamental importância nas relações hidro-geodinâmicas das regiões litorâneas em razão da participação deste sistema no controle dos processos erosivos e na formação de recarga dos aquíferos regionais. Torna-se necessário e urgente para o conjunto da sociedade (usuários e gestores) conhecer os aspectos quantitativos das águas do Sistema Dunas. Faz-se necessário e oportuno expor a forte política pública dos recursos hídricos superficiais do Estado do Ceará, no entanto não se pode afirmar a mesma fortaleza para os recursos hídricos subterrâneos, onde o que ocorre são poucos recursos financeiros e humanos investidos no setor de águas subterrâneas. É importante que os gestores públicos comecem a reconhecer que as águas subterrâneas do Sistema Dunas da RMF constituem um recurso hídrico estratégico, particularmente nos períodos de estiagem e que essas águas subterrâneas são responsáveis integralmente pelo abastecimento hídrico de uma parcela significativa da população litorânea dos municípios Aquiraz (Batoque, Barro Preto, Iguape, Presídio, Prainha e Porto das Dunas, *Beach Park*), Fortaleza (Abreulândia, Sabiaguaba, Parcela da Praia do Futuro I, II, Cais do Porto), Caucaia (Parcela da Praia de Dois Coqueiros, Pacheco, Icaraí, Tabuba e Cumbuco) e São Gonçalo do Amarante (Pecém e Taíba).

Palavras-chave: águas subterrâneas, reservas renováveis, reservas permanentes, Região Metropolitana de Fortaleza, Aquífero Dunas.

ABSTRACT

Morais, João Bosco Andrade de, Federal University of Ceará. July 2011. **Hydrogeological characters of Dunes Aquifer to the management of groundwater resources in Metropolitan Region of Fortaleza - Ceará.** Advisor: Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante. Directors: Dr. George Satander Sá freire and Dr^a Ticiania Marinho de Carvalho Studart.

This product comes from the Master and comes to fulfill the requirement set in the Graduate Program - Masters in Geology - Hydrogeology Research Lines Hydrogeology and Management, Department of Geology of Science Center of Federal University of Ceará. Was developed in the coastal municipalities (Aquiraz, Fortaleza, Caucaia and São Gonçalo do Amarante), the Metropolitan Region of Fortaleza, Ceará State, in the Dunes Aquifer System, with the objective of making pleas for hydrological management of groundwater resources in the coastal municipalities of RMF, characterizing and qualifying potential reserves and water availability, always taking into account the species use and land cover. The methodology included a survey of the studies initially hydrogeological earlier, started in the 70s in the second analysis of the records of the wells SIAGAS/ CPRM, developed phases of the field of thematic bases, data processing and calculation of reserves (renewable permanent and total), and aquifer potential availability (installed, and total installable). The area presents the aquifer system representing the dunes and mobile dunes as a single aquifer system on the basis of lithological characteristics similar hydrodynamic and preventing a clear distribution between the same aquifer at a regional level. The Dune System develops from the beach strip toward the mainland, the coastal zone from the accumulation of sand grain size averages quartzonais still coming from the beach and the ante-estirâncio. From the Dunes Aquifer System (Blocks I to X), is an area of 29638.76 hectares, the average flow per well 3.62 m³/h, operating 248 wells (85 wells with flow and no flow 163) 775 paralyzed wells (754, with flow and no flow 31) totaling 1,023 registered drilling wells. From the above data were calculated the total reserves amounting to 345.84 x 10⁶m³/year (Renewable reserve amounting to 79.11 x 10⁶ m³/year and permanent reserves 266.74 x 10⁶ m³, total available water in the amount of 6.40 x 10⁶ m³/year (1.08 x actual water availability 10⁶ m³/year and water availability installable 5.32 x 10⁶ m³/year), potential aquifer 68.24 x 10⁶ m³/year and then the value of real losses of the system

CAGECE, in the areas of Forest and Aldeota units in the municipality of Fortaleza, (part of Block III, IV, V, VI) worth 12.43×10^6 m³/year. The constitution of these sandy deposits represents a point of fundamental importance in hydro-geodynamic relationships of the coastal regions due to participation in this system in the control of erosion and the formation of regional aquifer recharge. It is necessary and urgent for society as a whole (users and managers) to know the quantitative aspects of water system dunes. It is necessary and appropriate to expose the strong public policy of surface water resources of the State of Ceará, however we cannot say the same strength to the groundwater resources, where what happens there are few financial and human resources invested in water sector groundwater in the state of Ceará, so it is important that policy makers recognize that the groundwater system of dunes RMF is a strategic water resource, particularly in periods of drought responsible for supplying a significant portion of the population of seaside towns Aquiraz (Batoque, Barro Preto, Iguape, Presidio, Prainha and Porto das Dunas, Beach Park), Fortaleza (Abreulândia, Sabiaguaba, Parcel da Praia do Futuro I II, Fall of Porto), Caucaia (Portion of Two Coconut Beach, Pacheco, Icarai, Tabuba and Cumbuco) and São Gonçalo do Amarante (Pecém and Taiba).

Key-words: groundwater, renewable resources, permanent reserves.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização da Área de Estudo
- Figura 2. Média Pluviométrica anual (período 1995 a 2010)
- Figura 3. Média mensal da temperatura dos municípios da área de estudo (período 1989 a 2010)
- Figura 4. Balanço Hídrico do Município de Aquiraz
- Figura 5. Balanço Hídrico do Município de Fortaleza
- Figura 6. Balanço Hídrico do Município de Caucaia
- Figura 7. Balanço Hídrico do Município de São Gonçalo do Amarante
- Figura 8. Evolução temporal da construção dos poços
- Figura 9. Profundidade dos poços
- Figura 10. Nível estático dos poços
- Figura 11. Vazão dos poços
- Figura 12. Condutividade elétrica dos poços
- Figura 13. Sólidos Totais Dissolvidos dos poços
- Figura 14. Situação atual de uso dos poços
- Figura 15. Delimitação Espacial do Bloco I- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE
- Figura 16. Delimitação Espacial do Bloco II- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE
- Figura 17. Delimitação Espacial do Bloco III- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE
- Figura 18. Delimitação Espacial do Bloco IV- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE
- Figura 19. Delimitação Espacial do Bloco V- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE
- Figura 20. Delimitação Espacial do Bloco VI - Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE
- Figura 21. Delimitação Espacial do Bloco VII- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE
- Figura 22. Delimitação Espacial do Bloco VIII- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE

Figura 23. Delimitação Espacial do Bloco IX- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE

Figura 24. Delimitação Espacial do Bloco X- Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza/CE

Figura 25. Mapa de Fortaleza e parte dos municípios de Caucaia e Maracanaú sobre as unidades de negócios – CAGECE

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955) – Local: São Gonçalo do Amarante – Ceará – Capacidade de armazenamento do solo: 100mm.

Tabela 2. Painel Climático dos Municípios de Aquiraz, Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante.

Tabela 3. Dados dos poços tubulares rasos das dunas de Abreulândia, Fortaleza.

Tabela 4. Valores médios do Aquífero Dunas - orla costeira da RMF.

Tabela 5. Estatística descritiva para a variável profundidade para todos os blocos.

Tabela 6. Estatística descritiva para a variável nível estático (NE) para os poços dos blocos de I a X na área de estudo.

Tabela 7. Estatística descritiva para a variável vazão para os poços dos blocos de I a X na área de estudo.

Tabela 8. Síntese das reservas, potencialidade e disponibilidade de águas subterrâneas no sistema dunas (Bloco I a X).

LISTA DE SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará
MMA	Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
PRODEMA	Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SIAGAS	Sistema Integrado de Águas Subterrâneas
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus centígrados
Há	Hectares
<	Menor que
>	Maior que
m	Metros
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
m ³ /h/s	Metros cúbicos por hora por segundo
m/s	Metros por segundo
ms/cm	Microsegundo por centímetro
mg/L	Micrograma por litro
%	Porcentagem
Km	Quilômetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Importância e Relevância	18
2. OBJETIVO	22
3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	23
4. CONDICIONANTES HIDROAMBIENTAIS	24
4.1. Características Hidrogeológicas	24
4.2. Unidades Geomorfológicas	25
4.3. Unidades Pedológicas	27
4.4. Vegetação	27
4.5. Caracterização Climática	28
4.5.1. <i>Precipitação</i>	29
4.5.2. <i>Temperatura</i>	30
4.5.3. <i>Ventos</i>	31
4.5.4. <i>Insolação/Evaporação</i>	32
4.5.5. <i>Balanco Hídrico</i>	32
5. METODOLOGIA DE TRABALHO	38
5.1. Pesquisa Bibliográfica	38
5.2. Cadastro dos Poços Tubulares	38
5.3. Elaboração de Bases Temáticas	39
5.4. Etapas de Campo	39
5.5. Tratamento dos Dados	40
5.6. Individualização dos Blocos Dunares	40
6. HIDROGEOLOGIA	43
7. DADOS GEOESTATÍSTICOS	48
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
8.1. Utilização de água subterrânea em obras civis e rebaixamento do nível estático	54
8.2. Recarga de Aquífero derivada das perdas hídricas do Sistema de Abastecimento da CAGECE	55
8.2.1. <i>Análise do Relatório do Balanco Hídrico – Unidade Aldeota – CAGECE/2010</i>	56
8.2.2. <i>Análise do Relatório do Balanco Hídrico – Unidade Floresta – CAGECE/2010</i>	57
8.3. Reservas Renováveis	57
8.4. Reservas Permanentes	58
8.5. Reservas Totais	59
8.6. Disponibilidade Efetiva Instalada	59

8.7. Disponibilidade Instalável	59
8.8. Disponibilidade Hídrica Total	60
8.9. Disponibilidade Aquifera (Potencialidade Aquífera)	60
8.10. Cálculos dos Valores Individuais para os Blocos do Sistema Aquífero Dunas	60
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICE	
ANEXOS	

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos vem sendo alvo de preocupação no mundo todo, decorrente da escassez hídrica ocasionada principalmente devido ao desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água. Isto tende a crescer devido à demanda e contaminação/poluição das reservas hídricas.

Os problemas levantados relativos ao objeto e ao campo de estudo relacionados são inerentes a inexistência de uma política pública de águas subterrâneas, com definição precisa das atribuições dos entes federativos e sociedade civil, permanência de uma visão abnegada e altruísta sobre águas subterrâneas, razão do pouco alcance das ações dos órgãos públicos responsáveis e insuficiência dos recursos (financeiros e humanos) disponíveis nos órgãos responsáveis.

Na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF torna-se necessária a exploração racional de recursos hídricos alternativos capazes de suprir a demanda. Mas, para se explorar os recursos hídricos subterrâneos se fazem necessários estudos hidrogeológicos, sendo necessário o conhecimento dos parâmetros geométricos e hidrodinâmicos para que, se possível, sejam calculadas reservas e potencialidades hídricas, contribuição esta que se pretende realizar com o presente trabalho focado na faixa costeira representada pelo Aquífero Dunas.

A RMF apresenta, ao mesmo tempo, os problemas derivados do alto custo de água para atender a demanda, o mau uso das águas e a ocupação aleatória e desordenada do meio físico. Esta pesquisa busca, ainda, oferecer subsídios hidrogeológicos para que, integrados à realidade da área, possam, de maneira objetiva, contribuir para amenizar o problema de água mediante uma política de uso e ocupação do meio físico que leve em consideração a necessidade urgente de proteção das águas subterrâneas como reserva estratégica.

1.1. IMPORTÂNCIA E RELEVÂNCIA

A região costeira norte do Ceará tem como arcabouço geológico mais marcante a ocorrência de sedimentos eólicos das Dunas, os clásticos da Formação Barreiras e os depósitos clásticos recentes representados pelas aluviões. Esse conjunto sedimentar constitui, por sua natureza e expressão espacial, um importante sistema aquífero, capaz de suprir, em parte, as necessidades de água para fins nobres; entretanto, neste trabalho o estudo é realizado somente no Sistema Aquífero Dunas.

Ao mesmo tempo em que o Sistema Aquífero Dunas se mostra, a mercê de suas características sedimentológicas, como importante fonte potencial de recursos hídricos, facilmente utilizáveis, seu arcabouço hidrogeológico revela, por outro lado, frágeis condições naturais de preservação hídrica, principalmente da qualidade. A partir disto, se infere que em última instância favorece a sua degradação pelos agentes poluidores, em face ao crescimento populacional devido, principalmente, ao uso e ocupação pelo componente turístico e residencial (CAVALCANTE, 1998). Assim, é condição principal e urgente que se proceda a um estudo detalhado do aquífero costeiro para definir seu potencial, ordenar o seu uso e preservar a sua qualidade.

Com a crescente demanda de água como conseqüência do aumento da taxa de crescimento populacional, além das freqüentes estiagens, a água subterrânea adquire valor imensurável, funcionando como reserva estratégica e influenciando, decisivamente, no desenvolvimento político-sócioeconômico da RMF. Assim, o desenvolvimento desta região depende da obtenção de água subterrânea e, neste sentido, tornam-se necessários estudos na busca de adequar o uso, o controle, o monitoramento e a preservação deste recurso hídrico (CAVALCANTE, op. Cit.).

Na ala costeira, quando a extração supera a recarga do aquífero, ou quando o bombeamento está concentrado numa determinada zona, pode ocorrer super-exploração, acarretando o desequilíbrio no balanço entre a entrada e a saída d'água no aquífero, podendo causar sua degradação por salinização.

Os recursos hídricos subterrâneos representam fontes estratégicas com forte alcance social para fixação e sobrevivência do homem. O conhecimento das reservas hídricas subterrâneas traz benefícios à população, favorecendo atividades econômicas e de subsistência, fornecendo dados para a gestão dos recursos hídricos e levando ao uso racional da água.

A utilização das águas subterrâneas baseia-se nos seguintes argumentos:

- A água subterrânea encontra-se melhor protegida dos agentes poluidores e as camadas sedimentares podem desenvolver a função de filtro. Dispensam, assim, custos onerosos com tratamentos físico-químicos, restringindo-se, na maioria dos casos, a tratamento convencional simples (aeração, filtração, etc.).

- Estão mais bem protegidas da evaporação. Este fato leva a uma parcela hídrica evaporada muito menor do que aquela perdida superficialmente, e isto é importante em áreas onde a evaporação é crítica, a exemplo do RMF. Assim, em períodos de estiagem, quando os

reservatórios ficam com um percentual reduzido da sua capacidade máxima de armazenamento, os aquíferos dispõem de águas potáveis para atender, parcialmente, a demanda solicitada.

- O investimento para a captação de água subterrânea pode ser parcelado. Na medida em que a demanda aumenta, o usuário pode construir seus poços, adequando-os ao volume d'água solicitado, permitindo-se, desta forma, trabalhar com um parcelamento de custos e investimentos seguros à procura hídrica.

- Representam fontes complementares de abastecimento doméstico e turístico. É comum a existência de poços tubulares operados para fins diversos, atendendo à demanda principal ou servindo como reserva estratégica, utilizados em períodos críticos de estiagem ou por razões de segurança hídrica.

- Associada aos impactos ambientais verifica-se que a construção de poços tubulares não implica em modificações do meio físico, tendo uma área superficial de influência bastante reduzida.

A crescente demanda de água como consequência do aumento da taxa de crescimento populacional, além da deterioração qualitativa dos recursos hídricos superficiais, torna a água subterrânea um patrimônio de valor imensurável, capaz de funcionar como reserva estratégica e influenciar, decisivamente, no desenvolvimento político-sócioeconômico da RMF.

O papel das águas subterrâneas como fator estratégico de abastecimento torna-se relevante, tendendo a desenvolver-se cada vez mais rapidamente na medida em que são estudadas de forma integrada com o meio ambiente e a ocupação do meio físico.

Faz-se necessário e oportuno expor a forte política pública dos recursos hídricos superficiais do Estado do Ceará, no entanto, não se pode afirmar a mesma fortaleza para os recursos hídricos subterrâneos, onde o que acontece são poucos recursos financeiros e humanos investidos no setor de águas subterrâneas no Estado do Ceará.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos os aspectos relacionados a seguir.

2.1. Geral

Apresentar os caracteres hidrogeológicos para a gestão racional dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Dunas, no âmbito dos municípios costeiros da RMF, caracterizando-o quantitativamente, levando-se em consideração os aspectos de uso e ocupação do solo.

2.2. Específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Caracterizar e quantificar o Sistema Aquífero Dunas quanto ao aspecto de uso e ocupação do solo;
- Calcular as reservas, recursos e disponibilidades hídricas do Sistema Aquífero Dunas;
- Identificar e delimitar os blocos dunares detentores de águas subterrâneas;
- Elaborar uma base georreferenciada atualizada de poços tubulares do Sistema Aquífero Dunas.

3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA

A área de estudo coincide ao Norte, Leste e Oeste com os limites da RMF, limitando-se ao Norte com o Oceano Atlântico, ao Leste com o Riacho Caponga Funda (Município de Aquiraz), ao Oeste com o Rio São Gonçalo (Município de São Gonçalo do Amarante) e ao Sul limita-se com o contato geológico Dunas e Formação Barreiras. Engloba parte dos municípios litorâneos de Aquiraz, Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante (Figura 01).

Como vias de acesso têm-se as várias rodovias estaduais que levam à zona costeira, sendo as principais a CE 453 (Fagundes/Iguape), CE 452 (Aquiraz/Prainha), CE 025 (Av. Maestro Lisboa – Porto das Dunas, Prainha) e CE 090 (Iparana/Praia do Cumbuco), além de uma gama de estradas vicinais que permitem a livre circulação na área de estudo

FIGURA 1

4. CONDICIONANTES HIDROAMBIENTAIS

A designação de *sistemas aquíferos* é utilizada com a visão de que existe uma interação efetiva das águas subterrâneas e o ciclo hidrológico dependendo, basicamente, do tempo e da forma como as águas subterrâneas vêm sendo captadas por poços para utilizações múltiplas. Desta forma, as formações geológicas que constituem aquíferos, deixam de ter uma conotação de “unidade” para representarem um “sistema”, na concepção de que eles possam interagir com o meio ambiente (CAVALCANTE, 1998).

A área em estudo apresenta o Sistema Aquífero Dunas, considerado nesta pesquisa como representativas dos corpos dunares fixos e móveis, tido como um sistema único em função das características litológicas e hidrodinâmicas similares, impossibilitando uma nítida distinção em nível regional.

4.1. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

A área em estudo tem como arcabouço geológico a ocorrência de sedimentos quaternários dunas que constitui, por sua natureza e expressão espacial, um importante sistema aquífero capaz de suprir, em parte, as necessidades de água para fins nobres.

As macro-feições do ambiente litorâneo representado pelas dunas podem ser identificadas no interior do continente onde adentram, em média, 2,5 km. O Sistema Dunas tem um destaque especial na consideração dos ambientes costeiros pela sua magnitude espacial e pelo seu destaque altimétrico, além das alternativas ecológicas correlatas a estes ambientes (BIANCHI, MORAIS & GURGEL JR, 1985).

O Sistema Aquífero Dunas se desenvolve da pós-praia em direção ao interior da zona costeira a partir da acumulação de areias quartzosas médias e finas vindas da praia e do estirâncio, representando um ponto de fundamental importância nas relações geodinâmicas das regiões litorâneas, em razão da participação desta unidade no controle dos processos erosivos e na formação e na recarga dos aquíferos. Suas espessuras na área estudada são, predominantemente, inferiores a 30 metros (BIANCHI, PADILHA & TEIXEIRA, 1984).

Assim, é condição principal e urgente que, face ao desenvolvimento turístico, se proceda ao estudo detalhado do aquífero costeiro para definir seu potencial, ordenar o seu uso e preservar a qualidade de suas águas. Quando a extração supera a recarga do aquífero, ou quando o bombeamento está concentrado numa determinada zona, ocorre uma elevada exploração, acarretando o desequilíbrio no balanço entre a entrada e a saída d'água no aquífero, causando sua degradação, fato este constatado na super-exploração da faixa costeira

localizada na Avenida Beira-Mar, reduto da principal zona hoteleira de Fortaleza (CAVALCANTE, REBOUÇAS & VERÍSSIMO, 1996).

A situação piora em épocas secas, quando o nível estático do aquífero desce mais devido a ausência de recarga e excessiva extração de água subterrânea para uso nos diversos modelos.

Portanto, para se evitar a degradação desse recurso natural e assegurar o uso racional, bem como utilizá-lo como ferramenta para a gestão, faz-se necessário conhecer as condições hidrogeológicas do mesmo.

Com a crescente demanda de água como consequência do aumento da taxa de crescimento populacional, da necessidade de produção de alimentos, além das frequentes estiagens, a água subterrânea adquire valor imensurável, funcionando como reserva estratégica e influenciando, decisivamente, no desenvolvimento político-socioeconômico da RMF.

Por estas razões, torna-se urgente e necessário para os usuários e gestores, conhecer os aspectos quantitativos das águas do Sistema Hidrogeológico Dunas, onde são construídos poços para suprir as necessidades hídricas humanas, pois a ausência ou um mau gerenciamento aliada a tomada de decisões equivocadas no momento compromete a oferta de água.

4.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Com base na compartimentação geomorfológica do Ceará existente em Brandão, Cavalcante & Souza (1995), a área enfocada integra o Domínio dos Depósitos Sedimentares Quaternários, representado por feições do Sistema Dunas/Paleodunas.

A Planície Litorânea inclui os campos de dunas, as praias e as planícies flúvio-marinhas que acompanham os contornos da linha de costa, indo da foz do riacho Cpongua Funda, ao leste no município de Aquiraz, até o rio São Gonçalo do Amarante, no município de São Gonçalo do Amarante, oeste da área. O litoral possui um conjunto de feições morfológicas desenvolvido pelos mais diversos fatores, que se traduzem no avançado estágio de regularização alcançado.

Em termos altimétricos, o relevo das dunas é bem marcado na paisagem, contrastando com as feições morfológicas dos tabuleiros pré-litorâneos, até mesmo porque, em quase sua totalidade são desenvolvidas sobre as áreas dos tabuleiros pertencentes a Formação Barreiras.

Os campos de dunas constituem barreiras naturais encontradas por inúmeros cursos de água em seus caminhos para o Oceano Atlântico. Os rios e riachos tendem a apresentar canais

anastomóticos, paralelos à linha de costa ou têm, muitas vezes, a embocadura obstruída, originando a formação de lagoas interdunares, a exemplo do Lagamar do Cauípe (Caucaia), Lagoa Encantada (Aquiraz), Lagoa do Papicu (Fortaleza) e Lagoa do Catu (Aquiraz).

Existem inúmeras lagoas que dependem diretamente das águas subterrâneas e isto pode ser visualizado diretamente na área, onde se percebe que em determinados locais não existe rede de drenagem superficial associada as lagoas e, conseqüentemente, a recarga se deve ao fluxo subterrâneo. Como exemplos citam-se as lagoas interdunares dos municípios de Fortaleza (Lagoa do Papicu), Caucaia (lagoas da Banana e do Porco), São Gonçalo do Amarante (lagoa das Cobras) e Aquiraz (lagoa Encantada), que modificam a paisagem hidroambiental, servindo tanto ao abastecimento pontual quanto ao lazer.

A continuidade dos cordões de dunas pode ser interrompida pela presença das planícies fluviais e flúvio-marinhas ou, ainda, pela penetração até o mar dos sedimentos mais antigos da Formação Barreiras. As irregularidades da linha de costa são oriundas da presença de litotipos mais resistentes (quartzitos e cangas lateríticas) que se projetam de quando em quando para o Oceano Atlântico, rompendo a retlineidade da costa, a exemplo dos promontórios das praias de Iguape (quartzitos) e do Mucuripe (cangas lateríticas), que funcionam como camadas protetoras contra os efeitos de abrasão marinha (BRANDÃO, CAVALCANTE & SOUZA, 1995).

As praias são contínuas, abrangendo toda a extensão da costa desde a linha de maré baixa até a base das dunas. Os *beach rocks* (rocha de praia) são formações que ocorrem em diversos trechos da costa, constituindo corpos alongados que, normalmente, afloram em dois sub-ambientes praias: na zona de estirâncio, fato este encontrado nos afloramentos de rocha de praia entre as desembocaduras dos rios Cocó e Pacoti, no município de Fortaleza.

Caracterizadas pela ação conjunta de processos continentais e marinhos, as planícies flúvio-marinhas são ambientes criados pela deposição de sedimentos, predominantemente argilosos com matéria orgânica, onde se desenvolve a vegetação de mangue, sendo formadas em áreas onde se processa a mistura de água doce dos rios e lagoas com a água salgada que penetra no continente através das marés, proporcionando a deposição de material escuro e lamacento que aumenta a cada período de maré cheia, até gerar um ambiente favorável à instalação dos manguezais. Como exemplo cita-se o que ocorre nos manguezais dos rios Cocó, Ceará e Pacoti.

4.3. UNIDADES PEDOLÓGICAS

As definições de tipos de solo utilizadas neste trabalho estão de acordo com o atual sistema brasileiro de classificação de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, de 1999.

Na área de influência direta do empreendimento identificaram-se as seguintes classes de solos: Neossolos Quartzarênicos, Neossolo Flúvicos e os Argissolos, como pode ser verificado, os solos quartzarênicos são estreitamente relacionados às litotipos e feições geomorfológicas correlacionadas à planície litorânea, apresentado, de maneira geral, uma constituição física imatura, onde tem-se a sobreposição de um horizonte A, com espessura e 10 a 20 cm, sobre um horizonte C de grande espessura, geralmente superior a 2m. Estão relacionados às morfologias da área costeira como praias, planícies de deflação, dunas móveis, dunas fixas, assim como a planície fluvial dos riachos que cortam a área na porção norte e sul do terreno e as planícies lacustres das lagoas interdunares que ocorrem na área.

Correlatos aos dois corpos hídricos que recortam a área estudada na porção centro sul, os quais têm pouca capacidade de incisão e assim não ocasionam mudanças significativas no perfil pedológico do canal de drenagem, tem-se a ocorrência restrita dos neossolos flúvicos.

Ocorrem solos de variados tipos representados pelos tipos de neossolos quartzosos distróficos, sobre os quais predomina a vegetação de *Cyperus maritimus* (tiririca), *Paspalum maritimum* (gengibre), *Indigofera microcarpa* (anil), *Remirea maritima* (cipó-da-praia), *Blutaparon portulacoides* (bredinho), *Byrsonima crassifolia* (murici), *Chrysobalanus icaco* (guajiru), *Jatropha pohliana* (pinhão), por vezes aberta. Ao longo da principal drenagem estabelece-se a floresta mista dicótilo-palmácea ou mata ciliar.

A Associação de Solos da Planície Litorânea compreende as areias quartzosas distróficas. As primeiras ocuparam a planície litorânea constituindo uma estreita faixa, em torno de 500 m, distribuída, irregularmente, ao longo da linha da costa. Estes solos possuem uma fertilidade muito baixa, sendo profundos e excessivamente drenados, expostos permanentemente a ação eólica e com baixos teores de umidade e, portanto, limitados ao uso agrícola.

4.4. VEGETAÇÃO

A área em estudo encontra-se assentada na tipologia vegetal do Complexo Vegetacional Litorâneo, onde se destacam os seguintes ecossistemas: Ambiente Praiano, Planície Litorânea ou Vegetação de pós-praia, e Ambientes Dunares.

A vegetação do Complexo Dunar contida na RMF contempla boa parte de seu território, sendo de fundamental importância para o equilíbrio e sustentação dos demais ambientes circunvizinhos as dunas, como os manguezais e o tabuleiro pré-litorâneo.

Uma importante função bio-ecológica das dunas é a manutenção da vegetação do pós-praia, uma vez que auxiliam no aporte sedimentar das neossolos quartzosos oriundas do pós-praia, bem como ajudam a manter úmidas as lagoas pré-dunares contidas nessa planície costeira. O pós-praia, também conhecido como Vegetação Pioneira (ou mesmo Restinga), inicia-se logo após a linha do estirâncio (maré mais alta), indo até o início do Complexo Dunar. As principais espécies fixadoras do pós-praia, bem como das Dunas, são *Cyperus maritimus* (tiririca), *Paspalum maritimum* (gengibre), *Indigofera microcarpa* (anil), *Remirea maritima* (cipó-da-praia), *Blutaparon portulacoides* (bredinho), *Byrsonima crassifolia* (murici), *Chrysobalanus icaco* (guajiru), *Jatropha pohliana* (pinhão) bem como diversas cactáceas como *Cereus jamacaru* (mandacaru), *Pilosocereus* sp. (facheiro) e *Opuntia* sp. (cacto), onde fixam boa parte das pequenas dunas comuns na região do pós-praia.

Verifica-se o maior acúmulo e transporte de sedimentos areno-quartzosos e, assim, um simples corte de estrada pode desagregar seu solo reiniciando um possível transporte desse material por via eólica, e caso coincida existir nas proximidades alguma moita ou tufo de arbusto pode dar origem a formação de mais uma duna.

O Complexo Dunas compreende a região da planície litorânea com relevo acidentado e razoavelmente ondulado, com solos areno-quartzosos. Conforme a sua tipologia vegetal, recebe a denominação de dunas móveis (isenta de flora), dunas semi-fixas (com flora arbustiva dispersa) e dunas fixas (com espécies arbóreas e arbustivas agrupadas).

As dunas fixas situam-se, geralmente a sotavento dos diversos cordões dunares. Apresentam uma vegetação com dois estratos: o arbóreo e o arbustivo, sendo que o primeiro pode atingir 8,0m enquanto o segundo fica em torno dos 4,0m normalmente com fustes retilíneos encopados no dossel superior. Neste ambiente verifica-se uma fina camada de húmus provinda da queda foliar local, praticamente não há herbáceas, em decorrência da competição pela luz solar, podendo ter discretos representantes da vegetação pioneira.

Segundo Major & Sales Jr. (2004, 2008), as principais espécies florísticas que compõem as dunas fixas da RMF são, dentre outras: *Indigofera microcarpa* (anil-do-mato), *Paspalum maritimum* (capim-gengibre), *Ouratea fieldingiana* (batiputa), *Anacardium occidentale* (caju), *Casearia guianensis* (café-bravo), *Eugenia uvalha* (ubaia), *Ximenia americana* (ameixa), *Caesalpinia leiostachya* (pau-ferro), *Cocos nucifera* (coco), *Byrsonima crassifolia* (murici), *Cereus squamosus* (facheiro), *Cereus jamacaru* (mandacaru) e várias outras essências florestais.

O ambiente da vegetação de dunas semi-fixas apresentam algumas espécies arbóreas dispersas ou scrub e herbáceas encontradas também no pós-praia, em especial a *Ipomoea pes-caprae* (salsa), *Remirea maritima* (cordão-de-São-Francisco), *Cyperus maritimus* (tiririca-das-dunas), *Stylosanthes* sp. (vassourinha), *Tephrosia cineria* (anil-bravo), etc.

Na tipologia vegetação de dunas móveis, não ocorre cobertura vegetal sendo, portanto, desnuda.

4.5. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A caracterização climática de uma região possui uma relevante importância para o estudo da paisagem, constituindo uma categoria geográfica de análise muito utilizada nas pesquisas de caráter hídrico. Por influência nos processos e formas geomorfológicas, no regime dos rios, na formação dos solos e na distribuição da cobertura vegetal, o comportamento do clima deve ser sempre incorporado nesses estudos. As atividades desenvolvidas pelo homem, principalmente a agricultura, a pecuária, o turismo, o transporte e o lazer também apresentam uma forte relação com o clima (FUNCEME, 2007).

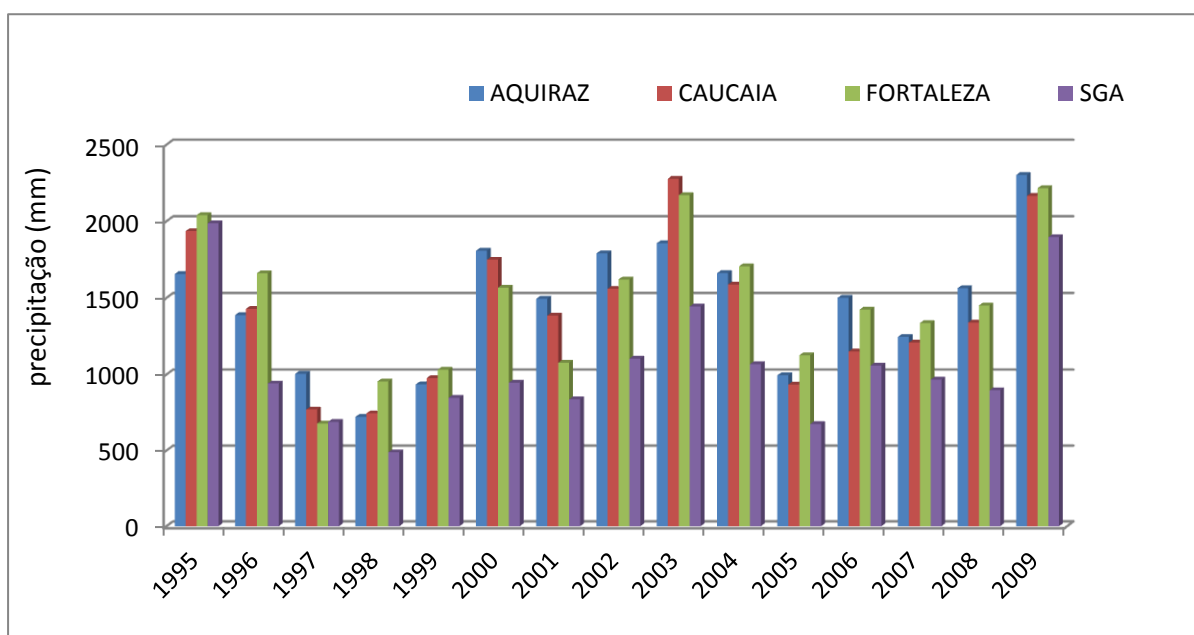
Para caracterizar o clima da região objeto deste trabalho foi necessário, inicialmente, o levantamento de uma série de dados obtidos por meio de consulta bibliográfica perante os órgãos governamentais, tais como a Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME e a Universidade Federal do Ceará – UFC.

4.5.1. Precipitação

A precipitação pluviométrica é fundamental para o estudo do clima. Ela é considerada o elemento de maior importância na definição do quadro climático das áreas semi-áridas e sub-úmidas, sendo a quantidade de chuvas e o seu ritmo mensal, suas características mais relevantes.

De acordo com os dados coletados na Estação Meteorológica situada no município de Fortaleza (UFC – Campus do Pici), o período chuvoso inicia-se em dezembro, com média de 35,9 mm, passando para 123,0 mm em janeiro e consolidando-se a partir da segunda quinzena de fevereiro, cuja média mensal é de 191,8 mm. As precipitações de maiores expressões ocorrem entre os meses de março e maio, com máxima ocorrendo em abril, e média de 351,7mm. Por outro lado, o período mais seco ocorre entre setembro a novembro, sendo este último mês de menor média histórica, com apenas 12,0 mm mensal. Fortaleza, entre os anos de 1995 a 2009, apresentou média de 1.470,16 mm/ano, com mínima de 678,1 mm/ano e máxima de 2.216,2 mm/ano.

Nos municípios de Aquiraz e Caucaia, os dados obtidos nos postos pluviométricos da sede de Aquiraz e Caucaia, mostram que em Aquiraz a maior precipitação ocorreu em 2003 (1.856,9 mm/ano), com média de 1.431,06 mm/ano. Em Caucaia, a maior precipitação também foi no ano de 2003 (2.277,6 mm/ano), com média de 1.314,15 mm/ano. No posto pluviométrico da sede do município de São Gonçalo do Amarante, a distribuição da chuva se apresenta muito variável nos últimos anos em relação à sua média (1.056,4 mm/ano), representando a média mais baixa em relação aos outros três municípios, com mínima de 433,3mm/ano e máxima de 1.986,7 mm/ano (Figura 02).



Fonte: FUNCEME, 2009

Figura 02 - Média pluviométrica anual (Período 1995 a 2009) - Postos pluviométricos de Aquiraz, Caucaia, Fortaleza e São Gonçalo do Amarante, RMF.

De acordo com a FUNCEME (2009), o fenômeno do El Niño e/ou Dipolo do Atlântico positivo geralmente estão vinculados aos anos secos, enquanto anos chuvosos relacionam-se à presença de La Niña e/ou Dipolo do Atlântico negativo.

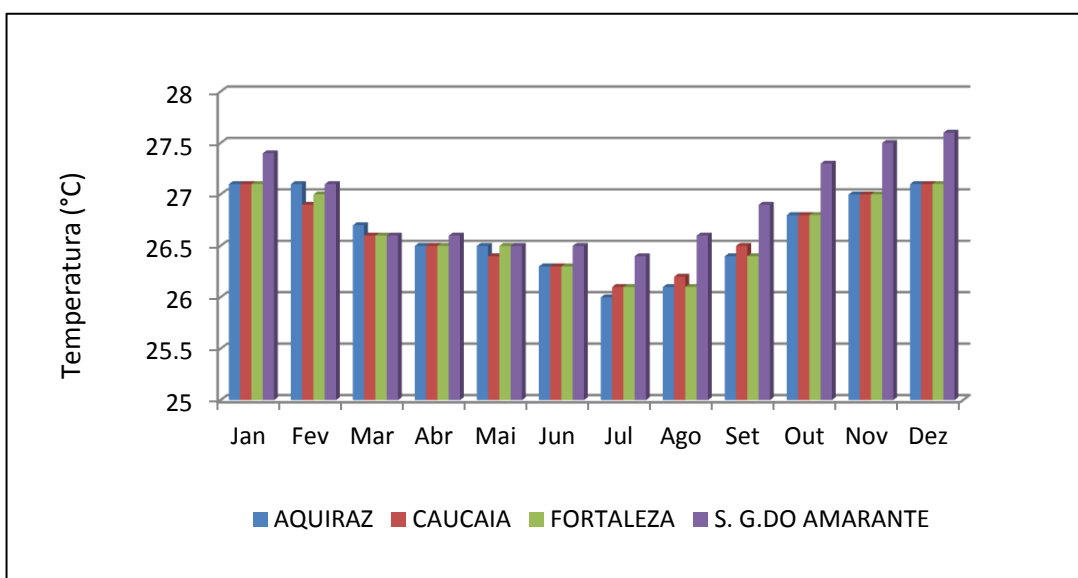
A área estudada tem seu comportamento climático relacionado as condições termohigrométricas, de velocidade média dos ventos, de nebulosidade, insolação e evaporação.

As chuvas que ocorrem nos meses de junho e julho no litoral da RMF são ocasionadas pelas Ondas de Leste, quando se formam condições oceânicas e atmosféricas favoráveis, já que elas são mais comuns no NE oriental.

4.5.2. Temperatura

A temperatura apresenta-se praticamente estável ao longo do ano, característica típica das regiões tropicais/equatoriais pela maior proximidade com a linha do Equador, o que repercute em baixas amplitudes térmicas mensais. A temperatura média é de 26,8°C. Na Figura 03 encontram-se as temperaturas médias mensais para os municípios de Aquiraz, Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante, sendo a mínima de 25,8°C e máxima de 27,6°C.

É importante destacar-se, entretanto, que embora a amplitude mensal seja baixa, a temperatura diária varia muito, apresentando valores elevados durante o dia e valores mais amenos durante a noite.



Fonte: FUNCEME, 2009

Figura 03 – Média mensal da temperatura nos municípios da área de estudo (1989 a 2009).

4.5.3. Ventos

Segundo dados da Estação Meteorológica do Campus do Pici, cujas medições são feitas em uma torre situada a 10,0 m de altura, os ventos apresentam uma velocidade média de 3,2 m/s, onde no mês de abril (maior pluviosidade) se observa velocidade média de 2,6 m/s. Ao longo do segundo semestre do ano, com a redução dos índices de pluviosidade e o aumento das médias de temperatura, os ventos apresentam velocidade média de 4,5 m/s, sendo que em setembro ela alcança 5,0 m/s.

O regime eólico na região estudada apresenta dois padrões distintos: no primeiro semestre do ano a média das velocidades dos ventos situa-se entre 4,0 e 7,0 m/s, com as rajadas de menor velocidade ocorrendo entre março e abril. No segundo semestre ocorrem ventos mais intensos que atingem quase 12,0 m/s.

A velocidade média dos ventos ao longo do primeiro semestre para o período é de 6,42 m/s, aumentando ao longo do segundo semestre do ano, cuja média é de 9,45 m/s, com média anual de 7,93 m/s. Percebe-se, claramente, uma diferenciação entre as médias verificadas nos dados de Fortaleza e do Pecém. Isto ocorre em razão da altura das medições realizadas, de 40,0 m nos monitoramentos das empresas, e de 10,0 m de altura nas torres das estações meteorológicas.

4.5.4. Insolação/Evaporação

A insolação apresenta-se mais elevada no período seco e mais baixa no chuvoso, com valores médios que variam de 158,0 horas de sol em abril e 294,0 horas em agosto.

A atividade convectiva que dá origem à formação de nuvens está diretamente relacionada à presença de sistemas geradores de precipitação e, portanto, a nebulosidade mantém uma relação direta com a distribuição das chuvas, com valores médios mais elevados no mês de março (6,6 mm) e mais baixos no mês de agosto (3,8 mm).

4.5.5. Balanço Hídrico

A Tabela 01 contém os dados relativos ao balanço hídrico desenvolvido para São Gonçalo do Amarante. Os valores de PPT-ETP (Precipitação-Evapotranspiração potencial) apresentam-se positivos por ocasião do período chuvoso (Fevereiro a abril), totalizando 248 mm, o que implica em um potencial de água no solo, repercutindo no pleno desenvolvimento das plantas, na potencial recarga de água para os aquíferos e no escoamento superficial havendo, portanto, disponibilidade de recursos hídricos para a área.

Os valores médios mensais de evapotranspiração potencial (ETP) são elevados, sendo superiores a 133 mm, atingindo valores de 161 mm e totalizando 1.687mm anuais. A evapotranspiração real varia de 140 mm (março) a 3 mm (novembro), com média anual de 75,16 mm tendo-se, portanto, uma deficiência hídrica de janeiro a junho e correspondendo, assim, ao período em que falta água no solo, totalizando 784 mm.

O balanço hídrico serve para estabelecer uma tipologia climática para a área em estudo, de acordo com a classificação proposta por Thornthwaite & Mather (1955), observando-se para São Gonçalo do Amarante o tipo climático C1 W1 A'a'.

Tabela 01 - Balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite & Mather (1955) - Local: São Gonçalo do Amarante – Ceará – Capacidade de armazenamento do solo: 100mm

MÊS	T	EP	Corr	ETP	PPT	PPT-ETP	NegAc	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	(°C)	(mm)	(q)	(mm)								
							0	100	0			
JAN	27,3	148	1,04	154	94,8	-60	-60	84	-16	111	44	0
FEV	27,0	142	0,94	134	167	33	0	100	16	134	0	17
MAR	26,6	134	1,04	140	258	118	0	100	0	140	0	118
ABR	26,6	134	1	134	233	99	0	100	0	134	0	99
MAI	26,5	133	1,03	136	132	-5	-5	145	45	86	50	0
JUN	26,2	127	0,99	126	81	-45	-50	93	-52	133	8	0
JUL	26,0	123	1,02	126	35,6	-90	-140	38	-55	91	35	0
AGO	26,4	131	1,02	133	5,2	-128	-268	10	-27	32	101	0
SET	26,8	138	0,99	137	6,6	-130	-398	3	-8	14	123	0
OUT	27,3	148	1,03	153	2,8	-150	-548	1	-2	5	148	0
NOV	27,5	153	1	153	2,3	-150	-699	0	0	3	150	0
DEZ	27,6	155	1,04	161	19,2	-142	-840	0	0	19	142	0
Totais	-	1667	-	1687	1037	-650	-	-	-	903	784	234
Índice de Aridez = 47,0						C1 - Subúmido seco						
Índice Hídrico = - 32,9						W1 - Grande déficit no inverno e na primavera						

Índice de Umidade = 14,0

A' – Megatérmico

a' - Sem variação estacional da temperatura

Fonte: Costa (2006). LEGENDA: T = temperatura (°C); PPT = precipitação; ETP – evapotranspiração potencial; ARM – armazenamento de água no solo; ALT – variação do armazenamento; ER – estimativa da evapotranspiração real; EXC – excedente hídrico; DEF – deficiência hídrica.

A Figura 04, diz respeito ao balanço hídrico do Município de Aquiraz (1989 a 2009), onde se observa o excedente de precipitação – PPT durante os meses de Fevereiro a junho e seu déficit de julho a janeiro.

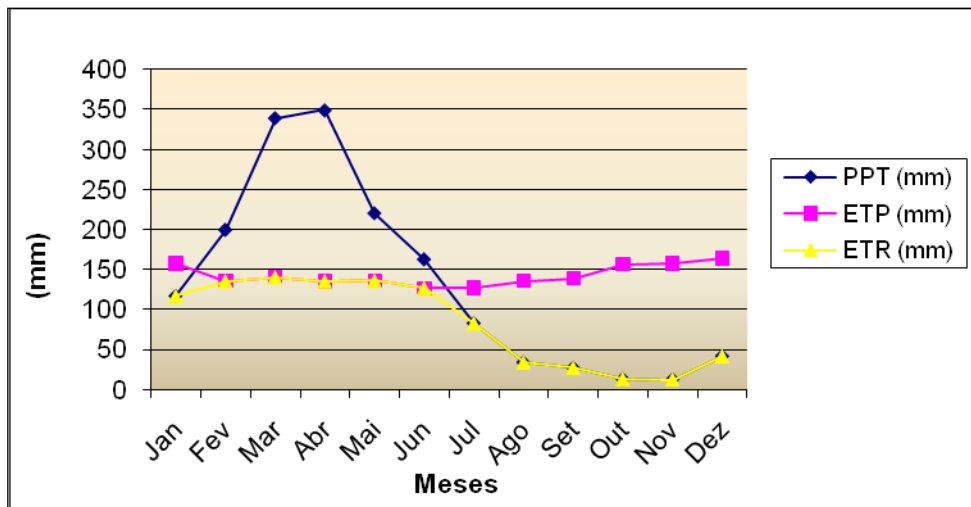


Figura 04. Balanço hídrico no município de Aquiraz – RMF

A Figura 05 mostra o balanço hídrico do Município de Fortaleza (1989 a 2009), onde observa-se o excedente de precipitação - PT durante os meses de janeiro a maio e seu déficit de junho a janeiro.

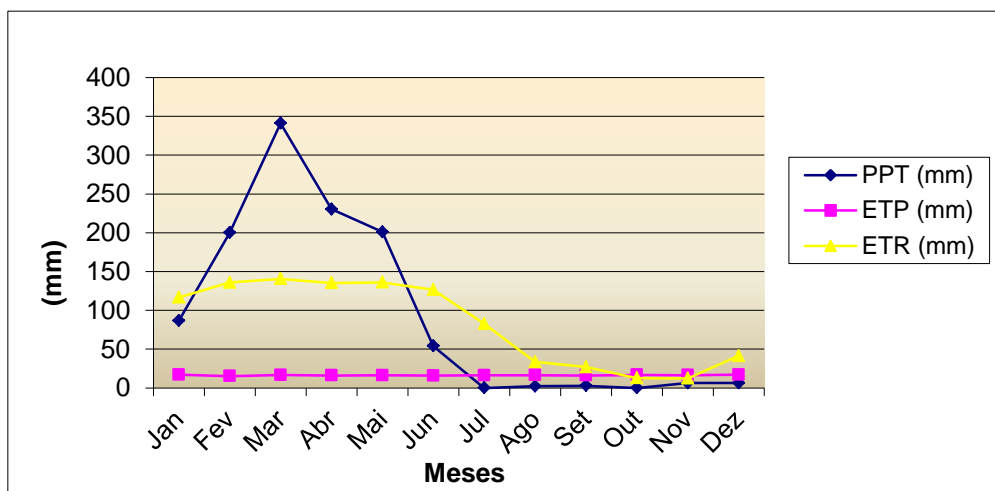


Figura 05. Balanço hídrico no município de Fortaleza - RMF

A Figura 06 diz respeito ao balanço hídrico do Município de Caucaia (1989 a 2009), onde observa-se o excedente de precipitação - PPT durante os meses de fevereiro a abril e seu déficit de maio a janeiro.

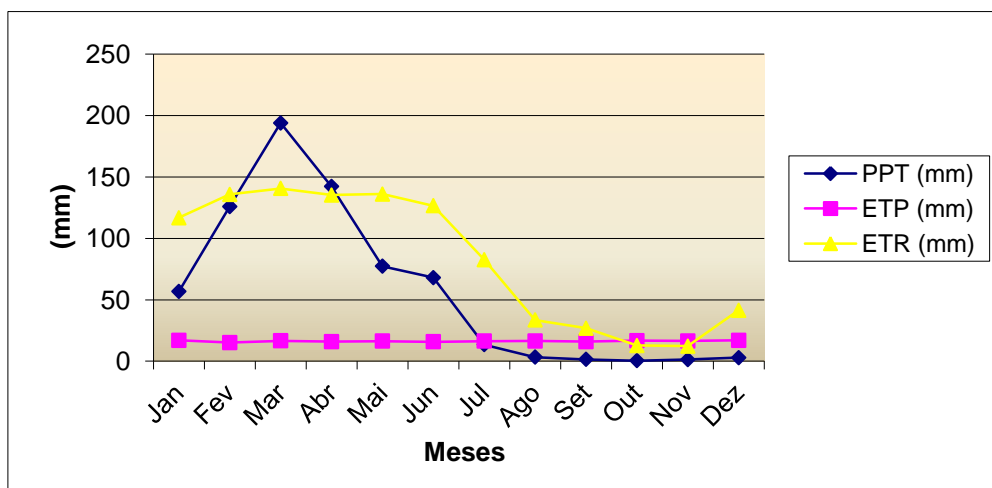


Figura 06. Balanço hídrico no município de Caucaia – RMF

A Figura 07 se refere ao balanço hídrico do Município de São Gonçalo do Amarante (1989 a 2009), onde se observa o excedente de precipitação – PPT durante os meses de fevereiro a meados de junho, e seu déficit de julho a janeiro.

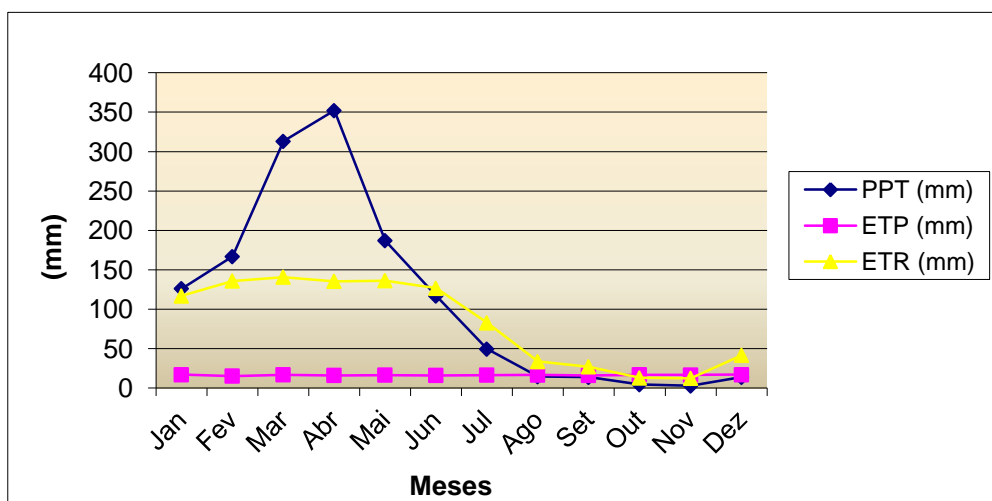


Figura 07. Balanço hídrico do município de São Gonçalo do Amarante - RMF

Sinteticamente, na Tabela 02 se apresenta um painel climático formatado para a área de Aquiraz, Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante – ano 2009, contemplando os indicadores hidroclimáticos.

Tabela 02 - Painel climático dos Municípios de Aquiraz, Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante – RMF, Ceará (2009)

Municípios	Temperatura (°C)	Pluviometria	Período Chuvoso	Período Seco	Umidade Relativa (%)	Radiação Solar (Kj/m ²)	Velocidade dos Ventos (Km/h)	Período de < Ventania	Período de > ventania
Aquiraz	26,63	2.302,1	Fevereiro à Maio	Agosto à Dezembro	–	–	–	Janeiro à Julho	Agosto à Dezembro
Fortaleza	26,62	2.216,2	Fevereiro à Maio	Agosto à Dezembro	72,12	4.120,13	7,92	Janeiro à Julho	Agosto à Dezembro
Caucaia	26,62	2.165,4	Fevereiro à Maio	Agosto à Dezembro	72,96	7.305,66	6,48	Janeiro à Julho	Agosto à Dezembro
São Gonçalo do Amarante	26,91	1.896,6	Fevereiro à Maio	Agosto à Dezembro	69,66	3.702,38	7,48	Janeiro à Julho	Agosto à Dezembro

Fonte: Morais, 2010.

Assim, conforme a classificação climática de Thornthwaite & Mather (1955), São Gonçalo do Amarante possui um tipo climático sub-úmido, com grande deficiência hídrica no inverno e primavera (junho a dezembro), megatérmico, sem variação estacional da temperatura, apresentando pequena variação da evapotranspiração potencial ao longo do ano.

Considerando-se a classificação de Gaussen, que ressalta os parâmetros bioclimáticos, e permite um melhor relacionamento com as paisagens fitogeográficas, levando em conta o ritmo das temperaturas e as precipitações durante todo o ano, utilizando médias mensais e considerando os estados favoráveis e desfavoráveis à vegetação, o clima na região engloba os tipos *4bTh* e *4cTh*, refletindo curva térmica sempre positiva, dias curtos e secos, índice xerotérmico variando entre 0 e 200, e período seco variando entre 1 e 8 meses consecutivos. O período seco (verão) e o período úmido (inverno) são bem acentuados e nitidamente marcados. A região termaxérica é caracterizada por curva térmica sempre positiva (entre 15°C e 20°C para mês mais frio).

5. METODOLOGIA DE TRABALHO

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada na execução desta pesquisa, representada pela pesquisa bibliográfica, cadastro dos poços d'água, elaborações das bases temáticas, elaboração do arquivo de dados, etapas de campo, integração e discussão dos dados e elaboração da dissertação.

O desenvolvimento do estudo consiste das etapas descritas a seguir.

5.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Os trabalhos e estudos realizados tratam do levantamento da bibliografia existente, relativa aos aspectos hidrogeológicos em zona costeira.

Nesta etapa procedeu-se a pesquisa junto aos órgãos públicos, tais como CPRM (Serviço Geológico do Brasil), DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), SRH (Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará), COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará), IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Estado do Ceará), CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará), UFC (Universidade Federal do Ceará) e trabalhos relacionados à Região Metropolitana de Fortaleza sob forma de monografias, dissertações e teses desenvolvidas particularmente no âmbito do Programa de

Pós-Graduação do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, trabalhos em congressos e revistas técnicas especializadas.

5.2. CADASTRO DE POÇOS TUBULARES

O cadastro compreendeu o levantamento de dados de poços até 2010. O trabalho teve por finalidade obter informações sobre os dados técnicos construtivos, litológicos e hidrogeológicos (parâmetros físicos e hidrodinâmicos), bem como obter subsídios para o acompanhamento da evolução temporal e a distribuição espacial dos poços na área estudada. A partir do SIAGAS/CPRM, foram obtidos 1.023 poços tubulares (Anexo I – Cadastro dos Poços Tubulares), individualizando-se os dados dos poços tubulares para os 10 blocos dunares objetos da pesquisa.

As informações coletadas por bloco foram: nº do ponto, coordenadas UTM, município, localização, proprietário, data da construção do poço, profundidade, nível estático (NE), nível dinâmico (ND), vazão, condutividade elétrica e situação do poço. Apesar de importantes, dados como os de localização e características dos filtros, capacidade específica e perfis litológicos dos poços descritos tecnicamente, raramente constam no cadastro. Em sua totalidade, os poços são construídos para captação de água para um determinado usuário, não para pesquisa técnico-científica, ocorrendo dispersão dos dados.

Foram obtidas bases plani-altimétricas nas escalas 1:10.000, 1:20.000 e 1:40.000, fundamentais para a localização dos poços tubulares e, ainda, os mapas geológico, geomorfológico e de solos nas escalas 1:100.000 e 1:50.000. Utilizando programas computacionais gráficos (MAX-CAD e SPRING), ARCGIS 9.3, através do sistema de avaliação de 90 (noventa dias) fornecido pela empresa ESRI e técnicas que atualmente se dispõem na informática, tais como o georreferenciamento, fotografia digital, utilização de GPS, conservando-se as informações originais, as bases foram convertidas para a escala 1:100.000 e escala 1:50.000, facilitando o manuseio das mesmas e a apresentação documental.

5.3. ELABORAÇÕES DE BASES TEMÁTICAS

Com o objetivo de se dispor de bases técnicas integradas ao estudo, os diversos mapas cadastrados foram atualizados, integrados e convertidos para as escalas 1:100.000 e 1:50.000 adequada a cada finalidade, sendo os dados sintetizados no Mapa do Sistema Aquífero Dunas e Distribuição de Poços na Região Metropolitana de Fortaleza- RMF do Ceará – Escala

1:100.000 e Mapas de Delimitação Espacial dos Blocos Dunares de I a X da Região Metropolitana de Fortaleza -CE, Escalas 1:50.000 .

Com o objetivo de se entender o comportamento espacial das características específicas a serem consideradas para o estudo, a exemplo de vazão de poços e nível estático, foram elaboradas bases temáticas nas escalas 1:100.000 e 1:50.000, propiciando a visualização espacial das informações, sendo :

- a) Mapa do Sistema Aquífero Dunas e Distribuição de Poços na Região Metropolitana de Fortaleza-CE, escala 1:100.000.
- b) Mapa de Delimitação Espacial dos Blocos Dunares (I a X), na Região Metropolitana de Fortaleza-CE, escala 1:50.000.

5.4. ETAPAS DE CAMPO

Nessas etapas foram estudados os blocos de dunas, anteriormente definidos, e as características hidrogeológicas imprescindíveis ao desenvolvimento da Dissertação. Foram realizadas 2 (duas) etapas completas (nos 10 blocos) de campo, sendo a primeira durante os meses de fevereiro/março de 2010 e a segunda durante os meses de outubro/novembro de 2010. Ressalta-se que, nesse intervalo e posteriormente, foram realizadas mais seis (6) etapas direcionadas a observação de aspectos hidrogeológicos particulares por bloco.

Tal material serviu para a composição de um arquivo de dados em meio digital que propiciou a elaboração das bases temáticas específicas. As informações e/ou dados foram tratados, distribuídos e organizados em um arquivo de dados em planilha Excel, gerando gráficos diversos.

As etapas de campo buscaram elucidar dúvidas e/ou obter novos dados para a pesquisa. Sempre que possível as informações sobre a localização de pontos d'água foram trabalhadas sobre a base planialtimétrica, integrada ao contexto hidrogeológico e à ocupação do meio físico.

Foi realizado um processo de análise crítica de todos os dados obtidos, permitindo a verificação da validade dos mesmos.

5.5. TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento dos dados cadastrados, gerando informações para a pesquisa, constou da compilação, uniformização, criação de arquivo de dados, tratamento estatístico simples dos

dados numéricos e integração e/ou modificação dos mapas, gerando as bases para a execução do trabalho.

As fichas técnicas dos poços tubulares foram analisadas e as informações checadas através de mapas geológicos, hidrogeológicos e campanhas de campo.

5.6. INDIVIDUALIZAÇÃO DOS BLOCOS DUNARES

A pesquisa foi realizada em 2.963,9 km². Neste item são abordadas as características do Sistema Aquífero Dunas no que diz respeito à área de afloramento, espessura de sedimentos, posição estratigráfica e características hidrogeológicas.

Com o objetivo de elucidar mais detalhadamente os caracteres do Sistema Dunas Aquífero, subdividiu-se a área em 10 (dez) blocos distintos e individualizados se utilizando particularmente a rede de drenagem para a individualização dos blocos.

A partir do mapa de Sistema Aquífero Dunas e Distribuição de Poços (escala 1:100.000) foram medidas as características individuais dos 10 (dez) blocos (área aflorante do Aquífero Dunas e extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico), associados ao parâmetro flutuação do nível d'água anual e a porosidade efetiva para se calcular as reservas renovável, permanente e total, a disponibilidade potencial do aquífero (disponibilidade instalada e instalável) e os recursos exploráveis ou potencialidade aquífera.

✓ **Bloco I** – Compreende o trecho entre o Riacho Caponga Funda e a Ponta do Iguape, possuindo 2.247,00 x 10⁴ m², com extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 11.414,04 m e encontra-se no Município de Aquiraz.

✓ **Bloco II** – Compreende o trecho entre a Ponta do Iguape e a Foz do Rio Pacoti, possuindo 2700 x 10⁴ m², com extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 17.974,35m, encontra-se no Município de Aquiraz.

✓ **Bloco III** – Compreende o trecho entre o Rio Pacoti e o Rio Cocó com 587,5 x 10⁴ m², uma extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 6.830,75 m e encontra-se no Município de Fortaleza. É constituído de areias finas a média, homogêneas e com pequenas intercalações de argila orgânica escuras.

✓ **Bloco IV** – Compreende o trecho entre o Rio Cocó e Ponta do Mucuripe, possuindo 1486,11 x 10⁴ m², uma extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 8363,81 m e encontra-se no Município de Fortaleza.

✓ **Bloco V** – Compreende o trecho entre a Ponta do Mucuripe e Praia de Iracema, possuindo $4476,36 \times 10^4 \text{ m}^2$, uma extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 7.535,5 m e encontra-se no Município de Fortaleza.

✓ **Bloco VI** – Compreende o trecho entre a Praia de Iracema e o Rio Ceará, possuindo $2849,05 \times 10^4 \text{ m}^2$, uma extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 8.087,17 m, encontrando-se no Município de Fortaleza.

✓ **Bloco VII** – Compreende o trecho entre o Rio Ceará e Praia do Icaraí/Pacheco, possuindo $2467,42 \text{ m}^2$, extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 8341,96 m e encontra-se no Município de Caucaia.

✓ **Bloco VIII** – Compreende o trecho entre a Praia Pacheco/Icaraí e Riacho Cauípe, possuindo $3503,13 \times 10^4 \text{ m}^2$, uma extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 16.812,52 m e encontra-se no Município de Caucaia. Trata-se da Micro-Bacia do Cauípe e grandes lagoas que ocorrem associadas ao cordão de dunas (Lagoas do Banana e do Parnamirim).

✓ **Bloco IX** – Compreende o trecho entre o Riacho Cauípe e Porto do Pecém, possuindo $3.436,487 \times 10^4 \text{ m}^2$, uma extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 8796,2 m e encontra-se no Município de Caucaia.

✓ **Bloco X** – Compreende o trecho entre o Porto do Pecém e Rio São Gonçalo, possuindo $5.885,71 \times 10^4 \text{ m}^2$, extensão da frente de escoamento para o Oceano Atlântico de 15.659,85 m e encontra-se no Município de São Gonçalo do Amarante.

6. HIDROGEOLOGIA

O Sistema Aquífero Dunas da RMF foi mapeado hidrogeologicamente pela primeira vez por Bianchi *et al.* (1984) que delimitaram 9 (nove) campos com áreas oscilando de 50 a 3.227 ha e altitudes variando de 10 a 60 m ressaltando-se que na época deste estudo o município de São Gonçalo do Amarante não pertencia a RMF.

Ocupa uma área bordejando a orla costeira da RMF, com largura média de 2,5 km, adentrando um pouco mais ao continente nos setores central - município de Fortaleza, e a leste - município de Aquiraz. Formam campos morfológicamente homogêneos, recortados, ocasionalmente, pela rede de drenagem e possibilitando a existência de lagoas interdunares. Formam faixas paralelas a costa, abrangendo uma área relativamente extrema, repousando, principalmente, sobre sedimentos da Formação Barreiras, constituídos de sedimentos muito

bem selecionados, de granulação fina a média, predominantemente de quartzos, subarredondados a arredondados.

Neste trabalho é ressaltada a necessidade da preservação destas áreas em função da importância que estas representam para o abastecimento de água e a conservação hidroambiental.

É composto por areias pouco consolidadas e extremamente homogêneas, finas a médias, com diâmetro efetivo predominando entre 0,15 a 0,25 mm e espessuras entre 10 a 30 m. Ocasionalmente ocorrem intercalações de níveis síltico-argilosos a argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos clásticos, e a presença de intercalações de argilas orgânicas, de tonalidades escuras, a exemplo do que existe em Batoque, município de Aquiraz e também em Abreulândia e Cocó, município de Fortaleza. No geral, repousam sobre os sedimentos da Formação Barreiras ou sobre manchas aluvionares (CAVALCANTE, 1998).

Indiscutivelmente representa um excelente potencial hidrogeológico, representando um aquífero livre, com espessuras saturadas oscilando de 3,0 m até 10,0 m, e nível estático normalmente sub-aflorante nas áreas de descarga, atingindo, em média, 4,0 m.

Suas águas são captadas por poços tubulares rasos com profundidades inferiores a 20 m, perfurados, normalmente, em 10” e revestidos em 6” ou 4”, que produzem vazão média de 6,0 m³/h, podendo alcançar, localmente, até 15,0 m³/h. Possui como característica básica uma dupla função hidrogeológica, refletida no funcionamento do sistema como aquífero principal e aquífero de transferência do potencial hídrico, para unidades sotopostas, a exemplo da Formação Barreiras (CAVALCANTE, op. Cit.).

Estudos hidrogeológicos nos campos de dunas da Abreulândia em Fortaleza consistiram na prospecção e exploração de água potável para abastecimento público, demonstrando uma elevada vocação aquífera para profundidade, vazão, níveis estáticos e dinâmicos, em que rebaixamento e capacidade específica são mostrados na Tabela 03.

Tabela 03. Dados dos poços tubulares rasos nas Dunas de Abreulândia, Fortaleza

Poço	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Cap. Específica [(m ³ /h)/m]
01	16,8	13,0	4,1	5,7	1,6	8,12
02	15,0	10,8	3,2	6,8	3,6	3,00
03	13,6	10,8	3,8	4,7	0,9	12,00
04	11,6	13,0	3,1	4,7	1,6	8,12

05	10,9	10,8	3,5	5,0	1,5	7,20
06	11,5	8,1	3,1	4,6	1,5	5,40
07	11,4	9,3	5,4	6,2	0,8	11,62
08	12,2	7,2	4,4	5,5	1,1	6,54
09	11,1	8,1	4,2	5,4	1,2	6,75
10	12,6	9,3	3,3	4,9	1,6	5,81
11	12,1	8,1	3,5	4,8	1,3	6,23
12	12,2	5,9	4,1	5,0	0,9	6,55
13	10,0	13,0	3,3	4,5	1,2	10,83
14	11,1	9,3	4,6	6,1	1,5	6,20
15	9,4	8,1	2,9	4,4	1,5	5,40
16	9,9	13,0	4,2	5,3	1,1	11,81
17	12,0	13,0	4,4	5,3	0,9	14,44
18	10,0	8,1	3,6	5,0	1,4	5,78
19	10,5	8,1	3,6	5,4	1,8	4,50
20	11,4	8,1	4,0	4,9	0,9	9,00
21	10,4	8,1	4,3	5,9	1,6	5,06
22	10,3	10,8	4,1	6,5	2,4	4,50
23	11,4	6,5	4,7	5,8	1,1	5,90
24	11,3	6,5	4,7	5,9	1,2	5,41
25	11,4	7,2	5,1	6,2	1,1	6,54
Média	11,1	9,1	3,96	5,38	1,42	7,30

Fonte: CAGECE / PLANAT, 1978

LEGENDA: Prof. - Profundidade NE - Nível estático; ND - Nível dinâmico; Q – Vazão; Cap. Esp - Capacidade Específica

Os dados mostram que o nível estático oscila de 2,9 a 5,4 m, com média de 3,96 m, e refletem um posicionamento sub-aflorante, sobretudo considerando-se que os dados são relativos ao mês de dezembro, ou seja, praticamente 6 (seis) meses após o período invernos. No geral, logo após a estação de chuvas (março a junho), o nível d'água sobe devido à recarga, ficando a menos de 2,0 m de profundidade, ou mesmo aflorando, refletido pelo afloramento do nível d'água.

As sondagens prospectivas realizadas em 2^o mostram para o meio uma espessura média de 11,0 m, com espessura saturada oscilando de 4,3 a 9,3 m. A profundidade média dos

poços em Abreulândia é de 11,14 m, com máxima e mínima de 16,80 m e 9,40 m, respectivamente, refletindo o topo da Formação Barreiras, silto-argilosa, considerada, localmente, como um aquítarde.

A vazão média é de 9,11 m³/h, com máxima e mínima de 13,0 e 5,9 m³/h, respectivamente, o que reflete em valores elevados para o campo de Abreulândia, comparativamente ao do Cocó (vazão média de 6,0 m³/h) - município de Fortaleza, ou a outros campos dunares da RMF, a exemplo de Pecém com vazão média de 2,4 m³/h (CAGECE PLANAT, 1978). Incompatível, porém, com o valor médio encontrado para São Gonçalo do Amarante (8,7 m³/h), conforme mostra a Tabela 04.

Tabela 04. Valores médios dos parâmetros do Aquífero Dunas - orla costeira da RMF

Local	Município	N^o de Testes	Q (m³/h)	K (m/s) x 10⁻⁴	T (m²/h)	ho (m)
Cocó	Fortaleza	135	7,26	2,50	6,98	7,7
Pecém	Pecém	22	2,4	1,40	3,88	7,7
S. Gonçalo do Amarante	S.Gonçalo do Amarante	09	8,7	1,00	4,32	12,0

Fonte: CAGECE, 1982 in Cavalcante, 1998 LEGENDA: Q – Vazão; K – Condutividade hidráulica; T – Transmissividade; ho – Espessura saturada.

O fluxo das águas subterrâneas se processa para o mar onde são observadas fontes difusas ao longo da costa, lagoas interdunares e zonas aluvionares, pertencentes as bacias dos rios Pacoti, Cocó e Ceará. Porém, as maiores perdas d'água do aquífero são por consequência da intensa evapotranspiração, associada a um nível estático sub-aflorante. A recarga é iminentemente pluviométrica, salvo exceções causadas por drenagens influentes (CAVALCANTE, 1998).

Em função dos elevados coeficientes de condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade efetiva, associados, ainda, a um nível estático extremamente raso, o Sistema Aquífero Dunas é altamente susceptível à poluição, representando um sistema extremamente vulnerável aos impactos antrópicos negativos, resultantes do uso e da ocupação do meio físico, com um fator efetivo de risco.

Cavalcante (1998) utilizando dados de área (A = 184,7 km²), variação do nível estático ($\Delta h = 1,5m$) e porosidade efetiva ($\eta_e = 15\%$), estimou para as *reservas renováveis* do Sistema Dunas na RMF um volume de 41,5 milhões de m³/ano. Considerando a espessura média

saturada (b) de 6,4 m, a *reserva permanente* obtida para este sistema foi de 177,3 milhões de m³.

Na Hidrogeologia, o sistema aquífero é representado pelo pacote litológico capaz de armazenar e permitir a exploração da água, variável na escala de tempo no caso das dunas, e não unicamente pela espessura saturada, sendo esta uma condição de estudo. No caso das dunas, o posicionamento do nível estático é função da sazonalidade climática, isto quer dizer que a espessura saturada mínima pode, posteriormente, atingir o máximo, ou vice-versa.

A capacidade específica pode ser definida como uma medida de eficiência da obra de captação, reflexo das características hidrogeológicas locais, do projeto técnico-construtivo do poço, das características do equipamento de teste e do tempo empregado no mesmo, sendo obtida da divisão de vazão pelo rebaixamento. O valor médio para a bateria de poços de Abreulândia é de 7,30 [(m³/h)/m], com valores oscilando entre 3,0 e 14,44 [(m³/h)/m], elevados, comparativamente, aos outros campos de dunas (CAVALCANTE, 1998).

A espessura varia de pouco mais de 10m a 30m, com seus eixos de escoamento subterrâneo voltados para a costa e para o interior. O sistema é abastecido, exclusivamente, pela precipitação pluviométrica nas zonas saturadas, com variações de acordo com a cota piezométrica.

A qualidade das águas desses sistemas é normalmente boa, com valores de resíduos seco inferiores a 500mg/L, contudo sua potabilidade acha-se constantemente ameaçada pela contaminação de agentes infecciosos, devido à existência indevida de fossas negras e a todos os fatores ligados a desordenada urbanização.

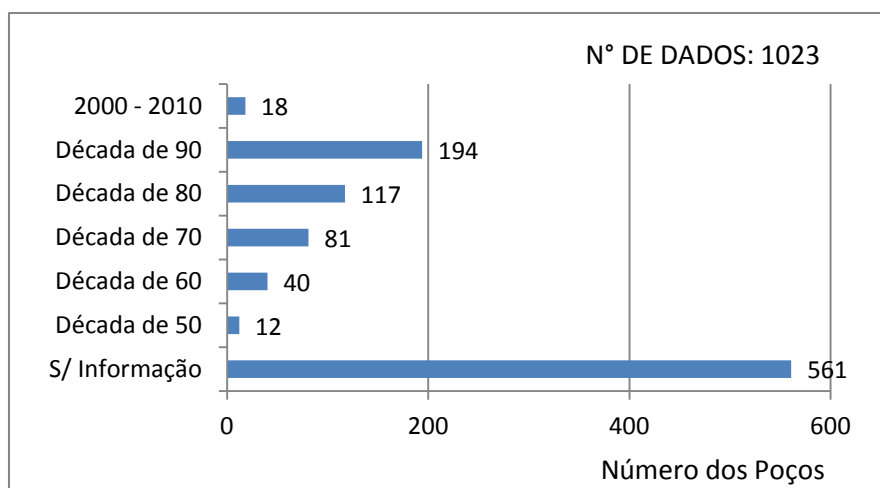
Há grandes possibilidades de captação de água subterrânea neste sistema, mesmo próximo na linha de costa, devido à existência de sedimentos da Formação Barreiras, que sotopostos às dunas funcionam como uma “barragem subterrânea”, impedindo o fluxo ascendente de água salgada, aliado ao fato de que em quase todo o aquífero pode ocorrer um bom equilíbrio hidrodinâmico (BIANCHI, PADILHA & TEIXEIRA, 1984).

7. DADOS GEOESTATÍSTICOS

Após a coleta dos dados, estes foram tabulados e consistidos em tabelas e figuras, gerando informações sobre os aspectos abordados.

- **Evolução da construção dos poços tubulares**

Observou-se que 194 poços foram construídos na década de 90, enquanto 117 poços foram construídos na década de 80. A década que apresentou o menor número de poços foi a de 50, com 12 poços. 561 poços não apresentaram informação e observa-se que houve uma queda considerável no intervalo entre 2000 – 2010 (Figura 08).

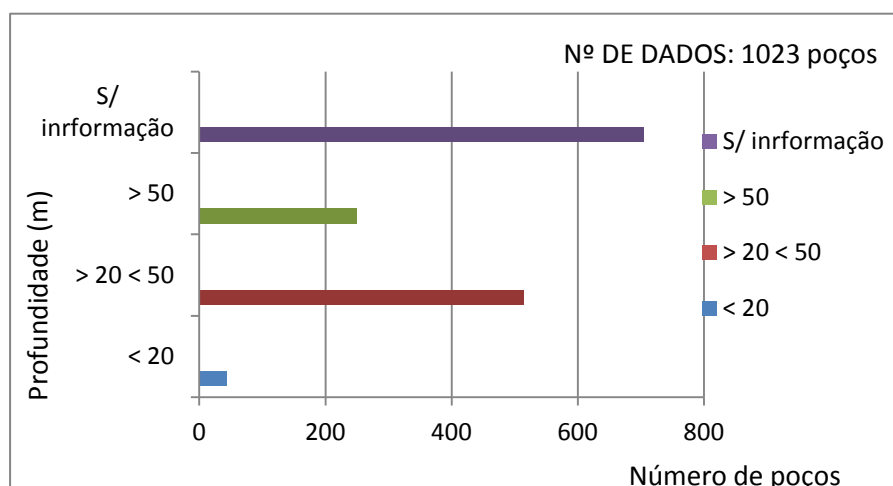


Fonte: SIAGAS CPRM, 2010

Figura 08. Evolução temporal da construção dos poços na área de estudo

- **Profundidade dos Poços Tubulares**

Na Figura 09 foram estabelecidos intervalos com referência no manual da SRH (CEARÁ, 2008). Verificou-se que 249 poços possuem profundidades acima de 50m, sendo considerados profundos; 514 poços estão compreendidos entre 20 e 50 m, sendo considerados medianamente profundos, enquanto que 44 poços estão abaixo de 20 m, sendo considerados rasos. Ressalta-se que 705 poços não apresentaram informação.



Fonte: SIAGAS CPRM, 2010

Figura 09. Profundidade dos poços tubulares da área de estudo

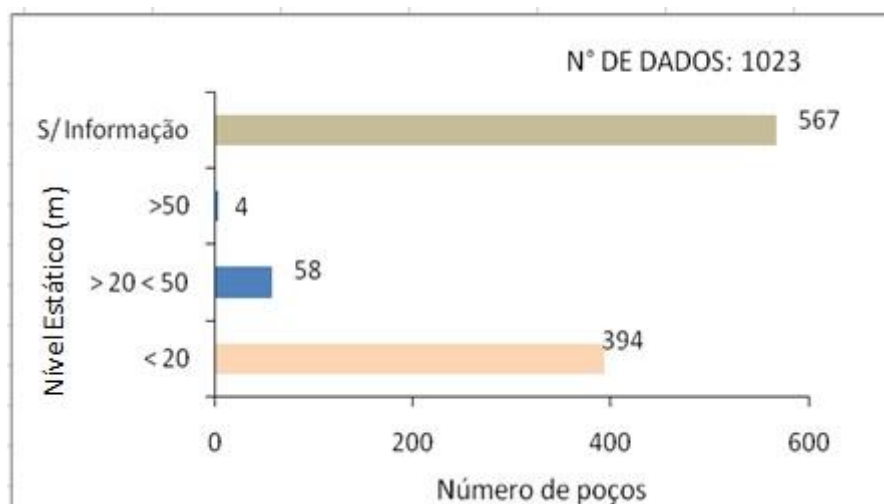
A partir do arquivo de poços, tem-se que o Bloco II apresentou o maior valor médio de profundidade, assim como os maiores valores de moda, mediana, desvio-padrão e variância; o Bloco VII apresentou os menores valores de desvio-padrão e variância (Tabela 05).

Tabela 05. Estatística descritiva para a variável profundidade (em metros) para todos os blocos dunares da área de estudo.

Bloco	Média	Moda	Mediana	Desvio padrão	Variância	Mínimo	Máximo
Bloco I	48,57	50,00	50,00	10,75	115,49	24,00	65,00
Bloco II	59,58	60,00	60,00	19,43	377,44	25,00	150,00
Bloco III	53,17	60,00	52,00	13,02	169,56	30,00	84,00
Bloco IV	55,60	50,00	54,00	11,28	127,19	37,00	82,00
Bloco V	47,93	50,00	47,00	12,04	145,03	14,00	122,00
Bloco VI	43,52	50,00	42,00	15,29	233,77	12,00	91,00
Bloco VII	45,04	60,00	45,00	10,06	101,12	30,00	62,00
Bloco VIII	33,11	20,00	32,50	14,68	215,43	10,00	60,00
Bloco IX	18,50	15,00	15,00	14,96	223,83	8,00	60,00
Bloco X	19,17	40,00	14,00	15,36	235,97	5,00	50,00

- **Nível Estático**

O nível estático é o nível do estado natural do aquífero. Verificou-se na Figura 10 que 394 poços apresentaram nível estático menor que 20 m; 58 poços corresponderam ao intervalo entre 20 a 50 m, enquanto quatro (4) poços apresentaram nível estático maior que 50 m. 567 poços não apresentaram informação.



Fonte: SIAGAS CPRM, 2010

Figura 10. Nível estático dos poços tubulares na área de estudo

O Bloco IV apresentou o maior valor médio de nível estático e os maiores valores de desvio-padrão e variância, enquanto o Bloco I apresentou os menores valores de desvio-padrão e variância. Foi observado o maior valor de mediana no Bloco VII (Tabela 06).

Tabela 06 - Estatística descritiva para a variável nível estático (em metros) para os Blocos de I a X na área de estudo

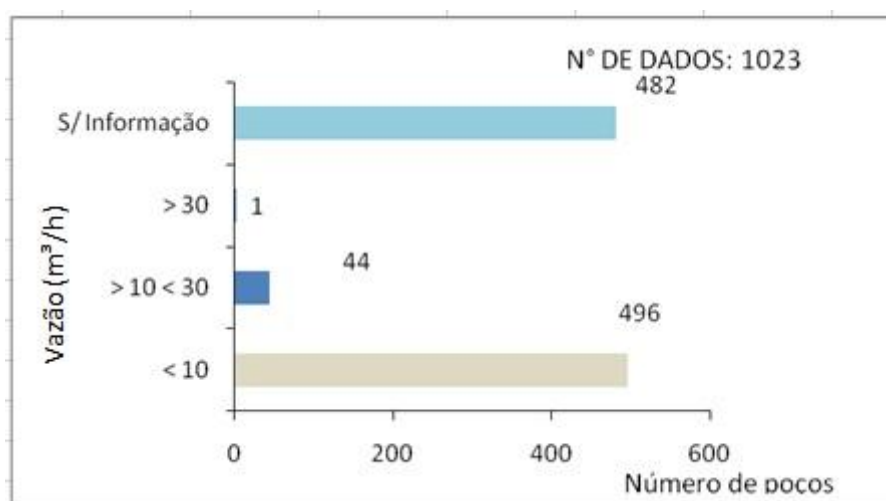
Bloco	Média	Moda	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Mínimo	Máximo
Bloco I	6,22	4,00	4,75	3,77	14,24	2,80	13,00
Bloco II	12,38	2,00	11,50	8,44	71,31	0,60	32,00
Bloco III	8,34	11,00	8,00	4,09	16,76	0,80	17,00
Bloco IV	13,46	4,00	8,02	13,20	174,34	1,50	48,50
Bloco V	9,43	6,00	8,60	5,92	35,08	0,80	47,20
Bloco VI	6,27	5,00	5,50	4,33	18,73	0,50	42,00
Bloco VII	11,65	6,60	11,60	4,96	24,60	6,60	18,00
Bloco VIII	6,55	5,00	3,92	6,78	46,02	1,42	27,00

Bloco IX	7,00	nd*	7,00	nd*	nd*	7,00	7,00
Bloco X	8,64	2,00	3,75	11,08	122,66	2,00	25,07

*(nd) = não determinado

- **Vazão dos Poços Tubulares**

Observou-se que 496 poços apresentaram vazões inferiores a 10 m³/h; 44 poços apresentaram vazão entre 10 e 30 m³/h, enquanto um poço apresentou vazão superior a 30 m³/h. 482 poços não apresentaram informação de vazão (Figura 11).



Fonte: SIAGAS CPRM, 2010

Figura 11. Vazão dos poços dos poços tubulares da área de estudo

Os poços do Bloco VIII apresentaram o maior valor médio de vazão e os maiores valores de desvio-padrão e variância enquanto os do Bloco IX apresentaram os menores valores de desvio-padrão e variância. Foi observado o maior valor de mediana no bloco IV. (Tabela 07)

Tabela 07. Estatística descritiva para a variável vazão (m³/h) para os poços dos Blocos de I a X da área de estudo

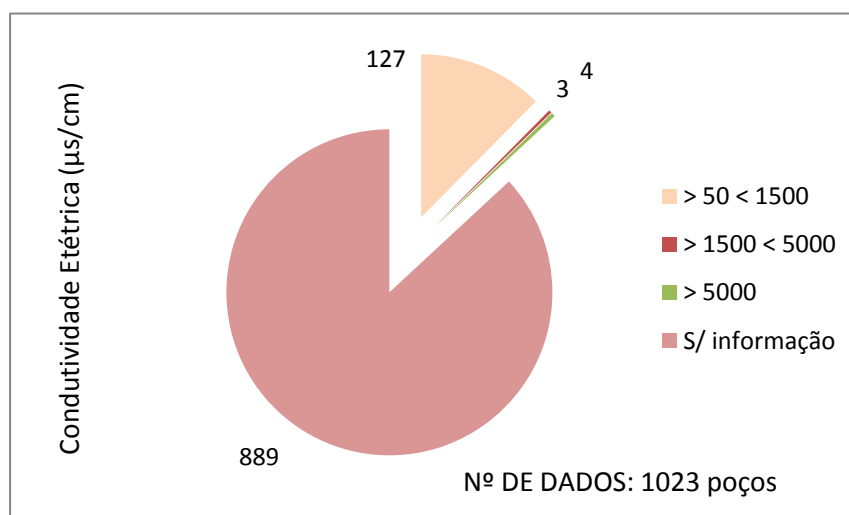
Bloco	Média	Moda	Mediana	Desvio padrão	Variância	Mínimo	Máximo
Bloco I	3,17	-	3,00	2,07	4,30	0,60	6,54
Bloco II	3,02	2,50	2,50	2,45	5,98	0,40	12,30
Bloco III	4,07	2,40	2,50	4,19	17,53	0,20	19,30
Bloco IV	7,63	18,00	5,20	6,55	42,94	0,40	18,00
Bloco V	4,66	6,00	4,00	4,08	16,63	0,02	29,30

Bloco VI	4,31	4,00	3,60	3,61	13,03	0,15	20,00
Bloco VII	1,91	1,00	1,50	1,53	2,34	0,10	6,50
Bloco VIII	11,34	0,30	4,10	13,02	169,44	0,30	56,00
Bloco IX	1,50	nd*	1,50	0,71	0,50	1,00	2,20
Bloco X	1,63	nd*	1,60	0,78	0,62	0,90	2,40

*(nd) = não determinado

- **Condutividade Elétrica das Águas Subterrâneas**

Verificou-se na Figura 12 que 127 poços possuem água com condutividade elétrica superior a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C; águas de três (3) poços corresponderam ao intervalo entre 1500 a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto 4 (quatro) poços apresentaram condutividade entre 50 e 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C. Observa-se que 889 poços não apresentaram informação.

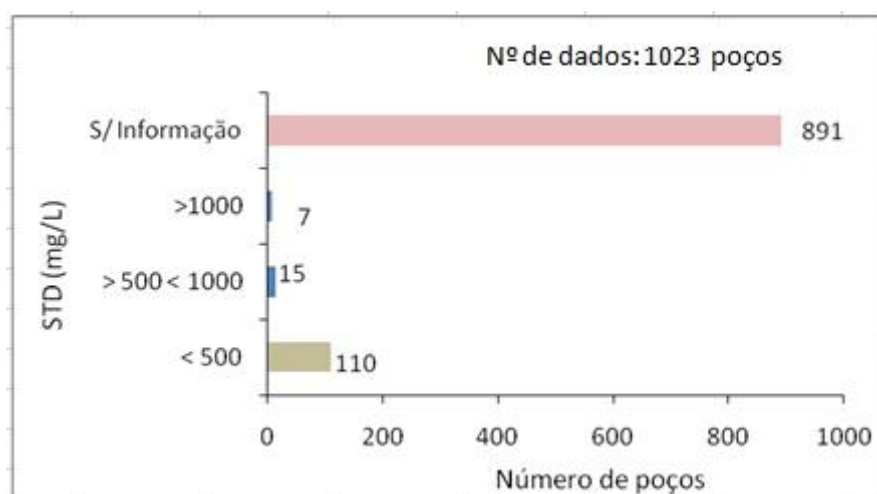


Fonte: SIAGAS CPRM, 2010

Figura 12. Condutividade elétrica dos poços

- **Sólidos Totais Dissolvidos nas Águas Subterrâneas**

Observou-se que águas de 110 poços apresentaram Sólidos Totais Dissolvidos – STD inferiores a 500 mg/L; 15 poços possuem águas que apresentaram Sólidos entre 500 e 1000 mg/L, enquanto 7 poços apresentaram STD superiores a 1000 mg/L. 891 poços não apresentaram informação de STD (Figura 13). Isto demonstra que, dentro dos dados existentes, existe uma predominância de águas potáveis para consumo humano segundo a Portaria N° 518-2004 do Ministério da Saúde, cujo limite para este aspecto é de 1.000 mg/L.

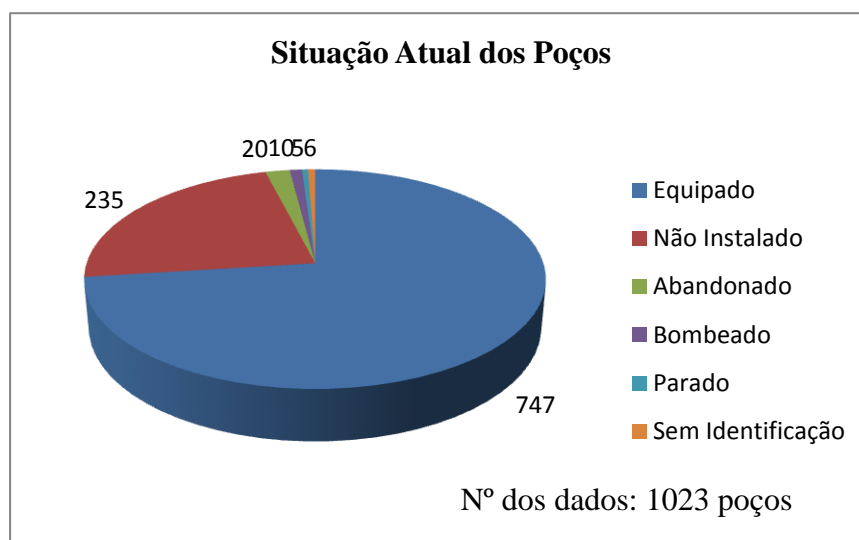


Fonte: SIAGAS CPRM, 2010

Figura 13. Sólidos Totais Dissolvidos das águas dos poços tubulares da área de estudo

- **Situação Atual dos Poços**

Verificou-se na Figura 14 que 10 poços estão abandonados; 20 poços não foram instalados; 235 poços estão equipados, enquanto 740 poços não apresentaram informação.



Fonte: SIAGAS CPRM, 2010

Figura 14. Situação atual de uso dos poços tubulares na área de estudo

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item serão apresentados os resultados obtidos no decorrer da pesquisa e, a seguir, estes serão discutidos gerando informações sobre o tema abordado. Até o momento, na literatura hidrogeológica, o cálculo de reservas está vinculado aos parâmetros de ocorrência e características físicas e hidrodinâmicas do aquífero. Porém, observa-se que fatores adversos podem modificar tais cálculos, a exemplo da recarga involuntária decorrente de perdas hídricas a partir do sistema de abastecimento da concessionária, problemas associados aos rebaixamentos do nível estático causados pelas obras de construção civil, uso e ocupação do solo. Assim, neste trabalho, serão apresentados dados sobre aspectos vinculados a recarga involuntária a partir do sistema CAGECE e abordados aspectos sobre rebaixamento de nível d'água na construção civil.

8.1. UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM OBRAS CIVIS E REBAIXAMENTO DO NÍVEL ESTÁTICO

É uma forma direta de captação de água subterrânea causada pelo rebaixamento do nível freático para a construção de obras civis subterrâneas através de ponteiros filtrantes.

Além dos potenciais impactos negativos associados aos rebaixamentos do nível freático, a exemplo da intrusão salina, essa prática se destaca no aspecto da gestão de recursos hídricos pela falta de planejamento para o reaproveitamento da água retirada e, em alguns casos, pela necessidade da outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

A construção de subsolos de edifícios, túneis e galerias, ou seja, diversas obras civis requerem escavações abaixo do nível estático (freático). Quando elas o atingem, trazendo como consequência o afloramento das águas subterrâneas, é necessário o rebaixamento das mesmas para que o meio físico mantenha-se seco para a execução das obras. Esta ação proporciona uma melhor condição de serviço durante a construção, evitando, assim a instabilidade do solo com o umedecimento saturado e o consequente desmoronamento dos lados das obras.

As consequências geradas a partir deste rebaixamento atingem as áreas circunvizinhas ao terreno em que é construída a fundação da construção. Os problemas mais comuns que acontecem são os aparecimentos de trincas nos prédios vizinhos e afundamento dos pisos, fenômenos que ocorrem devido à compactação de camadas subjacentes porosas, decorrente da extração de águas em quantidade superior à recarga do aquífero. Observa-se, ainda, que poços que captam estas águas e que estão inseridos dentro de um raio de influência deste

rebaixamento podem deixar de captar o mesmo volume hídrico, ou mesmo ter vazão nula, a exemplo do que se observa na área de influência da construção do Metrofor no âmbito do bairro Benfica.

As conseqüências do rebaixamento do nível freático em relação à subsidência, recalques e ao ocasionamento de fissuras já são bastante estudadas, mas um ponto ainda comentado no Estado do Ceará e no Brasil é o desperdício das águas subterrâneas com essa atividade, pois milhares de litros de água dos aquíferos estão sendo lançados, principalmente na drenagem pluvial, não havendo qualquer aproveitamento da mesma.

8.2. RECARGA DE AQUÍFERO DERIVADA DAS PERDAS HÍDRICAS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA CAGECE

Vazamentos ocultos de água prejudicam o abastecimento d'água dos sistemas nos municípios de Aquiraz, Fortaleza, Caucaia e São Gonçalo do Amarante. No mês de Agosto/2010 o Programa Caça-Vazamento da CAGEECE identificou, somente em Fortaleza, 117 (cento e dezessete) vazamentos nas tubulações de água da empresa. Entretanto, para este trabalho só foram conseguidos dados disponibilizados pela CAGECE da área de Fortaleza.

Estes vazamentos são identificados por aparelhos, permalogos (detectores de ruídos que trabalham durante a noite e indicam se em determinada área de cobertura há vazamentos), utilizados para monitoramento da rede e identificação das partes com suspeita de vazamentos. A média de perdas por vazamentos na unidade da Aldeota é de 22,5%, no período de Julho de 2009 à Agosto de 2010.

As hipóteses e as equações utilizadas no desenvolver do Projeto “Consultoria especializada para a avaliação da repercussão econômica sobre o sistema oficial de água subterrânea na cidade de Fortaleza- Ceará” (COGERH, 2008), mostram que a demanda total de água em Fortaleza alcançou em 2007 o volume de 131,8 milhões de m³, com as águas subterrâneas participando com 21,6 milhões de m³ (46,4%). Neste mesmo ano o volume de perdas da CAGECE alcançou 74,2 milhões de m³ do volume de água consumido em Fortaleza, representando, desta forma, 29,1% das perdas hídricas do sistema da CAGECE.

Naturalmente, os reservatórios hídricos subterrâneos de Fortaleza são recarregados pelas águas oriundas da precipitação pluviométrica, sofrendo as reduções impostas pelo meio físico. Porém, existe a recarga artificial direta, mesmo que involuntária decorrente das perdas do sistema CAGECE, que contribuem com 74,2 milhões de m³ no ano, segundo os dados analisados para o ano de 2007.

Assim sendo, pode-se, de fato, considerar que mesmo com as perdas por evaporação, evapotranspiração e retenção hídrica na zona sub-saturada, dentre outros, os reservatórios subterrâneos recebem, no mínimo, 24,7 milhões de m³ ao ano (33,3%) das águas perdidas no sistema CAGECE, assegurando um recurso explorável ou potencialidade aquífera de 43,8 milhões de m³ ao ano.

8.2.1. Análise do Relatório do Balanço Hídrico – Unidade Aldeota – CAGECE/2010

O Relatório do Balanço Hídrico na unidade de negócios - Aldeota (CAGECE, 2011) durante o período de Janeiro/2010 e Dezembro/2010 mostra um volume de recarga hídrica de $6,70 \times 10^6$ x m³/ano subdividido nos seguintes sub-volumes:

A – volume de vazamentos em redes e adutoras que representa $3,30 \times 10^6$ m³/ano, sendo que os vazamentos visíveis em adutoras e redes são de $2,08 \times 10^6$ x m³/ano; vazamentos não visíveis em adutoras (vazamentos detectáveis) de $1,1 \times 10^6$ m³/ano e vazamentos não detectáveis – inerentes de $0,11 \times 10^6$ x m³/ano.

B – volume de vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro, que representa $3,29 \times 10^6$ m³/ano (vazamentos visíveis em ramais de $1,76 \times 10^6$ x m³/ano; vazamentos não visíveis em ramais, vazamentos detectáveis de $1,00 \times 10^6$ m³/ano e vazamentos não detectáveis – inerentes de $6,70 \times 10^6$ m³/ano).

C – volumes de vazamentos e extravazamentos em reservatórios de $0,10 \times 10^6$ m³/ano (extravazamentos em reservatórios de $0,054 \times 10^6$ m³/ano; vazamentos em elementos da estrutura de $0,021 \times 10^6$ m³/ano e vazamentos em acessórios dos reservatórios de $0,027 \times 10^6$ m³/ano).

Observa-se que não acontecem perdas d'água no sistema distribuidor. A Figura 15 diz respeito a distribuição das unidades de negócio da CAGECE do Município de Fortaleza em sua totalidade e parte de Caucaia e Maracanaú.

FIGURA 15

8.2.2. Análise do Relatório Balanço Hídrico – Unidade Floresta – CAGECE/2010

O Relatório do Balanço Hídrico na unidade de negócios – Floresta (CAGECE, 2011) durante o período de Janeiro/2010 e Dezembro/2010 mostra um volume de recarga hídrica de $5,734 \times 10^6$ m³/ano subdividido nos seguintes sub-volumes:

A – volume de vazamentos em redes e adutoras, representa $2,736 \times 10^6$ m³/ano, sendo vazamentos visíveis em adutoras e redes $1,725 \times 10^6$ m³/ano, vazamentos não visíveis em adutoras (vazamentos detectáveis $0,913 \times 10^6$ m³/ano, vazamentos não detectáveis – inerentes $0,11 \times 10^6$ m³/ano).

B – volume de vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro representa $2,908 \times 10^6$ m³/ano (vazamentos visíveis em ramais $1,460 \times 10^6$ m³/ano e vazamentos não visíveis em ramais, vazamentos detectáveis $0,829 \times 10^6$ m³/ano e vazamentos não detectáveis – inerentes $0,618 \times 10^6$ m³/ano).

C – volumes de vazamentos e extravasamentos em reservatórios de $0,089 \times 10^6$ m³/ano (extravasamentos em reservatórios de $0,044 \times 10^6$ m³/ano; vazamentos em elementos da estrutura $0,022 \times 10^6$ m³/ano e vazamentos em acessórios dos reservatórios $0,022 \times 10^6$ m³/ano). Observa-se que não acontecem perdas d'água no sistema distribuidor.

8.3. RESERVAS RENOVÁVEIS

As reservas renováveis correspondem ao volume hídrico subterrâneo acumulado em função da porosidade efetiva, oscilando anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial e do escoamento subterrâneo (pluviometria e/ou recarga involuntária do sistema d'água da concessionária).

Aqui são representadas pelo volume hídrico armazenado entre os níveis de flutuação máximo e mínimo do Sistema Aquífero Dunas, participando do ciclo hidrológico em escala de tempo anual, interanual ou sazonal estando, desta forma, em constante movimento.

Adotando-se o método volumétrico para o cálculo destas reservas, aplica-se a Equação 01 para obter-se o volume disponível.

$$R_r = A \times \Delta h \times \mu e \quad [\text{Equação 01}]$$

Onde:

R_r – Reservas renováveis (m³/ano)

A - Área aflorante do Sistema Aquífero Dunas ($29.638,76 \times 10^4$ m²)

μ_e – Porosidade efetiva (0,15 ou 15%)

Δh – Flutuação anual do nível d'água (1,5 m)

Para a área total do estudo, que engloba os Blocos de I a X totalizando 2.963,9 km², as reservas renováveis representam 66,68 x 10⁶ m³/ano.

A este montante somam-se as recargas involuntárias do sistema de abastecimento d'água da CAGECE no valor de 6,7 x 10⁶ m³/ ano referente a recarga d'água da Unidade de Fortaleza, somados a 5,73x 10⁶ m³/ ano referente a recarga da unidade da Floresta, totalizando 12,43 x 10⁶ m³/ano relativos a recarga involuntária, oriunda do sistema d'água da CAGECE em parte do município de Fortaleza. Portanto, as reservas renováveis globais são em 79,1 x 10⁶ m³/ano.

8.4. RESERVAS PERMANENTES

Corresponde ao volume hídrico acumulado no sistema aquífero em função da porosidade efetiva e espessura saturada.

Representa o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico em escala de tempo plurianual, centenária ou milenar e nesta pesquisa correspondem aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação do Sistema Aquífero Dunas, sendo calculada pela Equação 02.

$$R_p = A \times h_o \times \mu_e \quad \text{[Equação 02]}$$

Onde:

R_p – Reserva permanente (m³)

A – Área aflorante do Aquífero Dunas (29.638,76 x 10⁴ m²)

h_o – Espessura saturada do aquífero (6,0 m)

μ_e – Porosidade efetiva (0,15 ou 15%)

A área possui reservas permanentes de 266,74 x 10⁶ m³ de águas subterrâneas.

8.5. RESERVAS TOTAIS

As reservas totais do Sistema Aquífero Dunas são obtidas pela somatória das reservas renováveis e permanentes (Equação 03).

$$\mathbf{R_t = R_r + R_p} \qquad \text{[Equação 03]}$$

Onde:

R_t – Reservas Totais (m³)

R_r – Reservas Renováveis (m³/ano)

R_p – Reservas Permanentes (m³)

Portanto, resulta em um volume de 345,84 x 10⁶ m³.

8.6. DISPONIBILIDADE EFETIVA INSTALADA

A disponibilidade efetiva instalada reflete o volume de água retirado dos poços operantes e é calculada pela Equação 04.

$$\mathbf{D_e = Q \times n \times t} \qquad \text{[Equação 04]}$$

Onde:

D_e – Disponibilidade efetiva (m³/ano)

Q – Vazão média dos poços (3,62 m³/h)

n – Número de poços operantes (248 poços)

t – Tempo em horas de bombeamento/ano (4 horas/dia x 365 dias)

A disponibilidade efetiva de água subterrânea na área é de 1,088 x 10⁶ m³/ano.

8.7. DISPONIBILIDADE INSTALÁVEL

A disponibilidade instalável trata do volume de água passível de ser bombeado dos poços paralisados, sendo calculada a partir da Equação 05.

$$\mathbf{D_i = Q \times n_p \times t} \qquad \text{[Equação 05]}$$

Onde:

D_i – Disponibilidade instalável (m^3 /ano)

Q – Vazão média dos poços (3,62 m^3 /h)

n_p – Número de poços paralisados (800)

t – Tempo em horas de bombeamento/ano (4 horas/dia x 365)

A disponibilidade instalável do conjunto dos 10 blocos é de $5,31 \times 10^6 m^3$ / ano de água subterrânea.

8.8. DISPONIBILIDADE HÍDRICA TOTAL

A projeção da oferta dos recursos hídricos subterrâneos, refletida pela disponibilidade hídrica total, é o somatório das vazões dos poços operantes mais as vazões dos poços paralisados, estes passíveis de serem operados (disponibilidade instalável), sendo representada pela Equação 06.

$$D_t = D_e + D_i \quad \text{[Equação 06]}$$

Onde:

D_t – Disponibilidade hídrica total (m^3 /ano)

D_e – Disponibilidade hídrica efetiva ($1,088 \times 10^6 m^3$ / ano)

D_i – Disponibilidade hídrica instalável ($5,31 \times 10^6 m^3$ / ano)

A Disponibilidade Hídrica Total é de $6,40 \times 10^6 m^3$ / ano.

8.9. DISPONIBILIDADE AQUÍFERA (POTENCIALIDADE AQUÍFERA)

Os recursos imputáveis das águas subterrâneas representam os volumes que podem ser utilizados das reservas naturais totais, em função das reservas renováveis ou dos meios técnico-financeiros de que se disponha, ou seja, da variável de decisão que leva em consideração outros objetivos e fatores limitantes a exemplo da taxa de renovabilidade natural (REBOUÇAS, 1997).

O volume hídrico que representa a Potencialidade Aquífera pode ser utilizado anualmente, incluindo eventualmente uma parcela das reservas permanentes passíveis de serem exploradas em descarga constante. Admite-se sem prejuízo para o Sistema Aquífero Dunas que se possa explorar toda reserva renovável e mais uma parcela da reserva permanente, que

representem no período de 50 anos um valor de 30% dessas reservas, seguindo o conceito de Duarte (1996, 1997). Assim, tem-se que a Disponibilidade Aquífera é dada pela seguinte Equação 07:

$$P = Rr + (0,006 \times Rp) \quad \text{[Equação 07]}$$

Onde:

P – Disponibilidade Aquífera (m^3/ano)

Rr- Reservas renováveis (m^3/ano)

Rp – Reservas permanentes (m^3)

Cavalcante (2008) aborda que os reservatórios hídricos subterrâneos do município de Fortaleza são recarregados pelas águas oriundas da precipitação pluviométrica, sofrendo as reduções impostas pelo meio físico. Acrescidos a este evento existe a recarga artificial direta, mesmo que involuntária, decorrente das perdas reais do sistema da CAGECE.

Onde, aplicando a Equação 07, tem-se:

$$P = 79,11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} + (0,006 \times 266,74 \times 10^6 \text{ m}^3)$$

$$P = 79,11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} + 1,60 \times 10^6 \text{ m}^3 = 80,71 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Finalmente a Disponibilidade Aquífera engloba o valor de $79,11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ referentes às reservas renováveis, adicionados $1,60 \times 10^6 \text{ m}^3$ da parcela das reservas permanentes. O valor global da Disponibilidade Aquífera é de $80,71 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de águas subterrâneas.

8.10. CÁLCULOS DOS VALORES INDIVIDUAIS PARA OS BLOCOS DO SISTEMA AQUÍFERO DUNAS

Com o objetivo de detalhar as reservas e potencialidades do Sistema Aquífero Dunas, optou-se neste item por apresentar os cálculos para cada bloco dunar definido na pesquisa, possibilitando, desta forma, a utilização destes dados por bloco a depender do usuário e dos objetivos.

Os 10(dez) Blocos Dunares foram individualizados obedecendo os seguintes critérios:

1. Procurou-se definir os limites dos blocos na direção Leste-Oeste, ou seja do município de Aquiraz em direção ao município de São Gonçalo do Amarante.

2. Os limites dos Blocos na medida do possível foram escolhidos respeitando as barreiras físicas, principalmente a rede hidrográfica existente.

✓ **Bloco I**

✚ **Reserva renovável (Rr)**

Os parâmetros utilizados para o Bloco I (Figura 15) foram estimados a partir da bibliografia consultada e etapas de campo que, substituindo-se na Equação 01 (página 35) tem-se:

$$Rr = 2.247,0 \times 10^4 \text{m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 5,05 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Assim, tem-se que a reserva renovável representa $5,05 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea

✚ **Reserva permanente (Rp)**

A reserva permanente do Bloco I é dada pela Equação 02 (página 36)

$$Rp = 2247 \times 10^4 \times 6,0 \times 0,15$$

$$Rp = 20,22 \times 10^3 \text{ m}^3.$$

A reserva permanente do Bloco I foi avaliada para uma área de $2247 \times 10^4 \text{ m}^2$, espessura saturada de 6,0m e porosidade efetiva de 15%, resultando em um valor de $20,22 \times 10^3 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ **Reserva total (Rt)**

A reserva total do Bloco I é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente (Rp), como está descrita na Equação 03 (página 37)

$$Rt = 5,05 \times 10^6 \text{ m}^3 + 20,22 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Rt = 25,27 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

A reserva total do Bloco I foi avaliada para a área de $2247 \times 10^4 \text{ m}^2$, resultando em $25,27 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ **Disponibilidade Efetiva /Instalada**

A disponibilidade efetiva é calculada a partir da equação 04 (página 37) :

$$De = 3,17 \times 8 \times 4 \times 365$$

$$De = 37,02 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco I é $37,02 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Instalável

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05 (página 37):

$$Di = 3,17 \times 7 \times 4 \times 365$$

$$Di = 32,39 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco I é de $32,39 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (DT)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada (Di) na equação 06 (página 38), ou seja:

$$Dt = 37.025,60 \text{ m}^3/\text{ano} + 32.397,40 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Dt = 69,42 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco I é $69,42 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

✚ Potencialidade Aqüífera (P) ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aqüífera é dada pela Equação 07 (página 39):

$$P = 5.055,750 \text{ m}^3 + (0,006 \times 20.223,000) \text{ m}^3$$

$$P = 5.055,750 + 121,138$$

$$P = 5,17 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aqüífera para o Bloco I é $5,17 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✓ Bloco II

✚ Reserva renovável (Rr)

Os parâmetros utilizados para o Bloco II (Figura 16) foram estimados a partir da bibliografia consultada e etapas de campo que, substituindo na Equação 01 (página 35), resulta:

$$Rr = 2.700 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 6,07 \times 10^6 / \text{ano}$$

A reserva renovável é $6,07 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Reserva permanente (Rp)

A reserva permanente do Bloco II é dada pela Equação 02(página 36) :

$$R_p = 2700 \times 10^4 \times 6,0 \times 0,15$$

$$R_p = 24,30 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco II foi avaliada para uma área de $2700 \times 10^4 \text{ m}^2$, espessura saturada de 6,0m e porosidade efetiva de 15%, determinando um valor de $24,30 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ Reserva total (Rt)

A reserva total do Bloco II é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente (Rp) e usando a Equação 03 (página 37) tem-se:

$$R_t = 6,07 \text{ m}^3 + 24,30 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$R_t = 30,37 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco II foi avaliada para a área de $2700 \times 10^4 \text{ m}^2$, resultando em um valor de $30,37 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Efetiva/Instalada (De)

A disponibilidade efetiva é calculada com a Equação 04 (página 37) :

$$D_e = 3,02 \times 147 \times 4 \times 365$$

$$D_e = 648,15 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco II é de $648,15 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05 (página 37):

$$D_i = 3,02 \times 27 \times 4 \times 365$$

$$D_i = 119.048,40 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco II é de $119,04 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (DT)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada na Equação 06 (página 38), ou seja:

$$D_t = 648.152,40 \text{ m}^3/\text{ano} + 119.048,40 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$D_t = 767.200,80 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco II é de $767,2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

✚ Potencialidade Aquífera (P) ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aquífera é dada pela Equação 07 (página 39):

$$P = 6.075,000 + (0,006 \times 24.300.000)$$

$$P = 6.075,000 + 145.800$$

$$P = 6.220.800 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aquífera para o Bloco II é de $6.220.800 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $6,22 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✓ Bloco III

Os parâmetros utilizados para o Bloco III (Figura 17) foram compilados de PLANAT/CAGECE, 1978 – captação de Abreulândia, quais sejam:

Nível de flutuação anual- 1,5

Porosidade efetiva – 15%

Espessura saturada – 6,0m

✚ Cálculo da reserva renovável (Rr), pelo método volumétrico

Os parâmetros utilizados para o Bloco III foram estimados a partir da bibliografia consultada e valida ao campo que substituindo na Equação 01 (página 35) foi calculada:

$$Rr = 587,5 \times 10^4 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 1,32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} =$$

A reserva renovável é de $1,32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Cálculo da reserva permanente (Rp) pelo método volumétrico

A reserva permanente do Bloco III é dada pela Equação 02(página 36) :

$$Rp = 587,5 \times 10^4 \times 6,0 \times 0,15$$

$$Rp = 5,28 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco III foi avaliada para uma área de $587,5 \times 10^4$, espessura saturada de 6,0m e porosidade efetiva de 15%, determinando-se um valor de $5,28 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ **Cálculo da reserva total (Rt), pelo método volumétrico**

A reserva total do Bloco III é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente (Rp), a partir da equação 03 (página 37):

$$R_t = 1,32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} + 5,28 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$R_t = 6,6 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco III foi avaliada para a área de $587,5 \times 10^4 \text{ m}^2$ resultando em um valor de $6,60 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ **Cálculo da disponibilidade efetiva/instalada (De)**

A disponibilidade efetiva é calculada com a equação 04(página 37):

$$D_e = 4,07 \times 4 \times 4 \times 365$$

$$D_e = 23.768,80 \text{ m}^3/\text{ano.}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco III é de $23.768,80 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $23,76 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ **Disponibilidade Instalável (Di)**

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05 (página 37):

$$D_i = 4,07 \times 34 \times 4 \times 365$$

$$D_i = 202.034,80 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco III é de $202.034,80 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $202,03 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ **Disponibilidade Hídrica Total (Dt)**

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva (De) mais a disponibilidade hídrica instalável (Di), na Equação 06 (página 38):

$$D_t = 23.768 + 202.034$$

$$D_t = 225.803,60 \text{ m}^3/\text{ano.}$$

A disponibilidade hídrica total de água subterrânea do Bloco III é de $225.803,60 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $225,80 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

✚ **Potencialidade aquífera (P) ou recursos exploráveis**

A potencialidade aquífera é dada pela Equação 07 (página 39):

$$P = 1.321.875 + (0,006 \times 5.287.500)$$

$$P = 1.321.875,00 + 31725,00$$

$$P = 1.353 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \text{ ou } 1,35 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

✓ **Bloco IV**

✚ Reserva Renovável (Rr) pelo método volumétrico

Os parâmetros utilizados para o Bloco IV (Figura 18) foram determinados por pesquisa bibliográfica e observações de campo, e foram substituídos na Equação 01 (página 35) :

$$Rr = 1486,11 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5 \times 0,15$$

$$Rr = 3,34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A reserva renovável de água subterrânea do bloco IV foi avaliada para uma área de 1486,11 ha, com uma flutuação anual de 1,5m e porosidade efetiva de 15%, determinando um valor de $3,34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

✚ Reserva Permanente (Rp) pelo método volumétrico

A reserva permanente do Bloco IV é dada pela Equação 02 (página 36):

$$Rp = 1486,11 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 6,0 \text{ m} \times 0,15$$

$$Rp = 13,37 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco IV foi avaliada para uma área de $1.486,11 \times 10^4 \text{ m}^2$, com uma espessura saturada média de 6m e porosidade efetiva de 15% determinando um valor de $13,37 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ Reserva Total (Rt) pelo método volumétrico

A reserva total do Bloco IV é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente (Rp), ou seja, utilizando a Equação 03 (página 37):

$$Rt = 3,34 + 13,37) \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Rt = 16,71 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco IV foi avaliada para a área de $1486,11 \times 10^4 \text{ m}^2$, resultando em $16,71 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Efetiva /Instalada (De)

A disponibilidade efetiva é calculada com a Equação 04 (página 37):

$$De = 7,63 \times 2 \times 4 \times 365$$

$$De = 22.279,60 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco IV é de 22.279,60 m³/ano ou 22,27 x 10³ m³/ano de água subterrânea.

Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05 (página 37):

$$Di = 7,63 \times 35 \times 4 \times 365$$

$$Di = 389.893,00 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco IV é de 389.893,00m³/ano ou 389,89 x 10³ m³/ano de água subterrânea.

Disponibilidade Hídrica Total (DT)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada na Equação 06 (página 38), ou seja:

$$Di = 22.279,60\text{m}^3/\text{ano} + 389.893,00 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Di = 412.172,60 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco IV é 412.172,60 m³/ano 412,17 x 10³ m³/ano.

Potencialidade Aquífera (P) m³/ano ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aquífera é dada pela equação 07 (página 39):

$$P = 3,42 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} \quad P = 3,34 \times 10^6 \text{ m}^3 + (0,006 \times 13,37) \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$P = 3,34 \times 10^6 \text{ m}^3 + 80.249,94\text{m}^3$$

A potencialidade aquífera para o Bloco IV é 3,42 x 10⁶/ano de água subterrânea.

✓ **Bloco V**

Reserva Renovável (Rr) pelo método volumétrico

Os parâmetros utilizados para o Bloco V (Figura 19) foram estimados a partir da bibliografia consultada e válida ao campo e que foram substituídos pela Equação 01 (página 35):

$$Rr = 4.476,36 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$R_r = 10,07 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

A reserva renovável é $10,07 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

Reserva Permanente (Rp) pelo método volumétrico

A reserva permanente do Bloco V é dada pela Equação 02 (página 36):

$$R_p = 4.476,36 \times 10^4 \times 6,0 \times 0,15$$

$$R_p = 40,28 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco V foi avaliada para uma área de $4.476,36 \times 10^4 \text{ m}^2$, espessura saturada de 6,0m e porosidade efetiva de 15%, resultando em $40,28 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

Reserva Total (Rt) pelo método volumétrico

A reserva total do Bloco V é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente na Equação 03(página 37) , ou seja:

$$R_t = 10,07 \times 10^6 \text{ m}^3 + 40,28 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$R_t = 50,35 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco V foi avaliada para a área de $4.476,36 \times 10^4 \text{ m}^2$, o valor de $50,35 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

Disponibilidade Efetiva /Instalada (De)

A disponibilidade efetiva é calculada com a equação 04 (página 37):

$$D_e = 4,66 \times 14 \times 4 \times 365$$

$$D_e = 95.250,40 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco V é $95.250,40 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $95,25 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05 (página 37):

$$D_i = 4,66 \times 479 \times 4 \times 365$$

$$D_i = 3.258.924,00 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco V é de $3.258.924,00 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $3.258,92 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (DT)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada na Equação 06 (página 38) , ou seja:

$$Dt = 95.250\text{m}^3/\text{ano} + 3.258.920\text{m}^3/\text{ano}$$

$$Dt = 3.354.170 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco V é 3.354.170 m³/ano ou 3354,17 x 10³ m³/ano.

✚ Potencialidade Aquífera (P) m³/ano ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aquífera é dada pela equação 07 (página 39):

$$P = 10.078.110 + (0,006 \times 40.287.240)$$

$$P = 10.071,810 + 241.723$$

$$P = 10.313 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aquífera para o Bloco V é 10,31 x 10⁶ m³/ano de água subterrânea.

✓ Bloco VI

✚ Reserva Renovável (Rr) pelo método volumétrico

Os parâmetros utilizados para cálculos de reservas do Bloco VI (Figura 20) foram estimados a partir da bibliografia consultada e visitas ao campo que foram substituídos na Equação 01 (página 35):

$$Rr = 2.849,05 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 6,41 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A reserva renovável é 6,41 x 10⁶ m³/ano de água subterrânea.

✚ Reserva Permanente (Rp) pelo método volumétrico

A reserva permanente do Bloco VI é dada pela Equação 02(página 36) :

$$Rp = 2849,05 \times 10^4 \times 6,0 \times 15\%$$

$$Rp = 25,64 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco VI foi avaliada para uma área de 2.849,05 x 10⁴ m², espessura saturada de 6,0m e porosidade efetiva de 15%, determinando um valor de 25,64 10⁶ m³ de água subterrânea.

✚ Reserva Total (Rt) pelo método volumétrico

A reserva total do Bloco VI é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente na Equação 03 (página 37) ou seja:

$$R_t = 6,41 \times 10^6 \text{ m}^3 + 25,64 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$R_t = 32,05 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco VI foi avaliada para a área de $2.849,05 \times 10^4 \text{ m}^2$, resultando em $32,05 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Efetiva /Instalada (De)

A disponibilidade efetiva é calculada com a Equação 04(página 37):

$$D_e = 4,31 \times 12 \times 4 \times 365$$

$$D_e = 75.511,20 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco VI é $75.511,20 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $75,51 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05(página 37):

$$D_i = 4,31 \times 190 \times 4 \times 365$$

$$D_i = 1.195.594 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco VI é de $1.195.594 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $1195,59 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (Dt)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada na Equação 06 (página 38) ou seja:

$$D_t = 75.511,20 \text{ m}^3/\text{ano} + 1.195.594 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$D_t = 1.271.105 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total de água subterrânea do Bloco VI é de $1.271.105 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $1.271,11 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

✚ Potencialidade Aquífera (P) ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aquífera é dada pela Equação 07(página 39):

$$P = 6.410625,00 + (0,006 \times 25.641.450)$$

$$P = 6.410.625,00 + 153.848,70$$

$$P = 6,56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aquífera para o Bloco VI é de $6,56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✓ **Bloco VII**

✚ **Reserva Renovável (Rr) pelo método volumétrico**

O Bloco VII (Figura 21) foi estimado a partir da bibliografia consultada e visitas ao campo, como na Equação 01 (página 35):

$$Rr = 2.467,42 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 5,55 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A reserva renovável é $5,55 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ **Reserva Permanente (Rp) pelo método volumétrico**

A reserva permanente do Bloco VII é dada pela Equação 02(página 36):

$$Rp = 2467,42 \times 10^4 \times 6,0 \times 15\%$$

$$Rp = 20,20 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco VII foi avaliada para uma área de $2.467,42 \times 10^4 \text{ m}^2$, espessura saturada de 6,0m e porosidade efetiva de 15%, determinando um valor de $20,20 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ **Reserva Total (Rt) pelo método volumétrico**

A reserva total do Bloco VII é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente Equação 03(página 37) , ou seja:

$$Rt = 5,551 \times 10^6 \text{ m}^3 + 20,20 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Rt = 25,75 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco VII foi avaliada para a área de $2.467,42 \times 10^4 \text{ m}^2$, o valor de $25,75 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ **Disponibilidade Efetiva /Instalada (De)**

A disponibilidade efetiva é calculada com a seguinte equação 04(página 37):

$$De = 1,91 \times 24 \times 4 \times 365$$

$$De = 66.576,00 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco VII é 66.576,00 m³/ano ou 66,57 x 10³ m³/ano de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05(página 37):

$$Di = 1,9 \times 11 \times 4 \times 365$$

$$Di = 30.514,00 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco VII é de 30.514,00m³/ano 30,51 x 10³ m³/ano de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (Dt)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada Equação 06 (página 38), ou seja:

$$Dt = 66.576,00\text{m}^3/\text{ano} + 30.514,00\text{m}^3/\text{ano}$$

$$Dt = 97.090,00\text{m}^3 / \text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco VII é 97.090,00 m³/ano ou 97,09 x 10³ m³/ano.

✚ Potencialidade Aqüífera (P) ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aqüífera é dada pela seguinte equação 07(página 39):

$$P = 5,55 \times 10^6 + (0,006 \times 20,20) \times 10^6$$

$$P = 5,55 \times 10^6 + 121.240,50$$

$$P = 5,67 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aqüífera para o Bloco VII é 5,67 x 10⁶ m³/ano de água subterrânea.

✓ Bloco VIII

Os parâmetros utilizados para o Bloco VIII (Figura 22) foram estimados a partir da bibliografia consultada e visitas ao campo, quais sejam:

✚ Reserva renovável (Rr)

O Bloco VIII foi estimado a partir da bibliografia consultada e visitas ao campo, quais sejam (Equação 01 na página 35):

$$Rr = 3503,13 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 788.204,250 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Rr = 7,88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A reserva renovável é de $7,88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

Reserva permanente (Rp)

A reserva permanente do Bloco VIII é dada pela Equação 02 (página 36):

$$Rp = 3503,13 \times 10^4 \times 6,0 \times 0,15$$

$$Rp = 31,52 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco VIII foi avaliada para uma área de $3.503,13 \times 10^4 \text{ m}^2$, espessura saturada de 6,0m e uma porosidade efetiva de 15%, determinando um valor de $31,52 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

Reserva Total (Rt)

A reserva total do Bloco VIII é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente (Equação 03 na página 37), ou seja:

$$Rt = Rr + Rp = 7,88 \times 10^6 \text{ m}^3 + 31,52 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Rt = 39,41 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco VIII foi avaliada para a área de $3.503,13 \times 10^4 \text{ m}^2$, o valor de $39,41 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

Disponibilidade Efetiva /Instalada (De)

A disponibilidade efetiva é calculada com a Equação 04 (página 37):

$$De = 1,5 \times 19 \times 4 \times 365$$

$$De = 41.610 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco VIII é $41.610 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $41,61 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05 (página 37):

$$Di = 1,5 \times 17 \times 4 \times 365$$

$$Di = 37.230 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco VIII é de 37.230 m³/ano 37,23 x 10³ m³/ano de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (DT)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada (Equação 06 na página 38), ou seja:

$$Dt = 41.610 + 37230 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Dt = 78.840 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco VIII é 78.840 m³/ano ou 78,84 x 10³ m³/ ano.

✚ Potencialidade Aqüífera (P) m³/ano ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aqüífera é dada pela Equação 07(página 39):

$$P = 7,88 + (0,006 \times 31,528) \times 10^6$$

$$P = 7,88 \times 10^6 + 189.169,02$$

$$P = 8.071 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aqüífera para o Bloco VIII é 8,071 x 10⁶ m³/ano de água subterrânea.

✓ Bloco IX

✚ Reserva renovável (Rr)

Os parâmetros utilizados para o Bloco IX (Figura 23) foram estimados a partir da bibliografia consultada e visitas ao campo, que foram substituídos na Equação 01(página 35):

$$Rr = 3.436,487 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 7,73 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A reserva renovável é 7,73 x 10⁶ m³/ano de água subterrânea.

✚ Reserva permanente (Rp)

A reserva permanente do Bloco IX é dada pela Equação 02 (página 36):

$$Rp = 3.436,487 \times 10^4 \times 6,0 \times 0,15$$

$$Rp = 30,92 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco IX foi avaliada para uma área de 3.436,48 x 10⁴ m², espessura saturada de 6,0m e uma porosidade efetiva de 15%, determinando um valor de 30,92 x 10⁶ m³ de água subterrânea.

✚ Reserva Total (Rt)

A reserva total do Bloco IX é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente (Equação 03 na página 37), ou seja:

$$Rt = Rr + Rp = (7,73 + 30,92) \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Rt = 38,65 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco IX foi avaliada para a área de $3.436,487 \times 10^4 \text{ m}^2$, o valor de $38,66 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Efetiva/Instalada (De)

A disponibilidade efetiva é calculada com a Equação 04 (página 37)

$$De = Q \times n \times t = 1,63 \times 9 \times 4 \times 365$$

$$De = 21.418,20 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco IX é de $21.418,20 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou seja, $21,42 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05 (página 37):

$$Di = 1,63 \times 5 \times 4 \times 365$$

$$Di = 11.899 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco IX é de $11,899 \text{ m}^3/\text{ano}$, ou seja, $11,89 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (Dt)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada (Equação 06 na página 38), ou seja:

$$Dt = De + Di = 21.418 \text{ m}^3/\text{ano} + 11.899 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$Dt = 33.317,00 \text{ m}^3 / \text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco IX é de $33.317,00 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $33,31 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

✚ **Potencialidade Aquífera (P) m³/ano ou Recursos Explotáveis**

A potencialidade aquífera é dada pela Equação 07 (página 39):

$$P = 7.732.050 + (0,006 \times 30.928.383) \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$P = 7.732.050,00 + 185.570,29$$

$$P = 7,91 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aquífera para o Bloco IX é de $7,91 \times 10^6$ m³/ano de água subterrânea.

✓ **Bloco X**

✚ **Reserva renovável (Rr)**

Os parâmetros utilizados para o Bloco X (Figura 24) foram estimados a partir da bibliografia consultada e observações de campo, que foram substituídos na Equação 01(página 35):

$$Rr = 5.885,71 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 1,5\text{m} \times 0,15$$

$$Rr = 13,24 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A reserva renovável é $13,24 \times 10^6$ m³/ano de água subterrânea.

✚ **Reserva Permanente (Rp)**

A reserva permanente do Bloco X é dada pela Equação 02 (página 36):

$$Rp = 5.885,71 \times 10^4 \times 6,0 \times 0,15$$

$$Rp = 52,97 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A reserva permanente do Bloco X foi avaliada para uma área de $5.885,71 \times 10^4$ m², espessura saturada de 6,0m e uma porosidade efetiva de 15%, determinando um valor de $52,97 \times 10^6$ m³ de água subterrânea.

✚ **Reserva Total (Rt)**

A reserva total do Bloco X é expressa pela soma da reserva renovável com a reserva permanente (Equação 03 na página 37), ou seja:

$$Rt = 13,24 \times 10^6 \text{ m}^3 + 52,97 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Rt = 66,21 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ de água subterrânea.}$$

A reserva total do Bloco X foi avaliada para a área de $5.885,71 \times 10^4$ m², resultando no valor de $66,21 \times 10^6$ m³ de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Efetiva /Instalada (De)

A disponibilidade efetiva é calculada com a equação 04 (página 37):

$$De = 4,32 \times 9 \times 4 \times 365$$

$$De = 56.764,80 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade efetiva do Bloco X é 56.764,80 m³/ano, ou seja, 56,76 x 10³ m³/ano de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Instalável (Di)

A disponibilidade instalável é calculada a partir da Equação 05(página 37):

$$Di = 4,32 \times 5 \times 4 \times 365$$

$$Di = 31.536,00 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A disponibilidade instalável do Bloco X é de 31.536,00m³/ano, ou 31,53 x 10³ m³/ano de água subterrânea.

✚ Disponibilidade Hídrica Total (DT)

A disponibilidade hídrica total é representada pelo somatório da disponibilidade hídrica efetiva mais a disponibilidade hídrica instalada (Equação 06 na página 38), onde:

$$Dt = 56.760,00\text{m}^3/\text{ano} + 31.563,00\text{m}^3/\text{ano}$$

$$Dt = 88.323,00 \text{ m}^3 /\text{ano}$$

A disponibilidade hídrica total do Bloco X é de 88.323,00 m³/ano ou 88,32 x 10³ m³/ano.

✚ Potencialidade Aquífera (P) ou Recursos Explotáveis

A potencialidade aquífera é dada pela Equação 07(página 39):

$$P = 13.242.847\text{m}^3 + (0,006 \times 52.971.390) \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$P = 13.242.847\text{m}^3 + 317.828 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$P = 13,56 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A potencialidade aquífera para o Bloco X é de 13,56 x 10⁶ m³/ano de água subterrânea.

Procurando simplificar a apresentação dos dados expostos anteriormente, optou-se pela elaboração da Tabela 08 que reflete a síntese dos dados de reservas, potencialidades e

disponibilidades das águas subterrâneas para o Sistema Aquífero Dunas na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclusões

Em função do que foi tratado no decorrer dos capítulos expostos conclui-se que:

- A área possui o Sistema Aquífero Dunas representando as dunas fixas e móveis, tratadas nesta pesquisa como um sistema aquífero único em função das características litológicas e hidrodinâmicas similares, impossibilitando uma nítida distribuição aquífera entre as mesmas em nível regional.

- O sistema aquífero distribui-se em 29.638,76 ha, onde foram cadastrados 1023 poços. Os dados refletem 248 poços em operação, 775 poços paralisados e vazão média de 4,32 m³/h. As reservas totais são de 345,84 x 10⁶ m³, representadas pelas reservas renováveis de 79,11 x 10⁶ m³/ano e permanentes de 266,74 x 10⁶ m³; disponibilidade hídrica de 6,40 x 10⁶ m³/ano e potencialidade aquífera de 80,71 x 10⁶ m³/ano.

- O valor das perdas reais do sistema de abastecimento da CAGECE, nos setores das unidades Aldeota e Floresta, em parte do município de Fortaleza (parte dos Blocos III, IV, V, VI) representam 12,43 x 10⁶ m³/ano e constituem recarga direta involuntária para o Sistema Aquífero Dunas, onde constituem parte das reservas renováveis.

- O rebaixamento do nível estático decorrente de obras civis na área estudada é uma rotina que, além dos potenciais impactos negativos associados aos rebaixamentos do nível estático (ex: intrusão salina), se destaca no aspecto da gestão de recursos hídricos pela falta de planejamento para o reaproveitamento da água retirada e, em alguns casos, pela necessidade da outorga de direito de uso dos recursos hídricos, fato que até o momento os órgãos outorgantes não estão fiscalizando.

- As conseqüências do rebaixamento do nível estático em relação à subsidência, recalques e surgimento de fissuras já são estudadas pela Geotecnia, mas um aspecto somente comentado, principalmente em Fortaleza, é o desperdício das águas subterrâneas com essa atividade, pois milhares de litros de água subterrânea estão sendo lançados e perdidos, principalmente na drenagem pluvial, não havendo qualquer aproveitamento e/ou monitoramento.

- O Sistema Aquífero Dunas representa um forte potencial hidrogeológico para captação de águas na Região Metropolitana de Fortaleza, gerando vazões que alcançam até 30 m³/h;
- O nível estático é freático e vulnerável propiciando, face ao uso e ocupação do solo, condições de extremo risco à poluição das águas subterrâneas;
- A divisão por blocos temáticos permite um melhor dimensionamento das reservas e características hidrogeológicas. Ainda não existem dados técnicos com verificação de campo, poço a poço, que possa nortear todo o trabalho de gestão das águas subterrâneas da RMF, particularmente das Dunas;
- A construção de um Banco de Dados, já parcialmente contemplado pelo SIAGAS/ CPRM, representa um passo de extrema contribuição para a gestão das águas subterrâneas, mas depende, basicamente, do investimento financeiro governamental para tal desenvolvimento;
- A decisão de se trabalhar com gestão de aquíferos implica, necessariamente, da macro- análise das características gerais do corpo aquífero, integrando-o à natureza e às ações antrópicas;

Recomendações

- A construção de um Banco de Dados, já parcialmente contemplado pelo SIAGAS/ CPRM, representa um passo de extrema contribuição para a gestão das águas subterrâneas, mas depende, basicamente, do investimento financeiro governamental para tal desenvolvimento;
- Torna-se necessário e urgente para o conjunto da sociedade (gestores e usuários) conhecer os aspectos quali-quantitativos das águas do Sistema Aquífero Dunas.
- É oportuno expor a forte política pública dos recursos hídricos superficiais do Estado do Ceará mas, no entanto, não se tem a mesma fortaleza para os recursos hídricos subterrâneos, onde o que existe são poucos recursos financeiros e humanos investidos no segmento de águas subterrâneas. Portanto, é importante que os gestores públicos reconheçam que as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Dunas da RMF constituem um recurso hídrico estratégico, particularmente nos períodos de estiagem responsável pelo abastecimento de

uma parcela significativa da população litorânea dos municípios Aquiraz (Batoque, Barro Preto, Iguape, Presídio, Prainha e Porto das Dunas/Beach Park), Fortaleza (Abreulândia, Sabiaguaba, Praia do Futuro I e II, Cais do Porto), Caucaia (Praia de Dois Coqueiros, Pacheco, Icarai, Tabuba e Cumbuco) e São Gonçalo do Amarante (Pecém e Taíba).

Assim sendo, recomenda-se que se dê atenção para os princípios básicos que devem nortear a gestão e a proteção das águas subterrâneas do Sistema Dunas da Região Metropolitana de Fortaleza, sendo eles:

1º - Gestão integrada dos recursos hídricos, contemplando-se os aspectos qualitativos e o uso e ocupação do solo destes recursos.

2º - Difundir e implementar ações preventivas com a finalidade de proteger os recursos hídricos subterrâneos das ações de super-exploração, salinização pela cunha salina e contaminação.

3º - Compartilhar a responsabilidade dos órgãos públicos com os usuários e os potenciais usuários poluentes.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELTRÃO, A. E.; MANOEL FILHO, J. **Abastecimento de água da área metropolitana da cidade de Fortaleza – CE.** SUDENE. Série Hidrogeologia 44, Recife – PE. 294 p. 1973.

BIANCHI, L.; PADILHA, M. W. M.; TEIXEIRA, J. E. M. **Recursos de água subterrânea na R.M.F. Fatores Condicionantes.** In: Plano de aproveitamento dos Recursos Hídricos na RMF. Fase I. Fortaleza. SEPLAG – AUMEF, v. 1, 139 p. 1984.

BIANCHI, L.; MORAES, J. B. A.; GURGEL Jr, J. B. **Diretrizes para exploração das águas subterrâneas da RMF.** In: AUMEF. Secretaria do Planejamento e Coordenação. Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da R.M.F. – Fase II. Fortaleza. SEPLAG-AUMEF, 1985. Fase II. 63 p.

BRANDÃO. R. L. de.; CAVALCANTE, I. N.; SOUZA M. N. **Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza.** Projeto SINFOR. Informações Básicas para Gestão Territorial. CPRM/REFO. Fortaleza, CE. 88 p. 1995.

BRITTO NETO, J. V. de. **Complexo Turístico Praya Resort – Estudo Hidrogeológico – Praia da Marambaia/Presídio, Iguape, Aquiraz/CE.** Relatório Técnico; CAGEO - Companhia de Água e Geologia, Fortaleza, Ceará, 2002.

CAGECE/PLANAT. Captação de Abreulândia. Relatório final de construção dos poços e definição das condições de exploração. Fortaleza – CE. 1978. 245 p.

CARNEIRO, F. A. **Evolução do uso e ocupação do campo de dunas do Morro Santa Terezinha**, Fortaleza – CE. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2009.

CAVALCANTE, I. N.; REBOUÇAS, A. C.; VERISSIMO, L. S. As águas subterrâneas do município de Fortaleza. IX Congresso Bras. de Águas Subterrâneas. **Anais...** ABAS. Salvador – BA. 1996. 15 p.

CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. Tese de Doutorado. Inédito. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo/USP. 156 p. 1998.

CPRM/REFOR – **Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará: Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água no Estado do Ceará**. Fortaleza, CE. 2010. 1 CD - ROM.

CUSTÓDIO, E; LLAMAS, M. R. **Hidrogeologia Subterrânea**. 2ª ed. Omega. Tomo I e II, Barcelona, 1976. 2350 p.

ESTADOS UNIDOS. **Soil Conservation Service**. Soil taxonomic: a basic system of soil classification for making and interpreting soils surveys. Washington: USDA, 1975. 754p. (USDA. Agriculture Handbook, 436).

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. 2007. Disponível em: <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 1 nov. 2010.

MAJOR, I.; SALES JR. L. G. **Aves do Ceará**. Editora LCR, Fortaleza, 2008.

MAJOR, I.; SALES JR. L. G.; CASTRO, R. **Aves da Caatinga**, 2004, 249p.

MORETI, D. Importantes Características de Chuva para a Conservação de Solo e da Água no Município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, nº 27, 2003, p. 713-725.

SRH/CE - Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Plano Estadual de Recursos Hídricos - Diagnóstico** (V1). Fortaleza, CE (4V). 2008.

VASCONCELOS. S. M. S.; SANTIAGO, M. M. F.; REBOUÇAS, A. C. Aspectos físico-químicos associados à recarga do Sistema Dunas/Paleodunas, Fortaleza – CE. In: XII Simpósio Bras. de Recursos Hídricos. **Anais** Belo Horizonte/MG. 1999.

APÊNDICE E ANEXOS

MUNICÍPIO DE AQUIRAZ



Foto 1. Mostra o uso e ocupação do solo nas dunas do Batoque – Aquiraz, vegetação antrópica constituída predominantemente de coqueiros (Outubro/2010). UTM - 585159/7557406.



Foto 2. Praia do Batoque onde se observou troncos vegetais e argila orgânica convivendo no mesmo ambiente praial (Outubro/2010). UTM - 585749/9557550

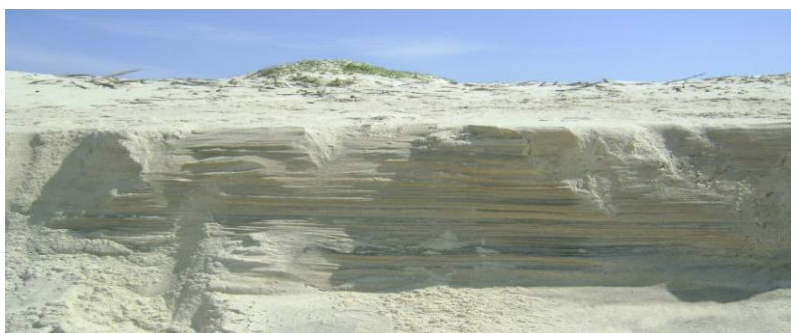


Foto 3. Sedimento arenoso, creme granulação média e estratificação horizontal (Outubro/2010). UTM - 585749/9557550



Foto 4. Poço tubular raso (6m de profundidade) instalado precariamente com bomba centrífuga, praia do Batoque (Outubro/2010). UTM - 588561 /9557670



Foto 5. Quartzito aflorante na praia do Iguape (Outubro/2010). UTM – 580024/9564252



Foto 6. Duna fixa com vegetação tipo murici de praia (Outubro/2010). UTM - 580024/9564252



Foto 7. Dunas apresentando pouca vegetação tipo cipó – da – praia (Outubro/2010)

MUNICÍPIO DE FORTALEZA



Foto 8. Paisagem do Rio Ceará (Limite Geográfico e Político) entre os municípios de Fortaleza e Caucaia (Outubro/2010). UTM – 545749/9591082



Foto 9. Equipamentos de rebaixamento do lençol freático em obra na Av. Beira Mar esquina com a Rua Silva Paulet (Outubro/2010). UTM – 555300/9588328.



Foto 10. Aspecto de revenda clandestina de água subterrânea localizada no bairro Castelo Encantado (Outubro/2010). UTM – 558675/9588664.



Foto 11. Paisagem parcial da recém construída ponte na foz do rio Cocó (Outubro/2010). UTM – 562546/9582660.



Foto 12. Poços antigos da CAGECE, que abastece o Parque Cocó, Fortaleza/CE (Outubro/2010)



Foto 13. Pequena irrigação abastecida com água subterrânea em Precabura, Fortaleza/CE (Outubro/2010)

MUNICÍPIO DE CAUCAIA



Foto 14. Extremidade do muro de proteção na praia do Pacheco – Caucaia (Novembro/2010). UTM – 539989/9592442.



Foto 15. Paisagem da praia do Pacheco com erosão costeira bastante evidente – Caucaia (Novembro/2010). UTM - 539989/9592442.

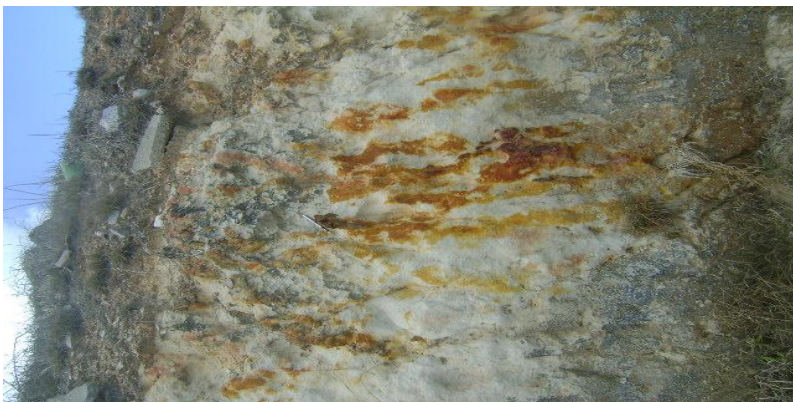


Foto 16. Afloramento de feição conglomerática ferruginosa na praia do Icaraí – Caucaia.



Foto 17. Construção do barra mar dissipador de energia do tipo Bag Wall na praia do Icaraí – Caucaia (Novembro/2010). UTM - 536649/9594274.



Foto 18. Aspectos do uso e ocupação do solo na praia do Icaraí – Caucaia.



Foto 19. Feição de afloramento da Formação Barreiras no Lagamar de Cauipe – Caucaia (Novembro/02010). UTM – 523561/9602686.



Foto 20. Conglomerado pertencente a base da Formação Barreiras – Lagamar do Cauipe.

MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO AMARANTE



Foto 21. Fonte de água subterrânea, local de lazer e lavagem de roupas – Taíba (Novembro/2010). UTM – 510537/9612436.



Foto 22. Afloramento de feições do Barreiras, onde se observam argilas de cores variadas na Praia da Taíba (Novembro/2010).



Foto 23. Uso e ocupação do solo na Praia da Taíba, onde predominam residências de veraneio (Novembro/2010).



Foto 24. Uso e ocupação do solo na Praia da Taíba, onde predominam residências de veraneio (Novembro/2010).



Foto 25. Taíba – Estabilização dos campos de Dunas através de vegetação gramínea perpendicular a corrente de ventos (Novembro/2010). UTM – 510765/9612370.



Foto 26. Paisagem da Praia da Taíba, próximo ao rio São Gonçalo do Amarante (Novembro/2010). UTM – 510690/9612360.



Foto 27. Mostra o uso e ocupação do solo nas Dunas da Taíba, onde em segundo plano constata-se a implantação de Torres Eólicas (Novembro/2010). UTM – 509218/9611190.



Foto 28. Existência da indústria de Água Mineral – (Adorágua) na CE 346 – KM 8 (Rodovia Pecém – Taíba) (Novembro/2010). UTM – 514281/9607048.



Foto 29. Cemitério de Pecém ao longo da CE 346 - Pecém – Taíba (Novembro/2010). UTM – 517988/9607142.



Foto 30. Postos de serviço em Pecém – São Gonçalo do Amarante (Novembro/2010). UTM – 518134/9607158.

ANEXOS 1

MAPA DO SISTEMA AQUÍFERO DUNAS E DISTRIBUIÇÃO DE POÇOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA – RMF DO CEARÁ

ESCALA 1: 100.000

ANEXOS 2

CADASTRO DOS POÇOS TUBULARES

(BLOCOS I A X)

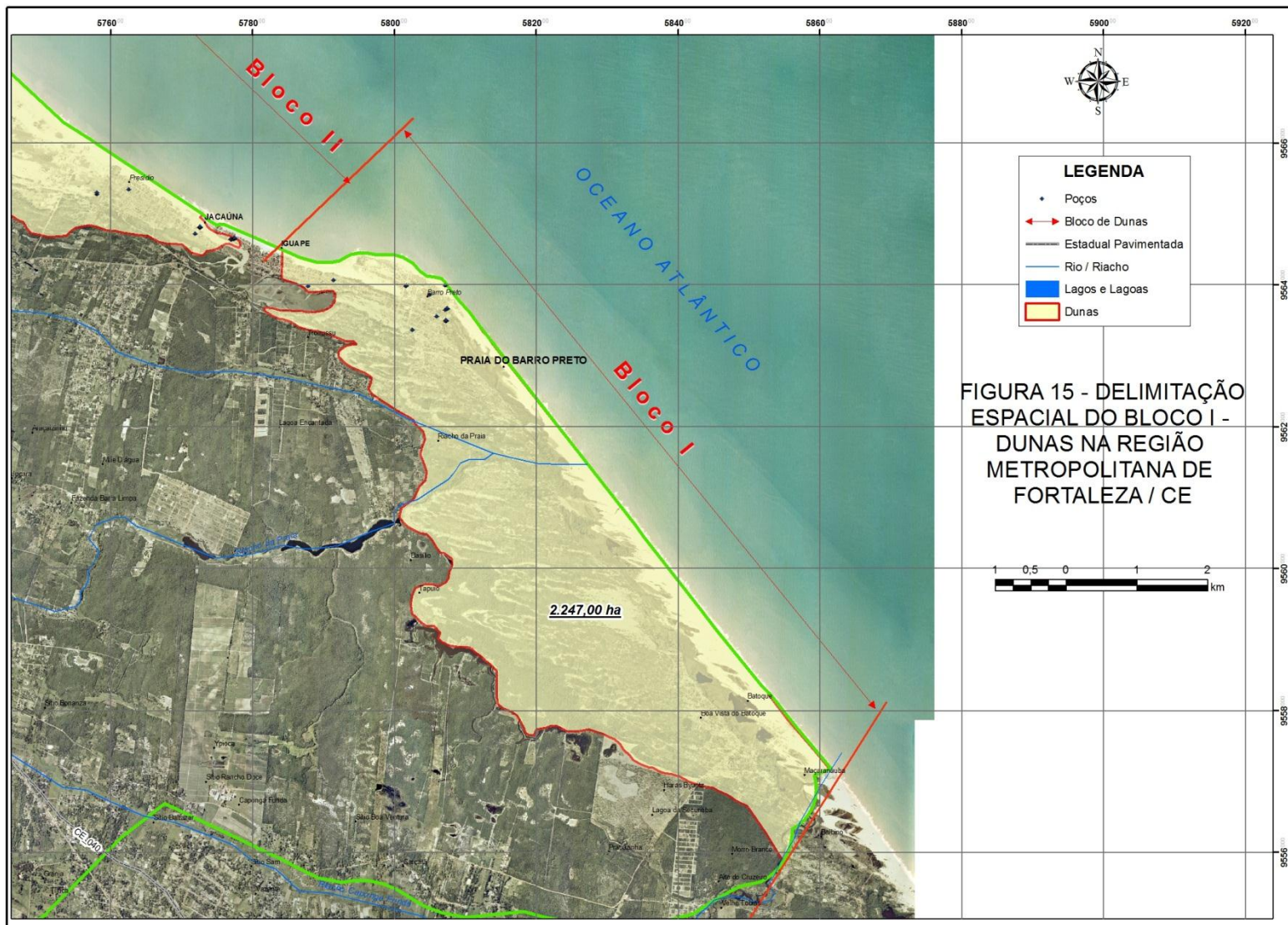
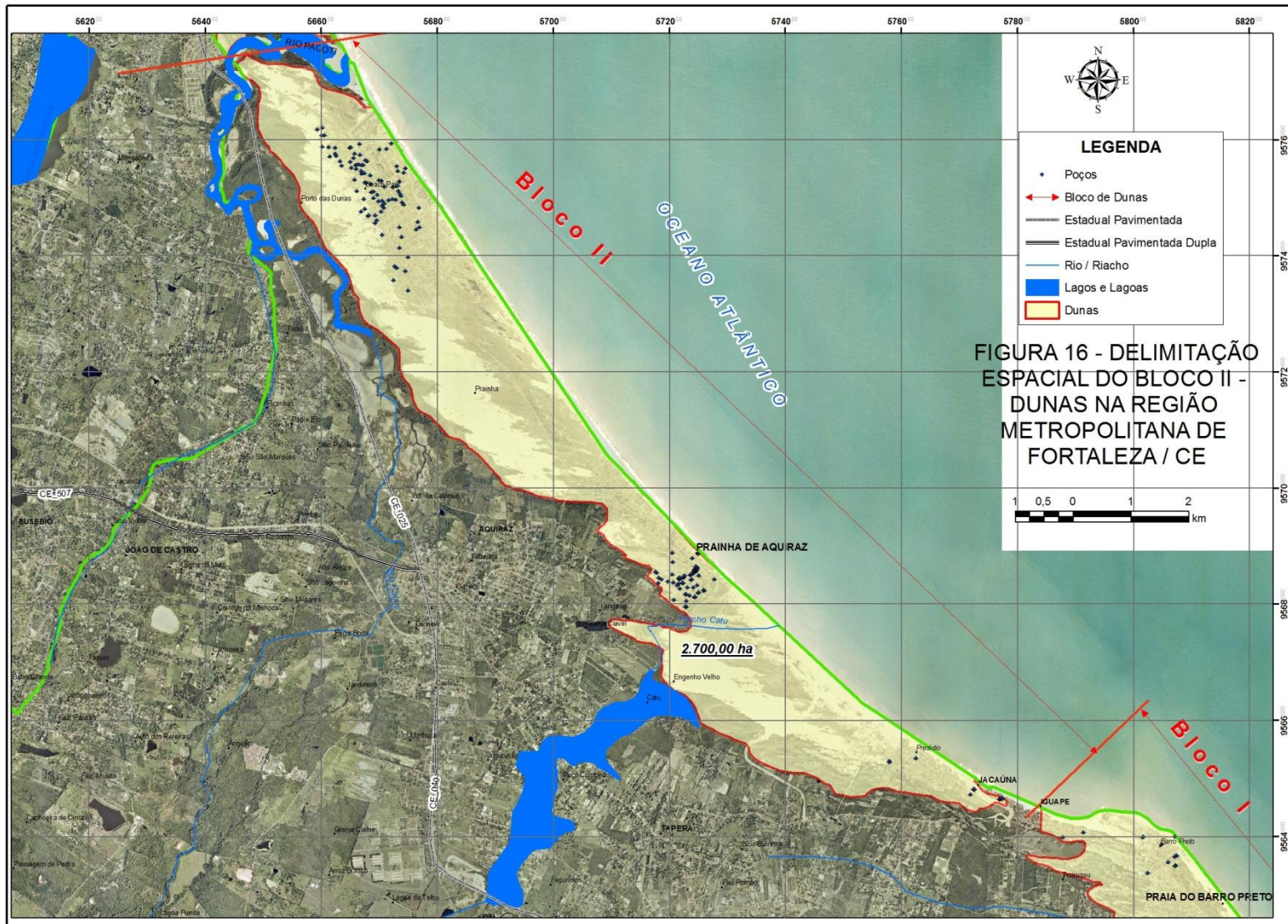


FIGURA 15 - DELIMITAÇÃO ESPACIAL DO BLOCO I - DUNAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA / CE



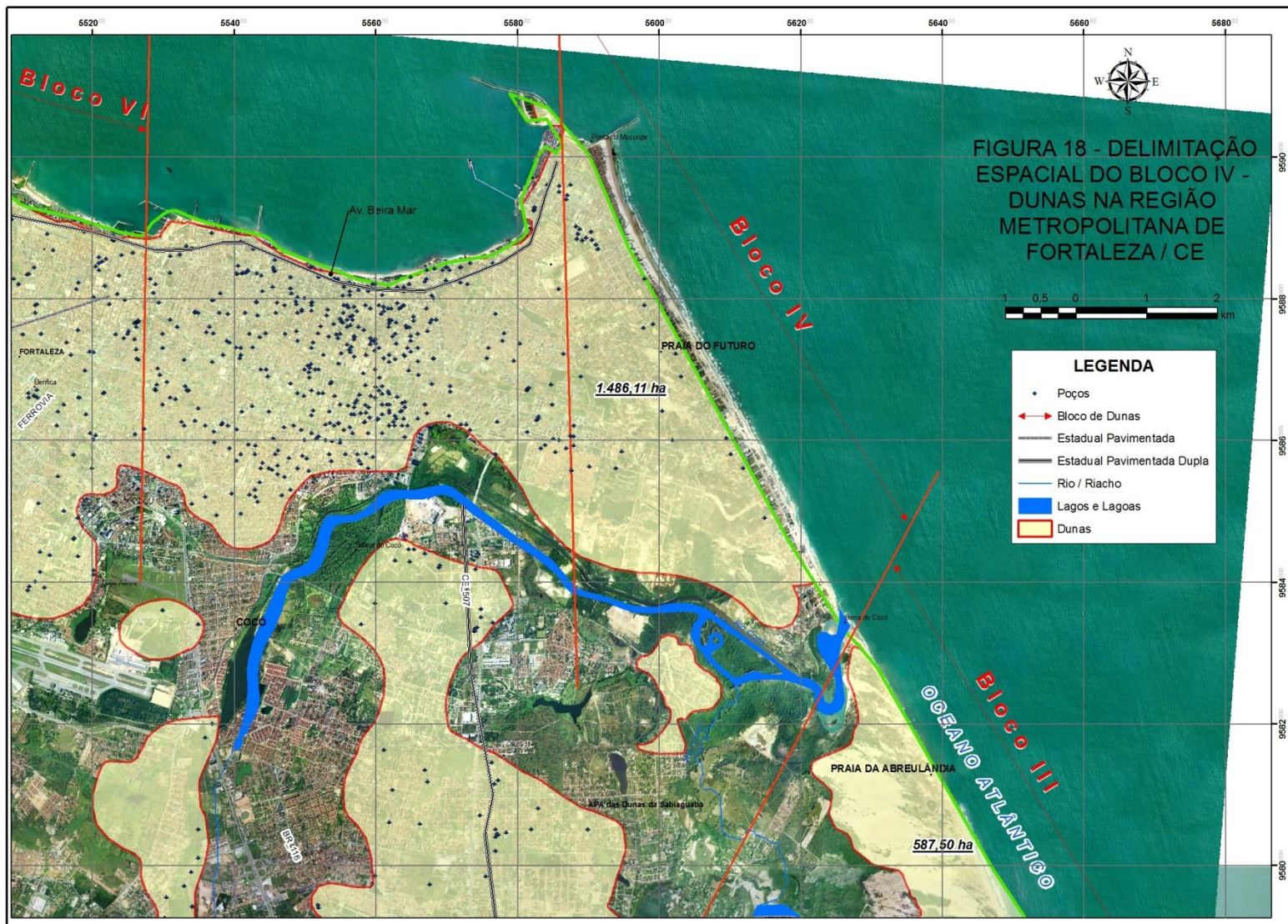


FIGURA 18 - DELIMITAÇÃO ESPACIAL DO BLOCO IV - DUNAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA / CE

1 0,5 0 1 2 km

LEGENDA

- Poços
- ↔ Bloco de Dunas
- Estadual Pavimentada
- == Estadual Pavimentada Dupla
- Rio / Riacho
- Lagos e Lagoas
- Dunas

1.486,11 ha

587,50 ha

