



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geociências

EDIU CARLOS LOPES LEMOS

ANÁLISE INTEGRADA DOS EFEITOS DA EXPANSÃO
URBANA NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO
DE FORTALEZA-CE.

TESE DE DOUTORADO
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE INTEGRADA DOS EFEITOS DA EXPANSÃO
URBANA NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE
FORTALEZA - CE.

EDIV CARLOS LOPES LEMOS

ORIENTADORES

Dr. Almany Costa Santos – UFPE

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante – UFC

TESE DE DOUTORADO
Hidrogeologia

Recife, 2013.

EDIU CARLOS LOPES LEMOS

Geólogo, Universidade Federal do Ceará, 2006.

Especialista em Gestão Hídrica e Ambiental, Universidade Federal do Pará, 2010.

Mestre em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

ANÁLISE INTEGRADA DOS EFEITOS DA EXPANSÃO URBANA NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA – CE

Tese de Doutorado que apresenta à Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelos Professores Dr. Almany Costa Santos e Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante como preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Geociências, com área de concentração em Hidrogeologia, defendida e Aprovada em 29/10/2013.

Catálogo na fonte
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

L557a

Lemos, Ediu Carlos Lopes.

Análise integrada dos efeitos da expansão urbana nas águas subterrâneas do município de Fortaleza - CE. / Ediu Carlos Lopes Lemos. - Recife: O Autor, 2013.

198 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2013.

Inclui Referências, Anexos e Apêndices.

1. Expansão urbana. 2. Águas subterrâneas. 3. Fortaleza.
I. Santos, Almany Costa (orientador). II. Cavalcante, Itabaraci Nazareno (orientador). III. Título.

CDD 551 (21. ed.)

UFPE
BDEN/2013-22

**"ANÁLISE INTEGRADA DOS EFEITOS DA EXPANSÃO URBANA NAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA - CE".**

Edu Carlos Lopes Lemos

Aprovado:

Dr. Almany Costa Santos
29 de Outubro 2013

Dr. João Manoel Filho
29 de Outubro 2013

Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
29 de Outubro 2013

Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante
29 de Outubro 2013

Dr. Milton Antônio da Silva Matta
29 de Outubro 2013

"A História tem demonstrado que os mais notáveis vencedores normalmente encontraram obstáculos dolorosos antes de triunfarem. Eles venceram porque se recusaram a se tornarem desencorajados por suas derrotas". (Bryan Forbes)

DEDICATÓRIA

Ao Professor Itabaraci, que se fez um amigo, que me fez entender que a arte de pensar é o tesouro dos sábios. Aprendi um pouco mais a pensar antes de reagir, a expor e não impor as minhas ideias e a entender que cada pessoa é um ser único no palco da existência.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq, pelo financiamento através da bolsa de Doutorado.

Agradeço a minha mãe e irmãos pelo apoio em todos os sentidos para vencer mais este desafio. Em especial, agradeço a Regilane Sobreira que foi muito importante na reta final deste trabalho, me apoiando, acreditando em mim e torcendo pelo meu sucesso.

Aos amigos Williams da Silva Guimarães de Lima, Luciano Cintrão Barros, Josué Pereira da Silva, Aprígio e outros com os quais convivi e contribuíram direta ou indiretamente, da minha caminhada para elaboração deste trabalho.

Ao Professor Dr. Almany Costa Santos por ter continuado na jornada, aceitado prontamente, ser meu orientador em mais esta etapa, pela sua amizade, pelas longas conversas e todo o apoio durante meu curso de Doutorado na Pós-Graduação desta Universidade.

Esta Tese foi elaborada com o apoio de toda equipe do Laboratório de Hidrogeologia (LABHI-UFC), acompanhada pelos amigos e amigas que fazem parte do grupo de pesquisa neste laboratório citam-se; Maria da Conceição Rabelo Gomes, Larissa Silva e Silva, Natália Veruska Virino de Lima, Virgínia, Felipi, Pedro Pina, Karen Vendramin, Rafael e outros.

Agradeço de forma especial aquele que sempre foi o meu maior incentivador, um amigo verdadeiro, conselheiro, meu co-orientador e Professor, Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, coordenador do LABHI/UFC, onde sua participação foi efetiva e direta no apoio, ensinamentos, orientação e elaboração deste trabalho bem como, no sucesso da minha trajetória acadêmica.

RESUMO

Esta Tese foi desenvolvida em Fortaleza(313,8km²), Ceará. A metodologia constou da revisão bibliográfica, arquivo de 7.573 poços, análise dos aspectos hidrogeológicos e de 199 análises qualitativas, integração e interpretação estatística e hidroquímica associadas ao processo de expansão da cidade. Os aquíferos são livres a semi-confinados, representados pelos Sistemas Sedimentar (Dunas, Barreiras e Aluviões) e o Fraturado (rochas ígneas e metamórficas). O Dunas possui espessura saturada de 3 a 10 m, nível estático de 6 m, vazão de 6 m³/h, permeabilidade de 2,88.10⁻⁴ m/s e transmissividade de 1,79.10⁻² m²/s. O Barreiras possui espessuras de 20 a 60 m, permeabilidade de 4,65.10⁻⁴ m/s e transmissividade de 4,78.10⁻³ m²/s. As aluviões são livres, nível estático de 2 m, espessura média de 5 m, transmissividade de 3.10⁻² m²/s, permeabilidade de 6.10⁻⁴ m/s e porosidade efetiva de 5.10⁻². Dos 7.573 poços, 6.858 são particulares e 714 públicos. Ressalta-se a produção anual de 25.225.827 L de necro-chorume, 884.348 m³/hab de urina e 10.022.228 kg de nitrato. As reservas reguladoras para o Sistema Sedimentar são de 5.689.292 m³/ano e as permanentes de 138.582.500 m³. As águas subterrâneas são Cloretadas-Sódicas a Mistas e as superficiais são Mistas a Bicarbonatadas-Mistas. O N-NO₃ nas águas subterrâneas variou de 0 a 47 mg/L, média de 11,5 mg/L. O ambiente é redutor e ácido/básico com pH de 4 a 9; Na área de estudo 41% das águas dos aquíferos livres apresentam concentrações acima de 10mg/L de nitrato. Além dos fatores naturais, a área reflete o impacto das atividades antrópicas na qualidade das águas subterrâneas.

Palavras-chave: Expansão Urbana, Águas Subterrâneas, Fortaleza.

ABSTRACT

This thesis was developed in Fortaleza (313.8 km²), Ceará. The methodology consisted of a literature review, file 7,573 wells, analysis of the hydrogeological and 199 qualitative analysis, integration and interpretation of statistical and hydrochemical process associated with expansion of the city. Aquifers are free to semi-confined, represented by sedimentary systems (dunes, Barriers and alluvium) and Fractured (igneous and metamorphic). The Dunes has saturated thickness of 3 to 10 m, 6 m static level, flow of 6 m³/h, permeability $2.88 \cdot 10^{-4}$ m/s and transmissivity $1.79 \cdot 10^{-2}$ m²/s. The barriers have thicknesses of 20 to 60 m, permeability $4.65 \cdot 10^{-4}$ m/s and transmissivity $4.78 \cdot 10^{-3}$ m²/s. The floods are free, static level of 2 m, 5 m average thickness, transmissivity of $3 \cdot 10^{-2}$ m²/s, permeability of $6 \cdot 10^{-4}$ m/s and effective porosity of $5 \cdot 10^{-2}$. Of the 7,573 wells, 6,858 are private and 714 public. We highlight the annual production of 25,225,827 L necro-manure, urine and 884,348 m³/hab 10,022,228 kg nitrate. Reservations for the regulatory system are Sedimentary 5,689,292 m³/ano and permanent 138,582,500 m³. Groundwater is chlorinated to Mixed-Sodic and surface are mixed with bicarbonate-Mixed. The NO₃-N in groundwater ranged from 0 to 47 mg/L, mean 11.5mg/L. The atmosphere is reducing and acidic/basic pH 4 to 9. In the study area 41% of free water aquifers have concentrations above 10 mg/L nitrate. Besides natural factors, the area reflects the impact of human activities on groundwater quality.

Keywords: Urban Expansion, Groundwater, Fortaleza.

ÍNDICE

Capítulo 1 - Introdução.....	17
1.1 Localização e Acesso.....	19
1.2 Objetivos.....	20
Capítulo 2 - Metodologia de Trabalho.....	22
2.1 Levantamento de dados a análise de trabalhos anteriores.....	22
2.2 Compilação dos dados de poços e análises físico-químicos.....	27
2.3 Elaboração das bases temáticas.....	28
2.4 Etapas de Campo.....	28
2.5 Interpretação dos Dados.....	29
Capítulo 3 - A área de Estudo.....	31
3.1 Aspectos Sócio-econômicos.....	31
3.2 Aspectos Geoambientais.....	34
3.2.1 Aspectos Geológicos.....	34
3.2.1.1 Complexo Gnáissico-migmatítico.....	35
3.2.1.2 Vulcânicas Alcalinas.....	36
3.2.1.3 Coberturas Colúvio-eluviais.....	36
3.2.1.4 Formação Barreiras.....	36
3.2.1.5 Depósitos Flúvio-eluvionares.....	37
3.2.1.6 Dunas.....	37
3.2.3 Geomorfologia.....	38
3.2.4 Solos.....	40
3.2.5 Vegetação.....	41
3.2.6 Aspectos Climáticos e Fisiográficos.....	44
3.2.6.1 Condicionantes Climáticos.....	44
3.2.6.2 Balanço Hídrico e Classificação Climática.....	45
3.2.7 Hidrografia.....	48
Capítulo 4 - A Ocupação Urbana em Fortaleza.....	52
4.1 Aspectos Ambientais.....	52
4.2 Zoneamento Ambiental e Evolução do Uso e Ocupação do Solo.....	52
4.2.1 Unidades de Uso e Ocupação do Solo no ano de 1970.....	55
4.2.2 Unidades de Uso e Ocupação do Solo no ano de 2010.....	57
4.2.3 Análise da Evolução do Uso e Ocupação do Solo (1970 a 2010).....	61
Capítulo 5 - Hidrogeologia.....	65
5.1 Síntese dos Trabalhos Anteriores.....	65
5.2 Sistemas Hidrogeológicos.....	66

5.2.1 Sistema Aquífero Sedimentar.....	67
5.2.1.2 Dunas.....	68
5.2.1.3 Barreiras.....	69
5.2.1.4 Aluviões.....	70
5.2.2 Meio Cristalino.....	70
5.3 Avaliação dos Parâmetros Hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Dunas, Barreiras e Aluviões.....	71
5.4 Recarga das Águas Subterrâneas.....	72
5.5 Reservas e Potencialidade das Águas Subterrâneas.....	73
5.5.1 Reservas.....	74
5.5.1.1 Reservas Reguladoras.....	75
5.5.1.2 Reservas Permanentes.....	77
5.5.1.3 Reservas Totais.....	78
Capítulo 6 - Fontes de Contaminação das Águas Subterrâneas..	79
6.1 Fontes Potenciais de Contaminação.....	79
6.1.1 Cemitérios.....	83
6.1.2 Postos de Armazenamento de Combustíveis.....	87
6.1.3 Disposição de Resíduos Sólidos.....	90
6.1.4 Estações de Tratamento de Esgotos e Efluentes.....	94
6.1.5 Poços Mal Construídos ou Abandonados.....	97
6.1.6 Pontos de Lavagem de Veículos automotores.....	97
6.1.7 Esgotamento Sanitário Doméstico.....	98
6.2 Fontes Difusas de Contaminação.....	100
Capítulo 7 - Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas.....	102
7.1 Composição das Águas Subterrâneas.....	104
7.2 Relações Iônicas das Águas Subterrâneas.....	112
7.3 Análise dos Íons Maiores nas Águas Subterrâneas.....	114
7.3.1 Balanço Iônico.....	114
7.3.2 Caracterização Hidroquímica através do diagrama de Piper.....	115
7.4 Composição Físico-Químicas Simplificada das Águas Subterrâneas.....	117
7.4.1 pH.....	117
7.4.2 Condutividade Elétrica.....	119
7.4.3 Sólidos Totais Dissolvidos nas Águas Subterrâneas....	121
7.4.4 Dureza Total.....	124
7.4.5 Bicarbonatos.....	125
7.4.6 Concentração do Cloreto nas Águas Subterrâneas.....	125
7.4.7 Concentração de Nitrato nas Águas Subterrâneas.....	127
7.5 Qualidade das Águas Subterrâneas.....	132
Capítulo 8 - Infra-Estrutura Hídrica e Abastecimento de Água.....	139
8.1 Águas Subterrâneas.....	140
8.2 Sistema de Abastecimento Público de Água.....	142
8.2.1 Águas Subterrâneas.....	142
8.2.2 Águas Superficiais.....	144
8.3 Potencialidades Hídricas Subterrâneas.....	144

Capítulo 9 - Conclusões e Recomendações.....	146
Referências.....	150
Apêndices.....	164
Apêndice A - Lista dos Cemitérios e Estações de Tratamento de Esgotos em Fortaleza.....	165
Apêndice B - Lista dos Lava Jatos em Fortaleza.....	167
Apêndice C - Lista do Postos de Combustíveis em Fortaleza.....	171
Anexo A - Cadastro do Poços no Município de Fortaleza.....	
Anexo B - Dados de Análises Físico-Químicas das Águas Subterrâneas do município de Fortaleza.....	
Anexo C - Dados das Análises Bacteriológicas do município de Fortaleza.....	

LISTA DE TABELAS

3.1 Dados do balanço hídrico no município de Fortaleza período entre 1970 e 2011.....	48
6.1 Cálculo de necro-chorume produzido pelos cemitérios em Fortaleza.....	86
7.1 Exemplos das formas oxidadas e reduzidas de elementos importantes.....	107
7.5 Análise bacteriológicas das Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará.....	133
7.5.1 Dados de imóveis e saneamento no município de Fortaleza.....	135

LISTA DE FIGURAS

1	Crescimento da população no Brasil.....	18
1.1	Mapa de localização de Fortaleza-CE.....	20
3.1	Distribuição das Secretarias Executivas Regionais no município de Fortaleza.....	33
3.2	Distribuição litológica do município de Fortaleza-Ceará.....	35
3.3	Zoneamento planialtimétrico do município de Fortaleza.....	39
3.4	Vegetação de mangue na bacia do Rio Cocó.....	42
3.5	Vegetação na Bacia do Rio Cocó.....	43
3.6	Vegetação antrópica no Parque do Cocó.....	43
3.7	Pluviometria média no município de Fortaleza entre 1970 e 2011.....	45
3.8	Temperatura média anual no município de Fortaleza.....	45
3.9	Balanço hídrico do município de Fortaleza.....	47
3.10	Balanço Hidroclimatológico com distinção de cores para as condições hídricas do solo como deficiência, reposição, excedente e retirada no município de Fortaleza.....	47
3.11	Bacias Hidrográficas no município de Fortaleza.....	49
3.12	Ocupação das margens do Rio Maranguapinho no bairro Bom Sucesso, Fortaleza.....	51
4.1	Dados sobre a área das unidades de uso e ocupação do solo no município de Fortaleza nos anos de 1970 e 2010.....	57
4.2	Mapa de uso e ocupação no município de Fortaleza no ano de 1970.....	59
4.3	mapa de ocupação no município de Fortaleza no ano de 2010.....	60
4.4	Aterramento de lagoa no bairro do Barroso com entulho para ocupação urbana.....	61
4.5	Alagamento em Fortaleza, na Rua Rui Monte, bairro do Antônio Bezerra.....	62
4.6	Ocupação irregular de área de dunas, nas proximidades do Porto do Mucuripe, bairro Meireles.....	64
4.7	Ocupação inadequada de lagoa ao longo da BR 116, próximo ao viaduto do Cambeba.....	64
5.1	Sistemas Hidrogeológicos de Fortaleza.....	67
6.1	Distribuição das fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas de Fortaleza.....	82
6.2	Lixão do Jangurussú no bairro Barroso em Fortaleza-Ceará.....	93
6.3	Lançamento de efluentes da ETE no Rio Maranguapinho....	95

6.4 Eutrofização do Rio Maranguapinho no bairro da Granja Portugal.....	96
6.5 Lagoa de efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto na margem direita do Rio Cocó na Av. Perimetral.....	97
6.6 Saneamento no município de Fortaleza.....	99
7.1 Impurezas encontradas nas águas.....	103
7.2 Diagrama de Piper.....	116
7.3 Distribuição dos valores de pH nas águas subterrâneas do município de Fortaleza.....	119
7.4 Histograma de condutividade elétrica nas águas subterrâneas.....	120
7.5 Distribuição dos valores da condutividade elétrica nas águas subterrâneas.....	121
7.6 Dados de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas.....	122
7.7 Distribuição dos valores de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas.....	123
7.8 Classificação das águas subterrâneas segundo a dureza..	124
7.9 Concentração de bicarbonatos nas águas subterrâneas, Fortaleza-Ceará.....	125
7.10 Histograma de cloretos nas águas subterrâneas.....	126
7.11 Distribuição de cloretos nas águas subterrâneas.....	127
7.12 Ciclo do nitrogênio.....	128
7.13 Histograma de nitrato nas águas subterrâneas.....	129
7.14 Representação do fluxo de nitrato proveniente de fossa séptica.....	130
7.15 Distribuição de nitrato nas águas subterrâneas.....	131
7.16 Distribuição de saneamento básico e imóveis em Fortaleza.....	136
7.17 Doenças diarreicas em Fortaleza.....	138
8.1 Mapa de distribuição dos poços em Fortaleza.....	141
8.2 Chafariz em uso.....	143
8.3 Chafariz desativado.....	143

SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAGECE - Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Ceará

COGERH - Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

GPS - *Global Position System*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geociências e Estatística

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IDM - Índice de desenvolvimento Municipal

IPLANCE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

PIB - Produto Interno Bruto

RMF - Região Metropolitana de Fortaleza

RAS - Razão de Adsorção de Sódio

SEMACE - Secretária do Meio Ambiente do Estado do Ceará

SOHIDRA - Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A água no meio urbano tem vários aspectos. O primeiro, que qualquer pessoa tem sempre na mente, é o do abastecimento da população. No entanto, vários outros aspectos devem ser considerados, principalmente com o aumento e a densificação populacional que o mundo vem sofrendo nesse século (TUCCI, 1997).

Com o crescimento populacional e a densificação, fatores como a poluição doméstica e industrial se agravaram criando condições ambientais inadequadas, propiciando o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, poluição do ar e sonora, aumento da temperatura, contaminação da água subterrânea, entre outros. Esse processo que se agravou principalmente à partir do final da década de 60, mostrou que o desenvolvimento urbano sem qualquer planejamento ambiental resulta em prejuízos significativos para sociedade (TUCCI op.cit).

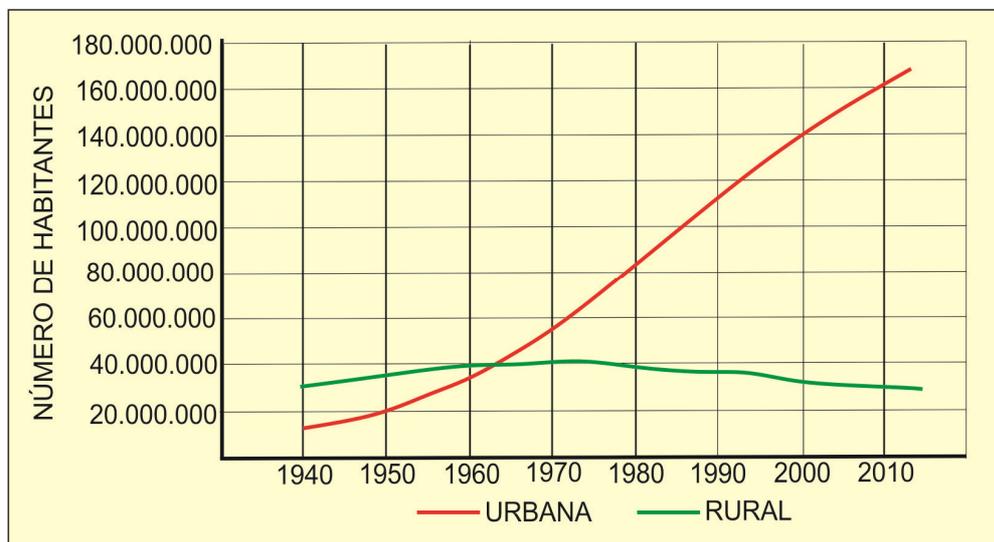
Dentre os recursos naturais impactados com o processo de urbanização, a água subterrânea se apresenta particularmente vulnerável aos efeitos das ações antrópicas, pela dificuldade em seu gerenciamento e preservação, por tratar-se de um recurso "invisível" e pouco conhecido (REBOUÇAS et al., 2002).

As principais condições de contaminação dos aquíferos urbanos são devidas a aterros sanitários e fossas sépticas e negras como destinos finais dos esgotos e a rede de drenagem pluvial, por meio de perdas de volume no seu transporte ou no entupimento de seus trechos (TUCCI, 2003)

Atualmente tem sido previsto que a crise deste século deverá ser a da água, principalmente pelo aumento de consumo e deterioração dos mananciais existentes que têm capacidade

finita. Isto se deve principalmente devido a contaminação dos mananciais urbanos através do despejo dos efluentes domésticos e industriais e dos esgotos pluviais.

O Brasil apresentou, ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana (Figura 1). A taxa da população urbana brasileira é de 84,4% (IBGE, 2010). O processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 60, gerando uma população urbana com uma infra-estrutura inadequada. Alguns Estados brasileiros já apresentam características de urbanização de países desenvolvidos, como São Paulo onde 91% da população é urbana.



Fonte: IBGE, 2010.

Figura 1 - Crescimento da população no Brasil

Os efeitos desse processo se fazem sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água.

A urbanização, portanto, pode afetar quantitativa e qualitativamente a qualidade das águas subterrâneas (FOSTER, 2001). No primeiro caso, pelo aumento na exploração do recurso, pelo incremento progressivo do escoamento superficial

nas áreas pavimentadas e impermeabilizadas e pela alteração dos níveis de recarga e de permeabilidade do solo. E, em termos de qualidade pela poluição e contaminação das águas subterrâneas, em decorrência do uso inadequado do solo à qual foi destinada a área, principalmente pelas práticas de saneamento não terem acompanhado o rápido adensamento populacional das cidades (LAWRENCE *et al.*, 1998).

A principal justificativa para este estudo é necessidade do entendimento do uso atual e futuro das águas subterrâneas, cuja utilização descontrolada por parte da população, não só para as tarefas domésticas, mas inclusive para consumo e uso pessoal, representa um risco à saúde.

O esclarecimento do cenário atual da cidade quanto aos possíveis impactos ocorridos no seu processo de urbanização colabora para despertar a atenção da sociedade sobre a importância deste tema e para fornecer subsídios aos gestores públicos quanto à adoção de medidas para o planejamento e controle do uso do solo, bem como para utilização, preservação e remediação das águas subterrâneas.

O trabalho em apreço procura atender às exigências parciais para obtenção do título de Doutor pelo curso de Doutorado em Geociências, área de concentração em Hidrogeologia, do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.

1.1 - Localização e Acesso

O município de Fortaleza está situado na zona litorânea da porção nordeste do estado do Ceará, Região Nordeste do Brasil, sendo delimitado pelas coordenadas UTM 9565000 a 9595000 Norte e 540000 a 567000 Leste, incluso na Folha AS-24-Z-C-IV (SUDENE), possuindo 313,8 km² e limitando-se ao norte pelo Oceano Atlântico e Caucaia; ao sul pelos municípios de Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio; a leste por Eusébio,

Aquiraz e Oceano Atlântico; a oeste por Caucaia e Maracanaú (Figura 1.1).

O acesso pode ser realizado pela extensa malha viária do Estado. Contudo, existem rodovias principais que integram o município as demais regiões estaduais ou interestaduais, sendo elas: a BR 116 (sul), a BR 222 (oeste) e a CE 020 (leste), além de contar com acesso aéreo do Aeroporto Internacional Pinto Martins e o Porto do Mucuripe.

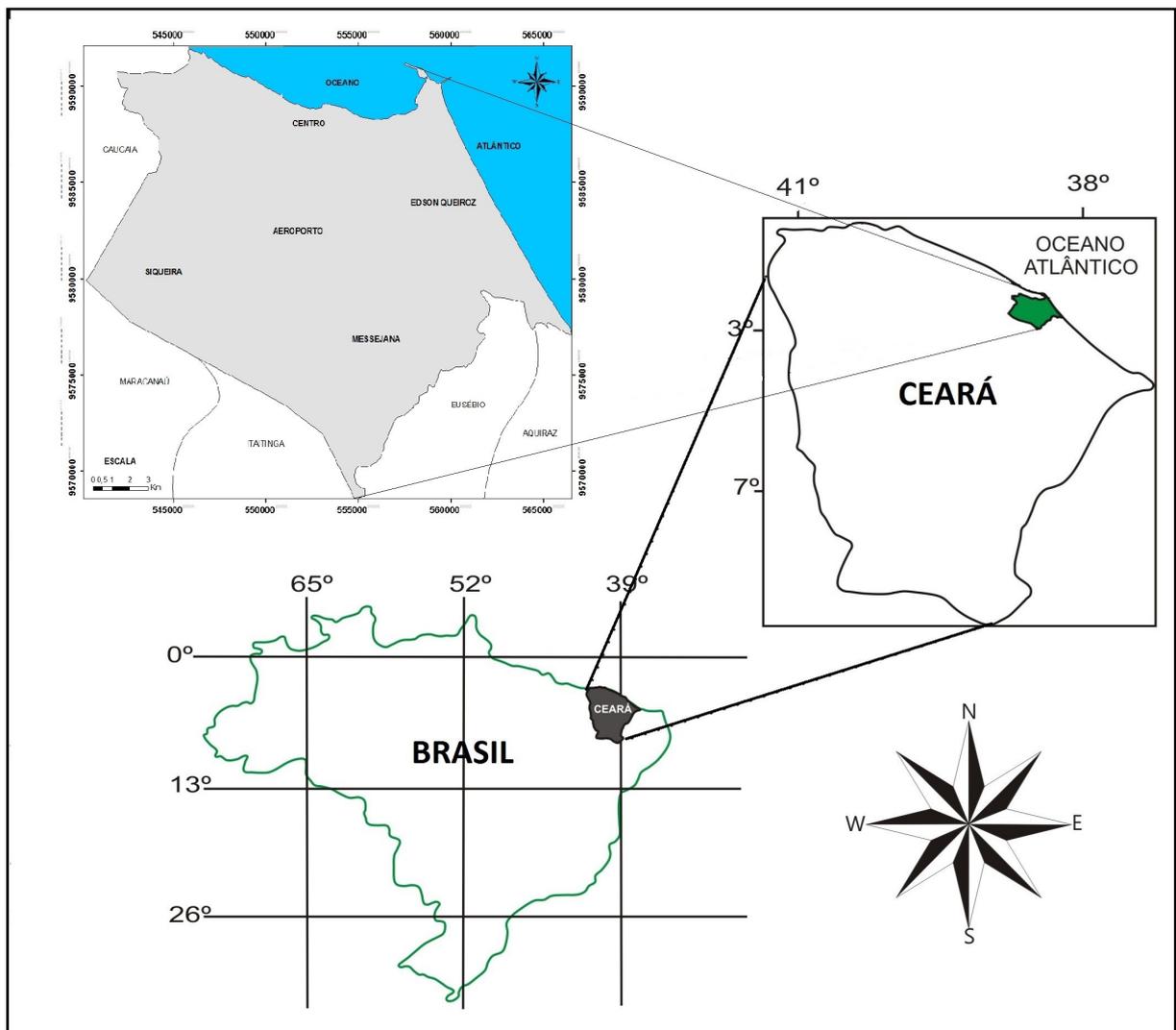


Figura 1.1 - Mapa de localização de Fortaleza-CE.

1.2 - Objetivos

A presente proposta tem como objetivo principal avaliar os riscos e impactos da expansão urbana nas águas subterrâneas em

termos quantitativos (ex: impermeabilização, reservas, etc.) e em termos qualitativos, no município de Fortaleza, a partir de uma análise integrada dos fatores hidroambientais, geológicos, hidrogeológicos, uso e ocupação do solo e de demandas de água, apresentando uma contextualização da situação atual.

Dentre os objetivos específicos tem-se:

- Atualiza o arquivo de dados dos poços existentes em Fortaleza;
- Avaliar a dinâmica da evolução do uso e ocupação do solo;
- Mapear as fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas.
- Caracterizar o arcabouço da infra-estrutura hídrica disponível para Fortaleza;
- Elaborar mapas temáticos (nível estático; condutividade elétrica; isoteores de nitrato, cloreto, STD, pH);
- Avaliar a situação da qualidade das águas subterrâneas frente às atividades antrópicas.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA DO TRABALHO

Nas avaliações das condições das águas subterrâneas em ambientes urbanos se faz necessário basicamente dois estágios (VÁZQUEZ-SUÑÉ *apud* VASCONCELOS 2009), sendo eles:

- A identificação dos fatores significantes no ciclo hidrológico urbano;
- O desenvolvimento e aplicação de metodologias para quantificar e controlar esses fatores.

A metodologia aplicada no presente trabalho abrange uma ampla diversidade de atividades que foram direcionadas no sentido de facilitar a obtenção de subsídios para o desenvolvimento dos tópicos propostos, atingindo os objetivos do estudo.

Dessa forma, a metodologia empregada neste trabalho consta, basicamente, de seguintes etapas principais, descritas a seguir.

2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

A revisão bibliográfica sobre a área de estudo constou da obtenção de dados referentes à geologia, hidrogeologia, aspectos socioeconômicos e geoambientais, além de mapas temáticos. Esta pesquisa foi realizada junto aos órgãos públicos como Serviço Geológico do Brasil (CPRM), FUNCEME, SOHIDRA, COGERH, Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Ceará (CAGECE) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), servindo esses dados para um melhor conhecimento das características da área e ajudando na elaboração de base preliminar de trabalho. Posteriormente, foi realizada uma revisão documental de trabalhos já realizados no

município, dentre os quais foram utilizadas informações e dados dos mesmos, destacam-se alguns de caráter hidrogeológico e de qualidade das águas subterrâneas, como será visto a seguir.

ARAÚJO & LEAL (1990) analisaram a qualidade das águas subterrâneas de Fortaleza, sua correlação com os aquíferos e sua aplicabilidade para consumo humano, industrial e irrigação. Os dados hidrogeológicos caracterizaram o Barreiras como aquífero de baixo potencial hidrogeológico, e os dados hidroquímicos indicaram águas de boa potabilidade. O Sistema Dunas constituiu o melhor aquífero, tanto em vazão quanto em qualidade. As águas do cristalino, no geral, apresentam potabilidade passável e tendência corrosiva.

BRANDÃO *et al.* (1995) elaboraram um diagnóstico geoambiental com os principais problemas da ocupação do meio físico no município de Fortaleza. Como exemplos citam-se, a favelização das dunas, erosão da linha de costa, degradação das áreas de acumulação inundáveis, movimentos ou deslizamentos de massas e enchentes, que são processos naturais fazendo parte da evolução da paisagem, mas que muitas vezes são provocados ou acelerados pela atividade antrópica.

MARINHO (1998) estudou os impactos ambientais causados pela instalação inadequada de cemitérios em Fortaleza, destacando os impactos físicos, dentre os quais o mais importante é o risco de contaminação das águas subterrâneas por microorganismos. Realizou também estudos hidroquímicos e microbiológicos na área de influência destas necrópoles, relacionada à contaminação das águas subterrâneas e risco à saúde pública quando do uso das águas pela população. A pesquisa concluiu que, segundo as análises texturais e ensaios de permeabilidade, o solo é classificado como areia média, com alta permeabilidade, fato que propicia a passagem do líquido,

gerada pela decomposição dos corpos, para as águas subterrâneas.

CAVALCANTE (1998) traçou diretrizes para otimizar o manejo integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, apresentando fundamentos hidrogeológicos integrados ao uso e ocupação do meio físico. Trabalhou com mais de 1.400 análises físico-químicas e bacteriológicas, concluindo que a qualidade físico-química das águas subterrâneas é boa, não tendo problemas maiores em nível regional. Porém, localmente, existem elevadas concentrações de nitratos, cloretos e ferro, derivadas do ambiente hidrogeológico ou do uso inadequado e ocupação do meio físico. Em termos bacteriológicos existem problemas em função do uso e ocupação, associado aos problemas de falta de saneamento básico e não aplicação de cuidados quando na construção de poços, permitindo algumas vezes, a conexão com níveis superficiais poluídos.

BIASOLI (2000) relata a qualidade da água do município de Fortaleza relacionando a contaminação do lençol freático com a geração e perpetuação de muitas doenças de veiculação hídrica. Face a isto, trabalhou com 909 análises de água subterrânea no ano de 2000 e constatou que 21% não eram poluídas, 26% apresentaram poluição não fecal e 53% apresentava poluição fecal.

QUESADO JUNIOR (2001) analisou a qualidade das águas subterrâneas do município de Fortaleza-Ceará, relacionando-a com os problemas das doenças de veiculação hídrica acometidas pela população. Trabalhou dados de 416 análises bacteriológicas de águas de poços tubulares e cacimbas de Fortaleza no período de 1990 a 2000, onde se demonstra que 34% das águas sejam potáveis e 66% não potáveis, apresentando contaminação por coliformes fecais, predominando as bactérias *Escherichia coli* (62%), *Pseudomonas sp* (16%) e *Klebsiella*

(13%). Constatou que 50% das doenças que acometem a população do município de Fortaleza são oriundas de águas poluídas, resultado direto de atividades antrópicas sobre o meio físico.

TAJRA (2001) levantou o registro de 1.178 captações de água subterrânea no município de Fortaleza, onde foram analisados arquivos, fichas e perfis técnicos de 371 poços tubulares distribuídos nos cinco distritos que compõem a área. Com isso avaliou os aspectos técnico-construtivos dos poços tubulares, através um diagnóstico da atual situação destas obras cadastradas, relacionando-o às normas vigentes de construção nos diferentes âmbitos da abrangência legal e normativa. Os poços mal locados, construídos ou utilizados de forma não adequada podem se transformar em focos de contaminação do manancial explorado. Com vistas a garantir a proteção das captações por poços tubulares e dos próprios aquíferos da região de Fortaleza, a exigência e aplicação das normas da ABNT devem ser melhores apreciadas pelas entidades competentes.

SOUZA (2002) avaliou a qualidade das águas subterrâneas de 48 poços, sendo 27 poços tubulares e 21 cacimbas, localizadas na região circunvizinha o lixão do Jangurussu, porção sul do município de Fortaleza - Ceará. Trabalhou com 48 análises físico-químicas e bacteriológicas onde foi observado que 74% das águas encontram-se poluídas por coliformes e, as análises físico-químicas apresentam valores elevados para os elementos Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Na^+ e Fe total, estando em desacordo com a Portaria nº1469 de 29/12/2000 do Ministério da Saúde.

GOMES (2006) estudou as águas subterrâneas do Campus Universitário do Pici - Fortaleza, procurando caracterizar o ambiente hidrogeológico e a qualidade das águas, culminando com o cálculo de reservas e disponibilidades deste recurso como possível fonte de abastecimento.

LEMOS & MEDEIROS (2006) estudaram as águas subterrâneas de dois bairros de Fortaleza (Granja Portugal e Bom Jardim) integrando hidrogeologia e doenças de veiculação hídrica, mostrando que as águas mais superficiais da área estão com valores para nitrato ultrapassando em até 250% o valor máximo permitido pela Portaria nº518 de 25 de março 2004 do Ministério da Saúde além, de se encontrarem poluídas por coliformes fecais.

PEREIRA (2008) estudou as águas subterrâneas dos bairros Cristo Redentor, Pirambu e Barra do Ceará, resultando numa integração dos dados de análises físico-químicos com as doenças de veiculação hídrica, em que ficou determinado que as águas mais superficiais encontram-se com valores para nitrato superam em até 560% o estabelecido pela portaria nº518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, bem como as mesmas estão poluídas por coliformes fecais, acarretando em prejuízos a saúde da população que se utiliza deste recurso como fonte alternativa de abastecimento público.

MAIA (2008) estudou a qualidade das águas subterrâneas e seus impactos na saúde pública no bairro de Messejana, Fortaleza - Ceará, resultando numa integração dos conhecimentos da hidrogeologia com os problemas de saúde relacionados às doenças associadas à água subterrânea no bairro, corroborando o observado por Lemos & Medeiros (2006).

MELO (2008) analisou as características hidrogeológicas e hidroquímicas das águas subterrâneas nos bairros Joaquim Távora, Dionísio Torres e São João do Tauape localizados na porção nordeste do município de Fortaleza. A partir, da análise das águas de 15 poços, os resultados físico-químicos, mostraram que todas as águas apresentam pelo menos uma concentração iônica acima dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº518 de 25 de Março de 2004 do Ministério da Saúde, principalmente, quanto aos valores de

nitrito, ferro e pH, sendo que os valores para nitrito chegam a ultrapassar em até 460%, do valor máximo permitido; ressaltando-se que a população da área utiliza-se destas águas para consumo humano.

SILVA NETO (2010) avaliou as características físico-químicas das águas subterrâneas nos bairros Engenheiro Luciano Cavalcante, Jardim das Oliveiras, Cidade dos Funcionários e Aerolândia, localizados em Fortaleza, que estão inseridos nos Sistemas Hidrogeológico Dunas, Aluvião e Barreiras, constatando que algumas destas águas têm concentrações iônicas acima dos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria Nº 518 de 25 de março de 2004, principalmente, quanto aos valores de nitrito (42%) e ferro (36%).

2.2. COMPILAÇÃO DOS DADOS DE POÇOS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Esta etapa teve por finalidade a obtenção de informações sobre os dados técnicos construtivos, litológicos e hidrogeológicos dos poços, bem como, ter subsídios para uma análise quanto à constituição físico-química das águas subterrâneas no município.

A partir de uma compilação dos dados de relatórios de graduação do Curso de Geologia da Universidade Federal do Ceará desenvolvidos no período de 2002 a 2010, foram elaborados dois arquivos em planilha eletrônica no *Excel* (*Microsoft Office 2007 for Windows*), contendo informações técnicas, hidrogeológicas e litológicas dos poços (Anexo A) e outra com dados de 199 análises físico-químicas dos poços cadastrados no município pelos trabalhos citados anteriormente (Anexo B).

2.3. ELABORAÇÃO DAS BASES TEMÁTICAS

Inicialmente foi elaborado um arquivo de dados integrando as diversas informações sobre poços, saúde, saneamento, dados populacionais e aspectos socioeconômicos entre outros, dando a estes um tratamento estatístico simples e gerando-se bases para a execução inicial do trabalho.

Foram obtidas bases planialtimétricas na escala 1:2.000 e 1:10.000, fundamentais para locação dos poços, e dos sistemas hidrogeológicos na escala 1:15.000.

Com o objetivo de dispor de bases técnicas integradas ao estudo, os mapas compilados foram modificados, atualizados e convertidos para escala de trabalho (1:150.000), adequada à finalidade. Foram elaborados mapas temáticos de uso e ocupação urbana do meio físico no município, distribuição das fontes potenciais de contaminação, distribuição dos poços d'água, entre outros. Os mapas foram geradas a partir, do uso dos programas computacionais, *CorelDraw* e *ArcGis 9.3*.

2.4 ETAPAS DE CAMPO

Foram realizadas etapas de campo para aquisição de dados referente as fontes potenciais de contaminação, dentre as quais foram cadastrados 303 poços de combustíveis, 26 estações de tratamento de esgotos, 07 cemitérios e 93 lava jatos, durante o cadastramento foi utilizado o GPS (Garmim III plus, 12 canais).

Foram também realizadas etapas de campo com o objetivo de avaliar *in situ* as condições de uso dos poços cadastrados, bem como, complementar algumas informações referentes a qualidade, para isso se fez uso de equipamentos portáteis de medição, a exemplo do medidor de nível d'água e o medidor de

condutividade elétrica digital (CDR-870 - precisão de $\pm 1\%$ + 2 dígitos), foi também medido pH e STD.

A diferenciação entre os tipos de poços se deu em função de três parâmetros: profundidade, tipo de perfuração e diâmetro de perfuração, conforme classificação adotada pela Secretária de Recursos Hídricos do Estado do Ceará-SRH/CE (Decreto N°23/1994). Dessa forma, os poços com profundidades inferiores ou iguais a 20 metros e com diâmetro de perfuração até 10 polegadas, são tidos como poços rasos (PR), os poços com profundidades entre 20 e 50 metros são classificados como medianamente profundos e os perfurados com profundidade igual ou superior a 50 metros foram classificados como do tipo tubular profundo (PTP).

2.5 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O tratamento dos dados cadastrados, gerando informações para a pesquisa, constou da compilação, uniformização, formação de arquivo de dados, tratamento estatístico simples dos dados numéricos e integração e/ou modificações dos mapas, gerando as bases para a execução do trabalho.

As fichas técnicas dos poços tubulares, através do arquivo de dados, foram analisadas e as informações checadas, desde que possível, através de mapas geológicos, hidrogeológicos e campanhas de campo.

O cadastro de poços realizado a partir da coleta de fichas técnicas de construção de poços e/ou perfis de construção, possibilitou a formação de um arquivo de dados elaborado em planilha eletrônica Excel (*Microsoft Office 2003 for Windows*). Isto possibilitou uma avaliação preliminar das condições de captação das águas subterrâneas no município.

Foram confeccionadas as bases de localização dos pontos d'água, geológica, e a dos sistemas aquíferos, utilizadas

neste trabalho. Utilizando programas computacionais gráficos (p.ex. *Corel Draw* 13.0, *ArcGis* 9.3), conservando-se as informações originais, as bases foram padronizadas na escala 1:50.000, facilitando o manuseio das mesmas nos trabalhos de campo.

As análises físico-químicas foram submetidas ao cálculo de balanço iônico para verificação da validade das mesmas, considerando-se um erro máximo individual de 10%, compatível com o STD das amostras analisadas. Após isto, os dados foram tratados estatisticamente, identificação do ambiente de deposição, relações iônicas, classificação iônica e o enquadramento das águas na Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde, foram elaborados gráficos hidroquímicos de Piper, com a utilização do pacote computacional "QUALIGRAF", versão Beta, desenvolvido por MÖBUS (2003) e divulgado no *site* da FUNCEME (www.funceme.br); foram também confeccionados gráficos de Condutividade Elétrica, Nitrito, STD (Sólidos Totais Dissolvidos), profundidade, condutividade hidráulica e distribuição do nível estático geral dos poços da área, foi utilizado o *software* SURFER versão 8.0 (Golden Software) para a elaboração de alguns mapas de distribuição destes parâmetros.

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3. A ÁREA DE ESTUDO

Fortaleza é a capital do estado brasileiro do Ceará, pertence à mesorregião Metropolitana de Fortaleza e à microrregião de Fortaleza, estando localizada no litoral Atlântico, com 34 km de praias, a uma altitude média de 21 metros e é centro de um município. É a cidade mais populosa do Ceará, a quinta do Brasil e a 91^a mais populosa do mundo.

3.1 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

De acordo com o censo demográfico de 2010 realizado pelo IBGE, o município de Fortaleza, foi instalado em 1725, apresenta área de 313,8 km² com o total de 2.505.557 habitantes, com uma densidade demográfica de 8.001 hab/km², a uma taxa de crescimento anual de 2,15% representando uma taxa de urbanização de 100%.

Fortaleza tem o 9º maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e o maior do Nordeste, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE,2010). Segundo o instituto, o PIB da capital cearense é R\$ 37.106.309.000.

O município de Fortaleza possui 118 bairros distribuídos em 06 Secretárias Executivas Regionais (SER)(Figura 3.1). A metade do total dos 118 bairros possui renda per capita inferior a um salário mínimo (R\$ 622,00), por outro lado 09 bairros localizados na porção nordeste do município apresentam renda per capita com valores acima de R\$ 1,9 mil, isto faz com que a cidade de Fortaleza seja classificada como a quinta cidade

mais desigual do mundo, atrás somente de três cidades africanas e Goiânia (GO), segundo um levantamento feito pela Organização das Nações Unidas (ONU), no biênio 2010-2011 (IBGE, 2010).

A SER com menor renda de Fortaleza é a V, com uma média de R\$ 471,00 é onde também se encontra a maior parte da população: 22,1% (541,5 mil pessoas). A mais rica é a II, com um resultado de R\$ 1,85 mil e 14,8% dos fortalezenses (363,4 mil). Na segunda posição, vem a SER IV, com uma renda média de R\$ 845, menos da metade da primeira colocada. Em seguida, estão a SER VI (R\$ 715,00), a SER III (R\$ 658) e a SER I (R\$ 587,00).

Verifica-se que 26% da renda total de Fortaleza estão concentrados nos dez bairros mais ricos, que representam apenas 7% da população

As principais atividades econômicas do município de Fortaleza são a indústria (setor secundário) e os serviços (setor terciário); nestes ressalta-se os de infraestrutura básica e turismo. O setor primário praticamente não existe no município, exceto pela pequena produção de hortaliças para atender parcialmente o mercado local.

No período 1991-2000, a taxa de mortalidade infantil do município diminuiu 66,42%, passando de 47,11 (por mil nascidos vivos) em 1991 para 15,8 (por mil nascidos vivos) em 2010, e a esperança de vida ao nascer cresceu 4,77 anos, passando de 69,63 anos em 2010 (IBGE, 2010).

Em relação à escolaridade, a maior parte dos fortalezenses (com mais de 24 anos) não possui instrução ou tem ensino fundamental incompleto: são 543.390 pessoas (36,89%) com esse perfil. O restante da população fica dividida da seguinte maneira: fundamental completo ou médio incompleto, com 16,28%; médio completo ou superior incompleto, com 32,93%; e superior completo, com 13,55%.

Os principais indicadores da educação são taxa de analfabetismo de 16,8% e taxas de escolaridade, evasão e repetência, no ensino fundamental que é de 74,5%, 9,5% 10%, respectivamente (IBGE, 2010).

O abastecimento de água para população de Fortaleza, tanto residencial quanto comercial, é realizado pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) através da captação das águas do açude Acarape do Meio, do sistema Pacoti-Riachão-Gavião e do Açude Pacajus, que juntos tem a capacidade de armazenar 693,1 milhões de m³, beneficiando 559.911 famílias, e o índice de cobertura com serviços de coleta de esgoto é de 60%.

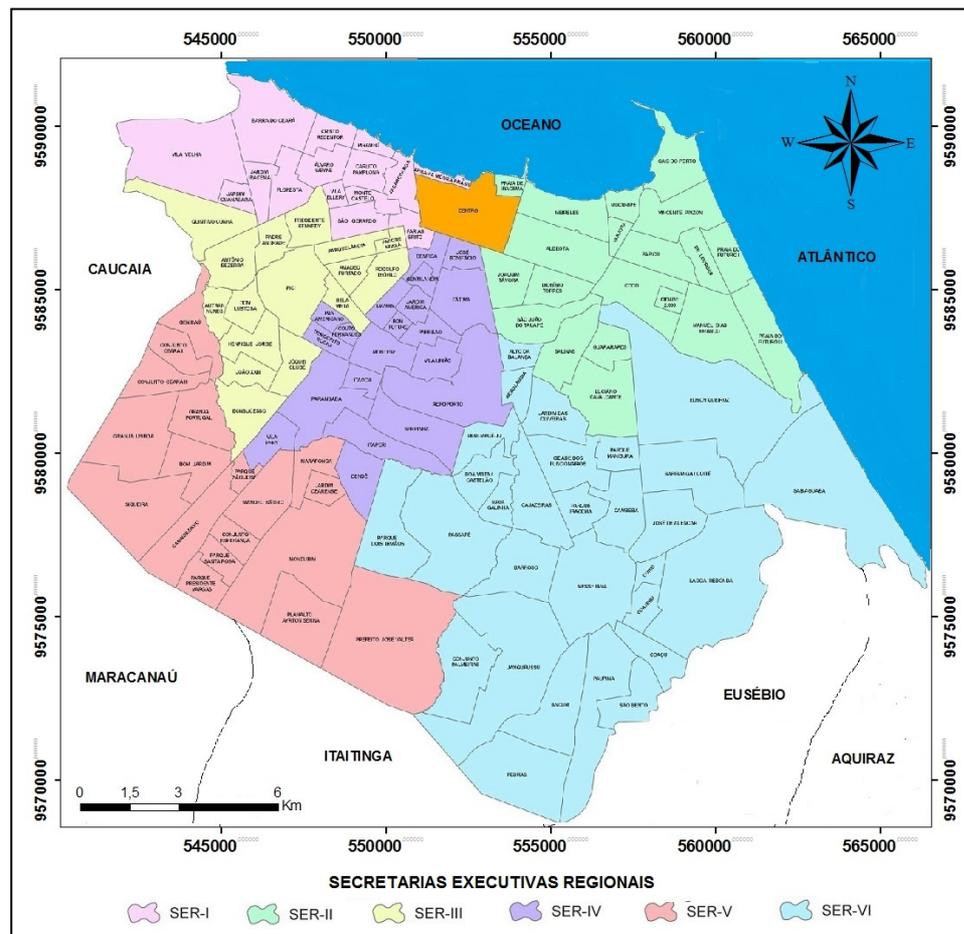


Figura 3.1 - Distribuição das Secretarias Executivas Regionais do município de Fortaleza.

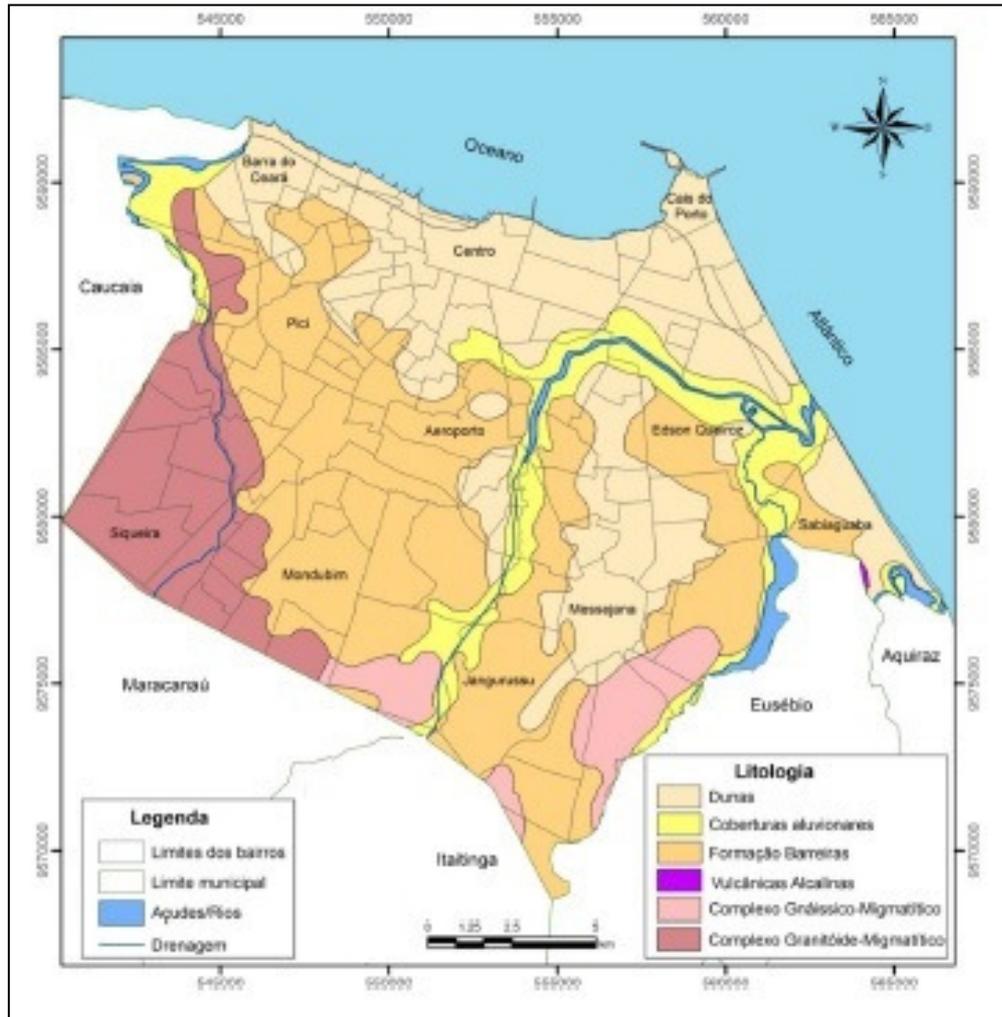
3.2 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

Neste capítulo são abordados os aspectos geoambientais da área de estudo, que envolvem geologia, geomorfologia, solos, vegetação, clima e hidrografia, itens de grande importância para a compreensão dos fenômenos e processos geomorfogenéticos atuais.

3.2.1 Aspectos Geológicos

Geologicamente a área de estudo é caracterizada pela presença de rochas cristalinas do pré-cambriano e coberturas sedimentares cenozóicas. A distribuição espacial das unidades geológicas na área é de 80% para as unidades sedimentares e 20% (55 km²) para as unidades cristalinas (Figura 3.2). As rochas assumem uma posição de destaque na avaliação do meio físico, pois interagem mais diretamente com a atividade antrópica e, quando submetidas aos processos de ocupação desordenada, têm suas características naturais modificadas em níveis variáveis, muitas vezes de caráter irreversível.

A área de estudo possui expressões de sedimentos cenozóicos (Terciário, Tércio-Quaternário e Quaternário) e rochas pré-cambrianas. Os sedimentos estão representados por Coberturas Colúvio-Eluviais, Formação Barreiras, Depósitos Flúvio-Aluvionares e Dunas, enquanto as rochas do pré-cambriano não são aflorantes, embora localmente esteja sub-aflorante na porção sudoeste do município e são representadas pelo por rochas do Complexo Granitóide-Migmatítico; Complexo Gnáissico-Migmatítico do Proterozóico e rochas vulcânicas, segundo o Projeto SINFOR (CPRM, 1998).



Fonte: Modificado do ATLAS Geológico do Ceará (2003) in GOMES 2013

Figura 3.2 - Distribuição litológica do município de Fortaleza-Ceará.

3.2.1.1 Complexo Gnáissico-Migmatítico

Segundo Brandão (1995), as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico são representadas por gnaisses aluminosos, parcialmente migmatizados intercalados por níveis quartizíticos e carbonáticos, são predominantemente, biotita-gnaisses com, ou sem muscovita, anfibólio, granada e silimanita, muitas vezes, servindo de encaixantes para lentes de leucognaisses, pegmatóides e augen-gnaisses. Secundariamente ocorrem corpos anfibolíticos e calciossilicáticas sob forma de jazimentos lenticulares de pequenas dimensões, concordantes com o bandamento gnáissico.

3.2.1.2 Vulcânicas Alcalinas

Na parte centro-leste à sudeste da área, próximo à foz do Rio Pacoti, foi cartografado um corpo circular sob a forma de *neck* ou *plug*, de composição rochosa vulcânica alcalina, sendo denominado na literatura por morrote Caruru (ALMEIDA 1958 *apud* BRANDÃO, *op. cit.*) associou-o, pela primeira vez, a grandes lineamentos estruturais relacionados ao vulcanismo terciário do arquipélago de Fernando de Noronha.

Associado a este evento ocorrem, ainda, os diques alcalinos que, com restrita representatividade ao sul do município, são constituídos por veios de sílica, pegmatitos e microgranitos filoneanos. Brandão (1995) observou que estes diques ocorrem encaixados em biotita-gnaisses e granitóides, permitindo deduzir a associação entre os citados litótipos.

3.2.1.3 Coberturas Colúvio-Eluviais

Ocorrem no extremo sul e sudoeste da área como depósitos de material residual do intemperismo *in situ* das rochas pré-cambrianas, podendo também apresentar localmente um pequeno deslocamento gravitacional. Estes depósitos estão representados nas áreas "entre rios" da faixa sul.

Recebendo a denominação de coberturas, essa unidade caracteriza-se por formar pequenos tabuleiros aplainados com suaves ondulações e, apesar da restrita representação na área, ocorrem distinguindo a zona de transição crono-estratigráfica do cristalino para os sedimentos costeiros.

3.2.1.4 Formação Barreiras

Durante os trabalhos do Projeto Fortaleza, Morais (1984) utilizou a denominação de Grupo Barreiras Indiviso para uma

sequência de leitos e lentes de sedimentos clásticos pouco consolidados, desde conglomerados a arenitos de todas as granulométricas, sobrepondo à superfície de erosão das rochas pré-cambrianas de maneira discordante e sotopondo-se, também discordantemente, as coberturas formadas por dunas e sedimentos aluvionares.

Essa sequência possui espessura variável entre 20 e 50 metros, é constituída litologicamente por sedimentos areno-argilosos, pouco ou não litificados, de coloração avermelhadas, creme ou amarelada, muitas vezes com aspecto mosqueado horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos. Tais níveis não apresentam cota definida e podem estar associados à percolação da água subterrânea que lixívia o elemento ferro, concentrando-o em determinados níveis (CAVALCANTE, 1998).

3.2.1.5 Depósitos Flúvio-Aluvionares

Estão representados na área de pesquisa por depósitos sedimentares, compostos por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica e compreendem os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes.

Ao longo dos trechos onde a drenagem parece ser controlada por fraturas e falhas, com destaque aos trechos do rio Maranguapinho, os depósitos constituem estreitas faixas formadas por sedimentos de granulometria grosseira. Nas planícies de inundação os sedimentos apresentam uma constituição mais fina.

3.2.1.6 Dunas

As dunas recentes estão dispostas como cordões contínuos que ocorrem paralelamente a linha de costa, assemelhando-se a

espigões longitudinais na porção NE da área e de contorno irregular do tipo "seif" na foz do rio Cocó. Possuem uma largura média de 1 km e espessuras variando entre 8 a 15 metros, podendo chegar até 30 metros. O cordão de dunas atinge 1,6 km de largura na porção oeste da área, faixa compreendida entre a Ponta do Mucuripe e a foz do rio Pacoti. Os contatos com a geração de dunas mais antigas da unidade sotoposta ocorre de modo abrupta, embora, por vezes, os sedimentos eólicos recentes podem ser encontrados capeando diretamente os sedimentos Barreiras. Nesta faixa é observado o fenômeno do aumento do nível estático das águas subterrâneas e a secagem das areias devido o constante trabalho eólico. Neste contexto, são enquadrados as "Beach rocks" encontrados ao longo das praias de Sabiaguaba, Abreulândia e foz do rio Pacoti (MORAIS, 1984).

3.2.3 Geomorfologia

A configuração geomorfológica do município de Fortaleza decorre principalmente dos processos eólicos e da ação erosiva pluvial. As formas de relevo presentes foram analisadas a partir do mapa que apresenta curvas de níveis com equidistância de 10 metros, com predomínio de altitudes inferiores a 40m (Figura 3.3).

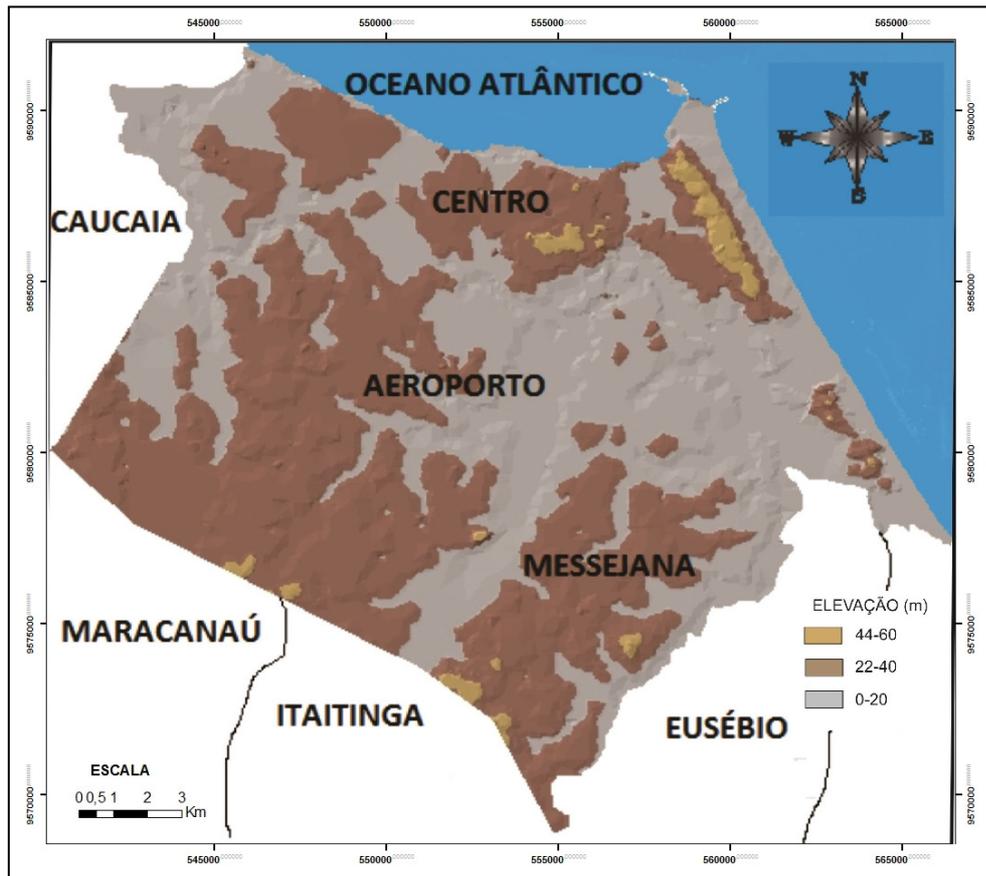


Figura 3.3 - Zonamento planialtimétrico do município de Fortaleza

O município de Fortaleza é constituído basicamente por Planície Litorânea e Glacis Pré-Litorâneos, cujos limites sofrem influência da homogeneidade das formas de relevo, altimetria, estrutura geológica e das características do solo e vegetação (SINFOR, 1998).

A Planície Litorânea se caracteriza por altitudes inferiores a 100 metros, e compreende os campos dunares (Praia do Futuro, Cidade 2000 e Barra do Ceará), praias (em toda a orla costeira do município) e as planícies flúvio-marinhas (associada aos estuários dos rios Cocó, Ceará e Pacoti/Precabura). As dunas constituem-se por cordões quase contínuos paralelos à linha de costa, sendo, em alguns locais, interrompidos por cursos d'águas, planícies fluviais

(associada aos rios Cocó, Ceará e Pacoti), flúvio-marinha e pela Formação Barreiras (ponta do Mucuripe).

Os Glacis Pré-litorâneos são formados por tabuleiros pré-litorâneos da Formação Barreiras e distribuídas com uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa.

De acordo com Cajazeiras & Oliveira (2004), as condições favoráveis à percolação da água imprimem uma drenagem interna excessiva, que acentua os efeitos da lixiviação e limita o trabalho erosivo superficial. Na área de trabalho tem-se as planícies fluviais dos rios Cocó, Ceará e uma planície fluvial situada no limite leste do município, no lugar denominado Lagoa Redonda (Precabura) e os tabuleiros pré-litorâneos que se dispõem a retaguarda do cordão de dunas contactando, sem ruptura topográfica, com a depressão sertaneja.

3.2.4 Solos

Os solos originais de Fortaleza encontram-se substancialmente degradados devido à expansão urbana. Apesar disto, estão representados na região os tipos de solo: podzólico; planossolo solódico; salonetz salodizado; solonchak solonétzico; aluvial eutrófico; litólico eutrófico e areias quartzosas marinhas distróficas (TAJRA, 2001).

O solo podzólico vermelho apresenta ocupação superficial bastante avançada, com predominância de argila de baixa atividade, bem desenvolvida e mediamente profunda, abrangendo 70% do território municipal.

O solo do tipo salonetz salodizado é originado pela associação do saprólito de gnaisse e apresenta-se raso, mal drenado e susceptível a erosão e pedregosidade. Usado localmente na exploração da argila para indústria de cerâmica.

Os solos halomórficos solonchak solonétzico são originados pela associação de depósitos fluviais com influência marinha

dos rios Ceará, Cocó e Pacoti, sendo caracterizados por horizontes sálicos e camadas finas de sais cristalizados na superfície, com uma condutividade bastante elevada. É comum a ocorrência de campos de várzeas e florestas ribeirinhas de mangue com presença de carnaúba, apesar do avançado estágio da atividade extrativista madeireira.

O solo do tipo aluvial eutrófico engloba áreas de formação recente, como nas várzeas dos rios Maranguapinho, e parte dos rios Ceará e Cocó. Esse solo apresenta características morfotexturais variadas (areia até a argila) e profundidade de 0,8 a 2,0 metros.

O solo do tipo litólico eutrófico repousa sobre as rochas vulcânicas alcalinas e é recoberto com vegetação caatinga hipoxerófila. Ocorre ao sul do Serrote Ancuri, a sudoeste do município, e representa os materiais coluvionais do Complexo Gnaisse-Migmatítico.

As areias quartzosas marinhas distróficas estão distribuídas no litoral em forma de relevo variável, indo do plano ao fortemente ondulado e escarpado, e estão relacionadas a Formação Barreiras e aos sedimentos arenosos não consolidados das Dunas. Sua cobertura vegetal é escassa e, quando presente é formada por espécies do estrato herbáceo e pela vegetação de encosta das Dunas.

3.2.5 Vegetação

De acordo com a Síntese Diagnóstica do Município da Prefeitura de Fortaleza *apud* Tajra (2001), as unidades vegetacionais são caracterizadas e classificadas, conforme o Complexo Vegetacional Litorâneo do Município em: vegetação pioneira, mata a retaguarda de dunas, vegetação de tabuleiro litorâneo, vegetação de mangue, vegetação ribeirinha, vegetação aquática, vegetação antrópica.

A vegetação pioneira é encontrada no declive suave das dunas como espécies heliófitas herbáceas. Sua faixa de ocorrência vai da Praia das Goiabeiras, do Futuro até próximo ao rio Cocó e Sabiaguaba.

A mata a retaguarda de dunas ocorre por trás das cristas de dunas distribuídas na faixa paralela ao mar no litoral leste da área (Praia do Futuro e Sabiaguaba).

Vegetação de tabuleiro litorâneo: a ocupação urbana provocou a descaracterização da fisionomia vegetal desta subunidade, sendo encontradas somente algumas manchas em áreas do Campus do Pici, Mondubim, Água Fria e parte leste e sul do município de Fortaleza.

Vegetação de mangue: existem três grandes áreas de mangue no município e ocorrem relacionados aos rios Ceará, Cocó e Pacoti (Figura 3.4).



Fonte: DO AUTOR

Figura 3.4 - Vegetação de mangue na Bacia do Rio Cocó (9582348/561128 em 20/03/2012)

Vegetação ribeirinha: ocorre no baixo curso dos rios Ceará e Cocó ocorrem o substrato arbóreo, dominado pela carnaúba (*Copernicia Cerifera Mart*); mulungu (*Erythrina Velutine Wild*); juazeiro (*Zizyphus Joazene Mart*) e oiticica (*Licania Rígida Benth*) (Figura 3.5).



Fonte: DOU AUTOR

Figura 3.5 - Vegetação na Bacia do Rio Cocó (9581351/553590 em 20/03/2012)

Vegetação aquática: ocorre na maioria das lagoas da área assumindo um papel fundamental no equilíbrio ecológico do ambiente lacustre.

Vegetação antrópica: representa a cobertura vegetal do município que teve o homem como vetor de origem, constituindo extensos mangueirais, coqueiros e cajueiros (Figura 3.6).



Fonte: DO AUTOR

Figura 3.6 - Vegetação antrópica no parque do Cocó (9586133/556907 em 20/03/2012)

3.2.6 Aspectos Climáticos e Fisiográficos

Dentro do contexto do ciclo hidrológico da área de estudo são apresentados alguns fatores que contribuem com as variações de disponibilidade e reservas dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

3.2.6.1 Condicionantes Climáticos

O município de Fortaleza apresenta clima classificado como "Macroclima da faixa costeira" do tipo AW', segundo a classificação climática de Köppen (1948) *apud* Tajra (2001) e por estar situado na faixa costeira é influenciado pelas águas oceânicas. O clima é definido como quente e apresenta regime de chuvas tropicais com alternância de episódios secos ao longo do ano.

As chuvas no município de Fortaleza possuem média anual de 1625mm (intervalo observado de 1970 a 2011). Ocorrem em menor quantidade no mês de Novembro, com média de 12mm, e em maior quantidade no mês de abril com média de 359mm mensal (Figura 3.7). A temperatura média é de 27°C, variando entre 26°C em junho e 28°C no mês de dezembro (Figura 3.8) com amplitude térmica de 2°C.

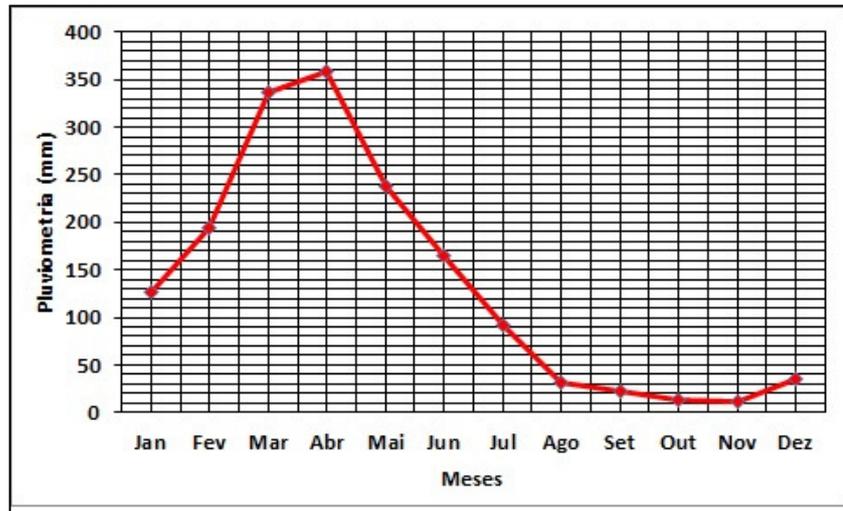


Figura 3.7 - Pluviosidade média no município de Fortaleza entre 1970 e 2011 (Fonte de dados: FUNCEME)

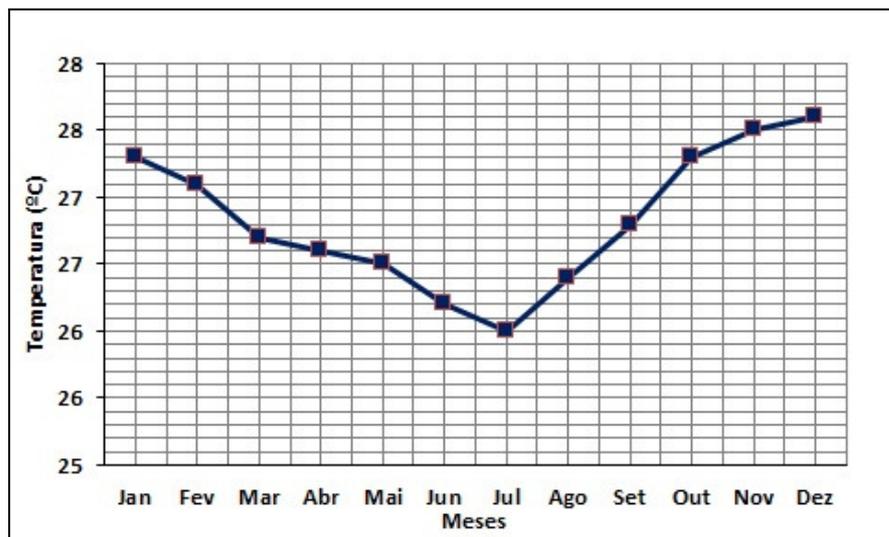


Figura 3.8 - Temperatura média anual no município de Fortaleza (Fonte: FUNCEME)

3.2.6.2 Balanço Hídrico e Classificação Climática

O balanço hídrico em termos gerais trata da compatibilidade das quantidades de água que entram e saem de uma "camada" de solo que alcançam uma profundidade (REICHARD, 1990 *apud* VASCONCELOS 2009). A partir das informações do balanço hídrico pode se ter uma noção das condições hídricas

de drenagem do solo em determinada região. Reichard (1990), distingue dois tipos de balanço hídrico:

- **Balanço Hídrico Real:** é o resultado de todas as entradas e saídas de uma área, mostrando as condições locais, principalmente para serem adotadas medidas de controle da situação de drenagem do solo em áreas agrícolas.
- **Balanço Hídrico Climatológico ou Hydroclimatológico:** representa uma estimativa das condições hídricas do solo baseado em séries de dados climáticos, caracterizando uma região em termos hidrológicos.

Neste trabalho, a elaboração do balanço hydroclimatológico foi baseado no método de Thornthwaite & Matter (1955), que considera dados de chuva, evapotranspiração e uma capacidade de armazenamento de água no solo de 100mm, sendo este valor médio para os solos, para uma profundidade de 1m. Os dados de chuva apresentados refletem somente o volume precipitado mensalmente, não sendo considerada a intensidade da chuva.

Os dados necessários para a elaboração do balanço hydroclimatológico foram analisados em uma planilha desenvolvida por Rolin et al.(1998), a partir do qual foi possível gerar os gráficos apresentados nas figuras 3.9 e 3.10.

A partir da análise dos dados obtidos, o estudo mostra que ocorre uma deficiência de água no solo de 704mm, entre os meses de agosto a janeiro. O excedente hídrico é de 557,37mm ente os meses de março a junho, ou seja, neste período o solo atinge sua capacidade máxima de armazenamento que é de 100mm, favorecendo a recarga dos aquíferos e ocorrência de enxurradas. O valor do excedente pode ser considerado como uma estimativa do volume que irá contribuir como parte da recarga das águas subterrâneas, desde que a área conserve suas condições naturais.

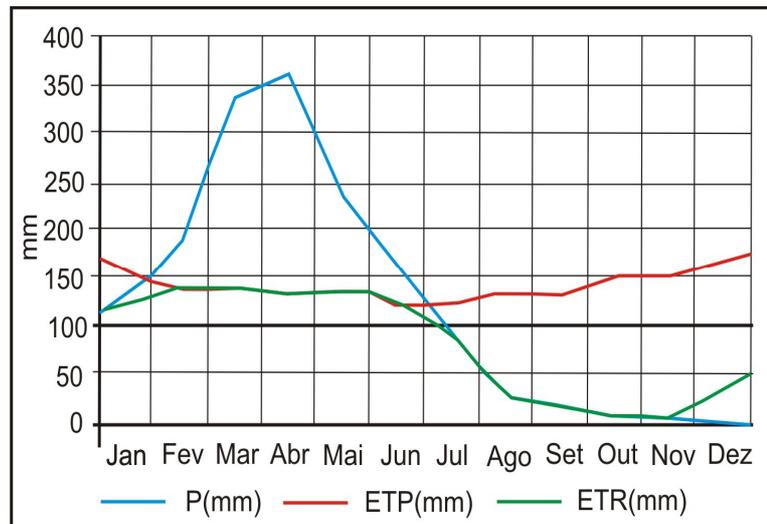


Figura 3.9 - Balanço hídrico do município de Fortaleza

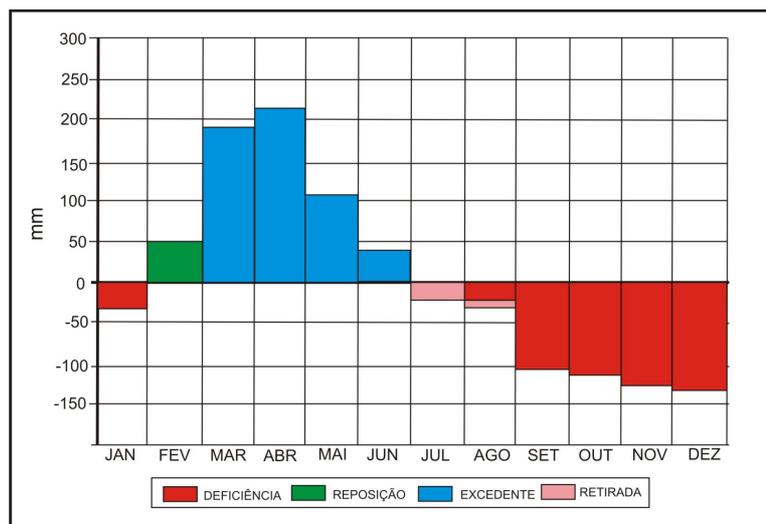


Figura 3.10 - Balanço hidroclimatológico, com distinção de cores para as condições hídricas do solo como deficiência, reposição, excedente e retirada no município de Fortaleza.

A determinação da classe climática é baseada no índice de umidade de Torthwaite (I_u) juntamente com dados de ETP obtidos anteriormente no balanço hídrico da área (Tabela 3.1), sendo utilizadas as seguintes equações:

Tabela 3.1 - Dados do balanço hídrico no município de Fortaleza-Ceará período entre 1970 e 2011.

Mês	P (mm)	T °C	I	K	ETP (mm)	PPT - ETP	C	ETR (mm)	Ic (mm)
Jan	127	27	12,76	1,06	157,8	-30,69	0,0	127,1	0,0
Fev	194	27	12,62	0,95	137,6	56,07	56,07	137,6	0,0
Mar	337	27	12,34	1,04	142,6	194,58	100,0	142,6	194,6
Abr	359	27	12,27	1,00	135,2	223,95	100,0	135,2	224,0
Mai	237	27	12,20	1,02	136,0	101,25	100,0	136,0	101,3
Jun	164	26	11,99	0,99	126,6	37,59	100,0	126,6	37,6
Jul	92	26	11,86	1,02	126,8	-34,91	65,1	91,9	0,0
Ago	32	26	12,13	1,03	135,5	-103,58	0,0	31,9	0,0
Set	23	27	12,41	1,00	139,0	-116,54	0,0	22,5	0,0
Out	12	27	12,76	1,05	156,3	-143,90	0,0	12,4	0,0
Nov	12	28	12,90	1,03	157,5	-145,71	0,0	11,8	0,0
Dez	36	28	12,97	1,06	164,3	-128,79	0,0	35,5	0,0
Total	1625	27	149,21		1715,4	-90,78	521,17	1011,3	557,4

P - precipitação; I - índice térmico; k - fator de correção; ETP - evapotranspiração potencial; PPT-ETP - diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial; C - capacidade de armazenamento; ETR - evapotranspiração real; Ic - infiltração efetiva

Índice de umidade (Iu)

$$Iu = I_h - I_a \quad (\text{Equação 3.1})$$

Índice hídrico (Ih)

$$I_h = 100(\text{exc}/\text{ETP}) \quad (\text{Equação 3.2})$$

Índice de aridez (Ia)

$$I_a = 100(\text{Def}/\text{ETP}) \quad (\text{Equação 3.3})$$

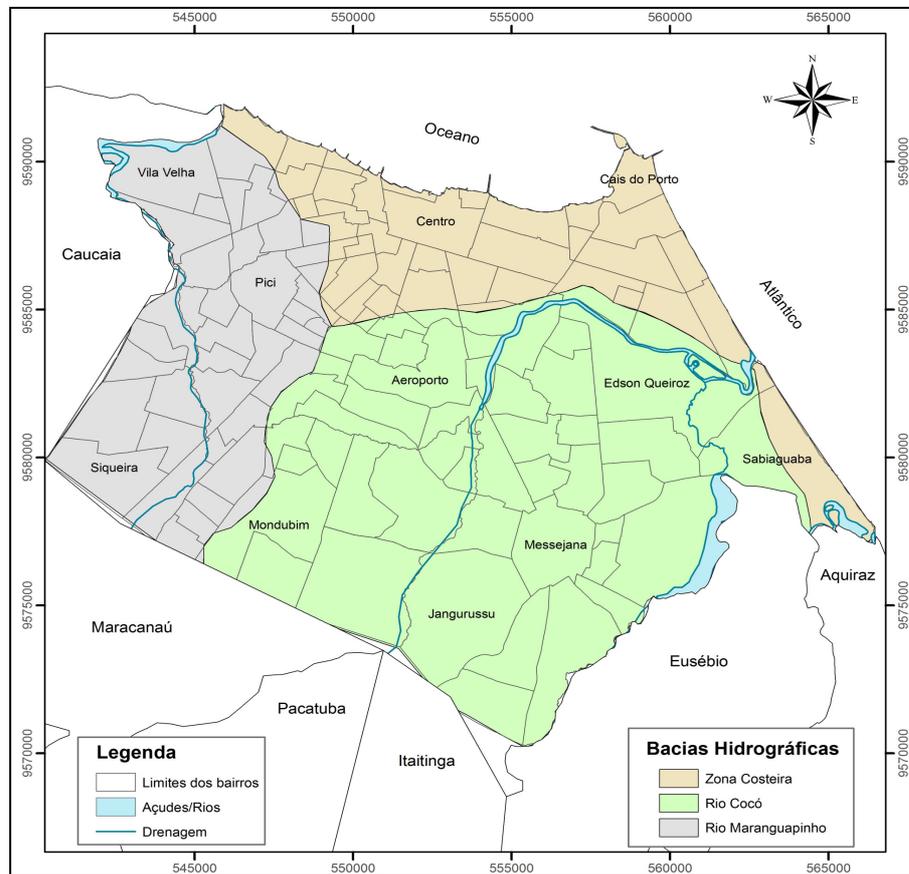
Utilizando as equações 3.1, 3.2 e 3.3, foi obtido um índice hídrico de 31%. A partir dos dois índices apresentados obtêm-se um índice de umidade no valor de -10%.

3.2.7 Hidrografia

A rede hidrográfica do município de Fortaleza é caracterizada por cursos fluviais de pequeno porte e intermitentes, mas que representam uma importância relevante no abastecimento das populações ribeirinhas, salvo aquelas que moram já próximas ao mar.

As principais bacias hidrográficas que atravessam o município de Fortaleza são as Bacias da Vertente Marítima, a

do Rio Cocó e a do Rio Maranguapinho, que juntas correspondem a uma área de 336 km² e os seus rios de maior porte são Cocó, Ceará, Maranguapinho, Pacoti e Coaçu (Figura 3.11).



Fonte: Modificado de Quesado (2008)

Figura 3.11 - Bacias Hidrográficas do município de Fortaleza

Bacia da Vertente Marítima: A Bacia Vertente Marítima se estende ao longo do litoral de Fortaleza, entre a foz dos rios Ceará e Cocó, sendo a única bacia hidrográfica que está totalmente inserida no município. Nesta bacia predominam os pequenos riachos que, anteriormente, escoavam pelos campos de dunas em direção ao oceano. A Vertente Marítima possui uma extensão territorial de 23,6 km² e tem como principais riachos o Pajeú, Jacarecanga, Maceió e Corrente (BENTO, 2011).

Sob a área da Bacia Vertente Marítima encontra-se um espaço de urbanização bastante consolidada, correspondendo ao Centro e bairros circunvizinhos. Por ser uma era de ocupação

antiga, esta bacia foi a primeira da capital a ser atendida por sistemas de abastecimento de água e captação de esgoto.

Bacia do Rio Cocó: o elemento principal é o rio Cocó que nasce na Serra da Pacatuba, no município homônimo, tendo um percurso total de cerca de 45 km, dos quais 25 km cortam todo o município de Fortaleza. Esta bacia é o principal recurso hídrico superficial da área e tem como elementos macrodrenantes secundários principais: lagoa da Parangaba; lagoa do Opaia; riacho do Açude Jangurussu; riacho Fernando Macedo; lagoa e riacho da Lagoa Grande; rio Coaçu; Açude Osmani Machado; riacho da Lagoa da Maraponga; riacho da Lagoa Itaoca; Açude Uirapuru; lagoa do Coité; riacho da Lagoa Redonda; riacho da Sapiranga; riacho da Lagoa de Ancuri; riacho do Açude Traíra; riacho do Açude Guarani I e Açude Precabura (PDD, 1998 *apud* TAJRA, 2001). No rio Cocó está contido um dos principais reservatórios do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza, o açude Gavião, cuja bacia hidrográfica tem uma área de 99,35 km², correspondente a 33% da área total da bacia, e é responsável pelo abastecimento da Estação de Tratamento de Água (ETA) Gavião.

Bacia do Rio Maranguapinho: A Bacia do Rio Maranguapinho é a segunda maior em extensão territorial, cobrindo 96,5 km² da área de Fortaleza. Sua bacia se estende os municípios metropolitanos de Maracanaú, Maranguape e Caucaia.

O rio Maranguapinho é o principal afluente do rio Ceará. Com 34km de extensão, nasce na serra de Maranguape e deságua no bairro Vila Velha em Fortaleza. Em seu curso, este rio passa por bairros caracterizados pela alta densidade demográfica.

A pressão demográfica sobre a Bacia do rio Maranguapinho ocasionou a destruição quase total de sua mata ciliar, que servia como uma importante barreira de contenção das

enchentes. A ocupação das margens do rio não levou em consideração o limite que o volume de água alcança em período de enchentes, o que coloca em risco constante a população que reside nas proximidades desse curso fluvial. A figura 3.12 ilustra a ocupação por residências precárias e o acúmulo de lixo nas margens do Maranguapinho (BENTO, 2011).



Fonte: BENTO, V.R.S. (LEPOP/MAG/UECE)

Figura 3.12 - Ocupação das margens do Rio Maranguapinho no bairro do Bom Sucesso - Fortaleza.

CAPÍTULO 4 - A OCUPAÇÃO URBANA EM FORTALEZA

A cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará é a cidade mais populosa do Ceará e a quinta do Brasil. Ela vem crescendo de forma exagerada, pois uma grande parte da população está migrando para a zona urbana à procura de emprego, educação, saúde, dentre outros serviços, e isso gerou uma superpopulação, acarretando em uma ocupação desordenada e, obviamente, uma queda na qualidade de vida.

4.1 ASPECTOS AMBIENTAIS

As condições ambientais da área de estudo foram analisadas segundo os aspectos históricos de uso e ocupação do solo e condicionamento atual de elementos que possam interferir e gerar danos à qualidade dos recursos hídricos.

Neste capítulo será apresentada uma análise histórica da evolução de ocupação do solo no município de Fortaleza, bem como a identificação das principais fontes de contaminação instaladas atualmente.

4.2 ZONEAMENTO AMBIENTAL E EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O Zoneamento Ambiental (ZA) é uma forma de compartimentar determinada área de acordo com suas características ambientais particulares como vegetação, geologia e ocupação urbana, entre outros fatores. O termo "Zoneamento Ambiental (ZA)" foi considerado no Brasil apenas como o resultado da setorização realizada em Unidades de Conservação, Parques Nacionais e estações Ecológicas, entre outros, com o objetivo de apoiar seus planos de manejo (VASCONCELOS 2009).

A definição legal do zoneamento ambiental encontra-se no art. 2º do decreto federal 4297 de 10 de julho de 2002 que o descreve como sendo “instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas” estabelecendo “medidas e padrões de proteção ambiental” com vistas à “assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população” (CAMARGOS, 2007).

Isso implica que o zoneamento ambiental é fruto de um planejamento que deve sempre ser pensado a partir de estudo prévio e minucioso, feito por equipe técnica e habilitada, das características ambientais e socioeconômicas da região a ser zoneada. Desta forma, ao distribuir espacialmente as atividades econômicas, o zoneamento ambiental levará em conta a importância ecológica, as potencialidades, limitações e fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território podendo, até mesmo, determinar, sendo o caso, que atividades incompatíveis com suas diretrizes gerais sejam realocadas. O zoneamento ambiental ao impor tais restrições configura o direito de propriedade e o direito de seu uso, conformando-os com a função social da propriedade prevista na Constituição Federal de 1998 em seu art. 5º XXIII (CAMARGOS op.cit).

Apesar do decreto que regulamentou o zoneamento ambiental ter versado sobre um zoneamento de abrangência nacional, é importante frisar que esse instrumento tem enorme importância e aplicabilidade ainda maior nas esferas locais e regionais, tanto que também foi previsto como instrumento de política urbana no Estatuto da Cidade.

No âmbito municipal a Constituição Federal de 1988 conferiu ao Poder Público competência para, através do Plano

Diretor, promover o adequado ordenamento territorial (zoneamento urbano) mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano, visando a proteção da qualidade de vida da população. As decisões sobre zoneamento ambiental podem ser tomadas nos vários níveis, ou seja, municipal, regional, estadual ou federal. Ocorre que em havendo zoneamento na esfera federal, os demais, ou seja, os zoneamentos estaduais, regionais e municipais, se elaborados, deverão se ajustar àquele, prevalecendo as normas de proteção ambiental sejam mais restritivas. Isso significa, em outras palavras, que o zoneamento deve buscar a repartição do território e a regulação dos usos dos recursos naturais que possibilite a melhor composição dos conflitos socioambientais (CAMARGOS, 2007).

Algumas resoluções como as 03/91, 01/86, 303/02, 378/06, 369/06, 357/05 e outras do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) mencionam o "Zoneamento Ambiental", citando alguns tipos: urbano, industrial, agroecológico, macrozoneamento geoambiental, macrozoneamento costeiro, ecológico-econômico, entre outros.

Os impactos negativos do desenvolvimento urbano sobre a população e o meio ambiente têm sido gerados principalmente em decorrência da falta de uma gestão integrada do uso do solo e da infra-estrutura.

Devido à grande densidade demográfica do município de Fortaleza, vários conflitos e problemas têm sido gerados, tais como: a) Degradação ambiental dos mananciais; b) aumento do risco de áreas de exploração por poços e de recarga com a poluição orgânica e química; c) contaminação dos rios por esgotos doméstico, industrial e pluvial; d) enchente urbana gerada pela inadequada ocupação do espaço e pelo gerenciamento inadequado da drenagem urbana; e) falta de coleta e disposição do lixo urbano.

Phelps (2004) desenvolveu um estudo da química das águas subterrâneas com ênfase ao nitrato e utilizou o zoneamento de ocupação do solo na Flórida (EUA), em dois períodos (1977 e 1995). Foi verificado um aumento nas unidades de ocupação do solo que está ligado a diversidade e expansão das atividades associadas ao processo de expansão populacional.

4.2.1 Unidades de Uso e Ocupação do Solo no ano de 1970

O município de Fortaleza dispõe da Lei 7.987 de dezembro de 1996 (FORTALEZA, 2010), conhecida como a Lei do Uso e Ocupação do Solo Urbano, que foi atualizada em agosto de 2010. Essa Lei divide o município em três Macrozonas de planejamento: a Macrozona Urbanizada, atendida integralmente pela rede de abastecimento d'água e parcialmente pela rede de esgotos, onde se concentra a maior parte da população e possui boa infraestrutura urbana; a Macrozona Adensável, onde existem tendências a expansão das atividades urbanas e possui em parte serviço de esgoto e abastecimento de água, e a Macrozona de Transição, que não possui serviços urbanos de esgoto e abastecimento de água e constitui-se como espaço de reserva para expansão urbana (Lei N° 7.987/1996)

Além dessas divisões, a Lei N° 7.987/1996, em seu Art. 4º, diz que para efeito da aplicação de legislação de parcelamento, de uso e ocupação do solo do município, o seu território foi dividido, também, em Microzonas de Densidade (subdivisões de uma macrozona) que são fundamentadas na distribuição das atividades e serviços, nas condições naturais do solo, infraestrutura básica, densidade populacional existente e projetadas e as Zonas Especiais identificadas por características do ambiente natural, cultural e econômico. As subdivisões desta Microzona são: Área Urbanizada Especial, Preservação, Proteção, Interesse Ambiental (Dunas), Orla

Marítima, Faixa de Praia, Interesse Urbanístico, Institucionais, Urbanização Prioritária e Indústrias. Ressalta-se que as Microzonas foram projetadas para dez anos (1996-2006).

As análises e discussões da evolução da ocupação da área de estudo foram realizadas com base em informações do ano de 1970 e 2010.

A elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foi baseada em fotografias aéreas na escala de 1:75.000 obtidas junto ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em meio analógico, sendo posteriormente digitalizadas. A partir das interpretações foi possível identificar 06 unidades de uso e ocupação do solo.

As unidades de uso e ocupação do solo no município de Fortaleza no ano de 1970 com o seu percentual de ocorrência são (Figura 4.1): Zona Urbana 16%, Zona Periurbana 6%, Área de Vegetação 63%, Corpos d'Água 3%, Área de Dunas 5% e Áreas de Mangues 7%.

As áreas urbanizadas foram caracterizadas por dois níveis de desenvolvimento, no que se refere à densidade de habitações instaladas e estrutura física:

(I) Zona Urbana: é a área de um município caracterizada pela edificação contínua e a existência de equipamentos sociais destinados às funções urbanas básicas, como habitação, trabalho, recreação e circulação.

A legislação municipal pode, ainda, considerar urbanas as áreas urbanizáveis, ou de expansão urbana, constantes de loteamentos aprovados pelos órgãos competentes, destinados à habitação, à indústria ou ao comércio, mesmo que localizados fora das zonas definidas nesses termos.

(II) Zona Periurbana: são as áreas que possuíam uma estrutura para a expansão habitacional, ou seja, apresentavam arruamento, delimitação de lotes habitacionais e já pode ser verificada a fixação de algumas habitações. São identificados

23 núcleos de expansão habitacional, nesse período.

(III) Área de Vegetação: área verde com preservação de mata original existente no município.

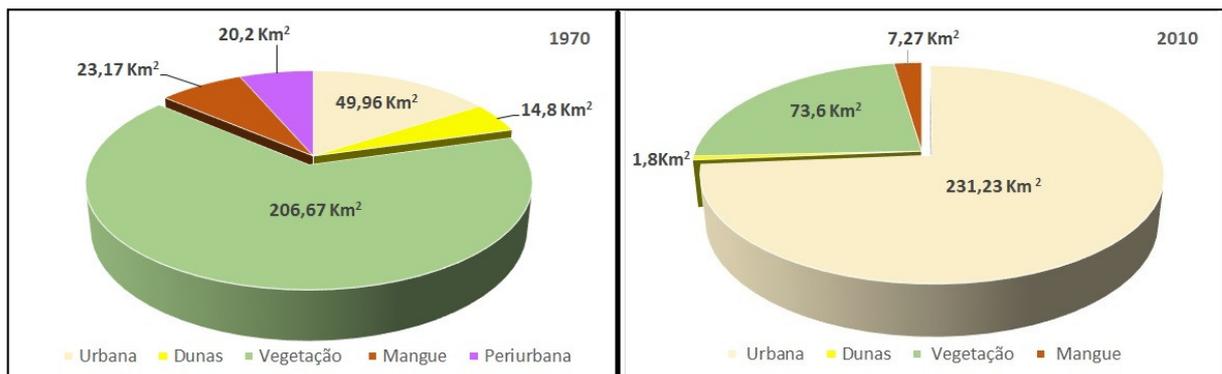
(IV) Corpos d'água: fazem parte dos corpos d'água existentes no município as lagoas, lagos e alguns pequenos açudes.

(V) Área de Dunas: área composta por dunas do tipo fixa e móveis que margeiam a faixa de praia do município, se estendendo desde a praia da Barra do Ceará na porção Oeste até a praia da Sabiaguaba na porção Sudeste.

(VI) Área de Mangue: ocorrem na desembocadura do Rio Cocó situado na porção leste do município e do Rio Ceará na porção noroeste.

4.2.2 Unidades de Uso e Ocupação do Solo no ano de 2010

As unidades de uso e ocupação do solo no município de Fortaleza no ano de 2010 com o seu percentual de ocorrência são (Figura 4.1): Zona Urbana 72%, Área de Vegetação 24%, Área de Dunas 1%, Corpos d'Água 1% e Áreas de Mangues 2%.

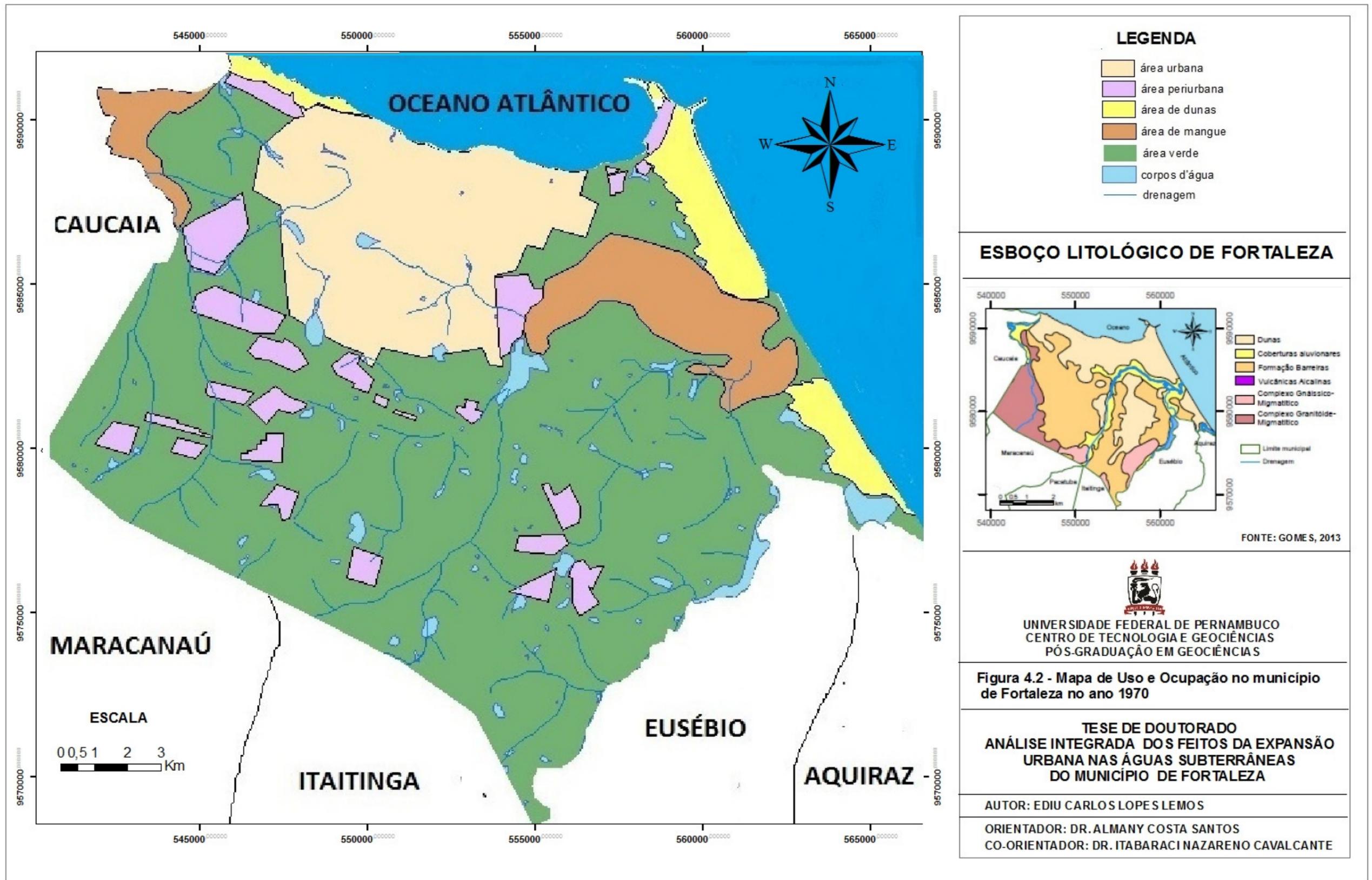


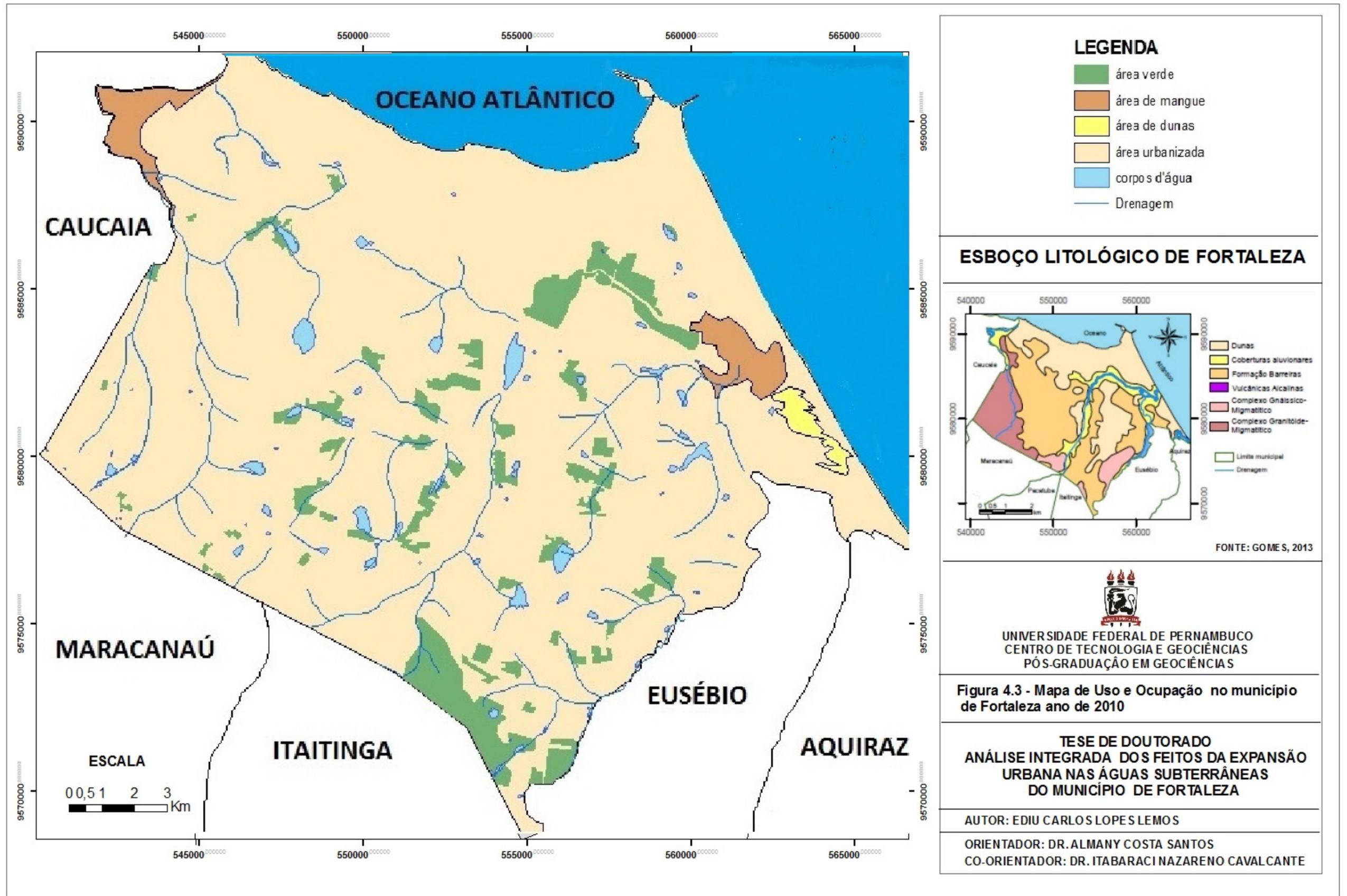
Fonte: DO AUTOR

Figura 4.1 - Dados sobre área das unidades de uso e ocupação do solo no município de Fortaleza nos anos de 1970 e 2010.

Nas Figuras 4.2 e 4.3 observa-se a expansão urbana ocorrida nos últimos 40 anos no município de Fortaleza, onde fica evidenciada o aumento da área urbana, diminuição das áreas

verde, e dunas e de mangues que foram ocupadas de forma irregular. Algumas lagoas existentes no município foram soterradas para dar lugar a diversos condomínios e conjuntos habitacionais que compõem a atual estrutura urbana da cidade.





4.2.3 Análise da Evolução do Uso e Ocupação do Solo (1970 - 2010)

Na capital cearense o desrespeito aos recursos naturais é tão claro que na busca desenfreada por lotes urbanos eliminava os corpos hídricos com aterros e invasões. Ilustrando essa degradação ambiental tem-se como exemplo a construção do conjunto habitacional Cidade 2000, que contribuiu para o soterramento de lagoas próximas ao loteamento e ao rio Cocó (SALES, 2005).

As lagoas intermitentes, que desapareciam nas épocas de estiagem, foram as que mais sofreram com a expansão urbana, sendo praticamente eliminadas do meio ambiente fortalezense. Os corpos hídricos lacustres de menor dimensão, aos poucos, vão sumindo da cidade, com o espelho d'água sendo reduzido, progressivamente, devido ao acúmulo de lixo e de materiais oriundos da construção civil (Figura 4.4). No período chuvoso o lençol freático ressurge e as construções são inundadas.



Fonte: DO AUTOR

Figura 4.4 - Aterramento de lagoa no bairro do Barroso com entulho para ocupação urbana (coordenadas 9578591/554219 em Abril, 2012)

O desaparecimento dos recursos hídricos lacustres pelo aterramento promove danos na drenagem urbana, interferindo no escoamento das águas pluviais. A ocupação indevida das margens de lagoas agrava as condições sanitárias na cidade. Nos domicílios, predominantemente improvisados, há o lançamento de resíduos domésticos que nos períodos chuvosos, retorna em forma de doenças de veiculação hídrica.

O rápido crescimento urbano ocorrido em Fortaleza vem impactando negativamente sobre a população e no meio ambiente. Com o processo de urbanização, extensas áreas de solo, antes permeáveis, são cobertas por capa asfáltica e concreto. Os recursos hídricos das cidades são canalizados, aterrados, transformados em galerias e ocupados indevidamente, perdendo a mata ciliar e reduzindo a capacidade de escoamento das águas.

Com a impermeabilização do solo e canalização dos cursos fluviais, o escoamento das águas superficiais e subterrâneas fica comprometido. A dificuldade de infiltração das águas pluviais promove inundações em localizações de baixa altitude, além de transbordamentos dos cursos d'água (Figura 4.5). Este fato remete ao desrespeito à Lei de Uso e Ocupação do Solo, tornando esses ambientes propícios a impactos ambientais.



Fonte: Jangadeiro, 2012.

Figura 4.5 - Alagamentos em Fortaleza, na Rua Rui Monte, bairro do Antônio Bezerra

As consequências destes acontecimentos na capital cearense são inúmeras. Dentre as principais resultantes do processo desordenado de impermeabilização do solo de Fortaleza aliado à deficiência de infraestruturas de drenagem urbana, entre outros fatores, podem-se destacar as inundações que acometem a cidade no período chuvoso, as doenças de veiculação hídrica muitas das quais intensificadas por ocasião das chuvas e as ilhas térmicas (MOURA, 2008).

Para uma comparação espacial de algumas unidades de uso e ocupação do solo, foram escolhidas três áreas para distinção das mesmas, apresentadas nas Figuras 4.6 e 4.7.

Na Figura 4.6 se apresenta a região localizada no bairro do Meireles, porção nordeste do município, onde se verifica que no ano de 1970 a área possuía campo de dunas sem qualquer vestígio de ocupação; já na imagem de 2010 se observa que as dunas não mais existem pois a área foi invadida e ocupada de forma irregular e inadequada pelo porto do mucuripe, algumas indústrias e pela população de baixa renda. Vale ressaltar que esta área é definida por legislação como Área de Preservação Permanente (APP) por ser área de recarga natural das águas subterrâneas.

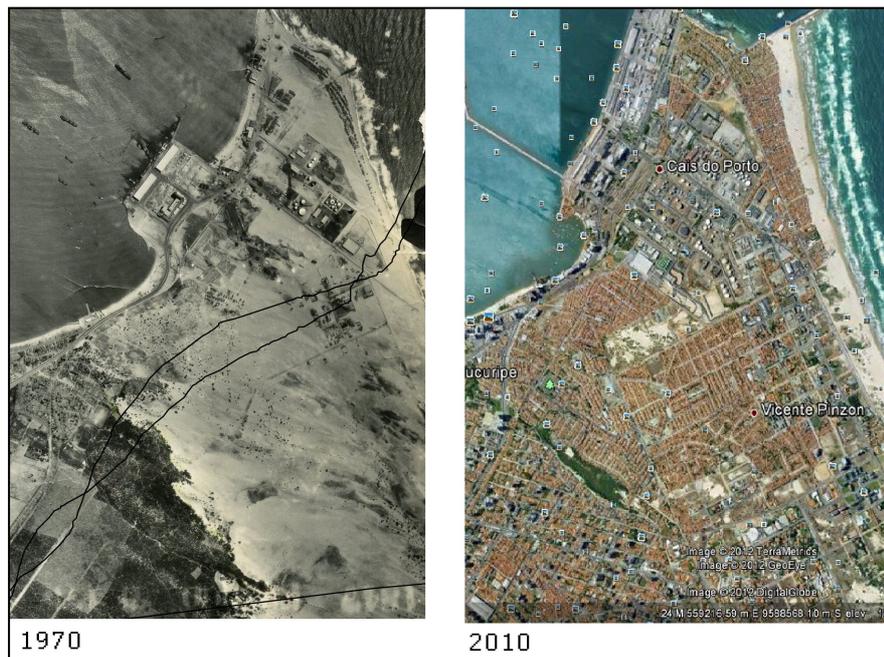


Figura 4.6 - Ocupação irregular de área de dunas nas proximidades do porto do Mucuripe, bairro do Meireles.

A Figura 4.7 apresenta uma área situada na porção sudeste do município de Fortaleza, na proximidade do bairro do Barroso onde se verifica que no ano de 2003 existia na área duas lagoas e que de acordo com a imagem do ano de 2010, as lagoas foram soterradas com entulho para dar lugar a uma ocupação por pessoas de baixa renda.



Figura 4.7 - Ocupação inadequada de lagoa ao longo da BR 116 próximo ao viaduto do Cambeba (coordenadas 9578413/555159 em abril de 2012)

CAPÍTULO 5 - HIDROGEOLOGIA

A definição do contexto hidrogeológico é essencial em um estudo que visa analisar a qualidade das águas subterrâneas em uma área onde ocorre uma ocupação desordenada sobre o meio físico. A análise da configuração hidrogeológica da área de estudo foi realizada com informações de trabalhos anteriores, perfis de poços, volume captado e distribuído no abastecimento de água, atividades de campo dentre outras. A partir destas informações associadas às condições de recarga e fluxo das águas subterrâneas, foi possível estimar os volumes de entrada e saídas de água no sistema hidrogeológico, identificar áreas vulneráveis a contaminação das águas subterrâneas e o potencial de risco das mesmas.

5.1 SÍNTESE DOS TRABALHOS ANTERIORES

Um dos primeiros estudos desenvolvidos sobre a hidrogeologia no município de Fortaleza foi elaborado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE - 1973 (BELTRÃO & MANOEL FILHO 1973). A área estudada foi o município de Fortaleza, onde se admite na área dois sistemas hidrogeológicos sendo eles Dunas e Barreiras, onde o Duna está sobre o sistema Barreiras, o primeiro é um aquífero do tipo livre e o inferior do tipo semi-confinado.

De acordo com os estudos realizados, os dois sistemas hidrogeológicos vêm sendo utilizados por décadas como a principal fonte de abastecimento no município. O sistema Dunas possui espessuras saturadas variáveis de 5 a 10m, não apresentam grandes volumes de água armazenados, enquanto que o

Barreiras tem baixa permeabilidade, horizonte superior arenoso.

5.2 SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

No município de Fortaleza são encontrados 2 (dois) sistemas hidrogeológicos: o sedimentar (constituído por Dunas (99,4 km²), Barreiras (120,4 km²), Aluviões (38,55 km²)), e o fissural representado pelo Meio Cristalino (55,45 km²) (Figura 5.1), estas duas unidades que diferem amplamente quanto à vocação aquífera de armazenar e transmitir água e que estão associadas às características geológicas da região, principalmente aos litotipos dominantes (PEDROSA, 2004). Dos aquíferos sedimentares, os mantos de intemperismo ou sedimentos da cobertura colúvio-eluvial podem armazenar volumes de água úteis para captações pontuais, isto é, dependendo da espessura local. Sua maior importância reside no fato de que esta unidade recobre grande parte do meio fraturado das rochas cristalinas e funciona como áreas de recarga para as mesmas (TAJRA, 2001).

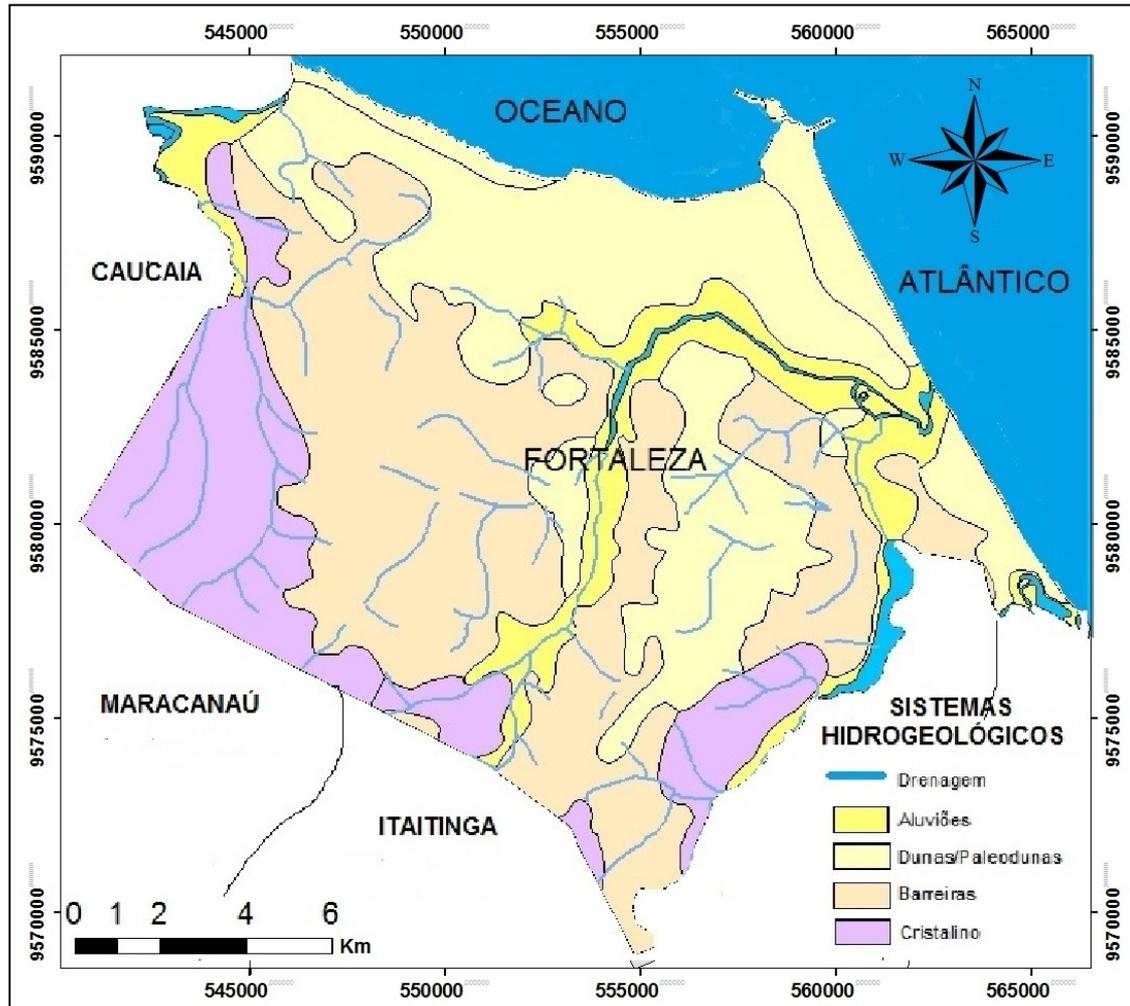


Figura 5.1 - Sistemas Hidrogeológicos de Fortaleza

5.2.1 Sistema Hidrogeológico Sedimentar

O Sistema Hidrogeológico Sedimentar corresponde aos sedimentos clásticos do meio sedimentar, estando o aquífero representado pela porosidade intergranular primária, com possibilidades hidrogeológicas muito variáveis e na dependência da litologia, espessura, morfologia e posicionamento estratigráfico das camadas. Esse sistema engloba três unidades aquíferas: Dunas, Barreiras e Aluviões.

5.2.1.2 Dunas

O conjunto de dunas e paleodunas foi considerado, para efeito de estudo, como um único sistema, em função das características litológicas e hidrodinâmicas similares dos corpos dunares fixos e móveis, impossibilitando uma nítida distinção em nível regional (MORAIS, 2011). Ocorre bordejando a orla da área do município; localmente, observa-se que adentram ao continente na porção leste e oeste, mais precisamente na Praia do Futuro e Barra do Ceará.

As Dunas constituem, por sua natureza e expressão espacial, um importante sistema capaz de suprir, em parte, as necessidades de água. Elas são compostas por areias extremamente homogêneas, finas, com diâmetro efetivo de 0,15 a 0,25 mm e espessura entre 15 a 25 m. Por vezes, ocorrem leitos siltico-argilosos a argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos grãos. Geralmente se encontram sobrejacentes a Formação Barreiras (CAVALCANTE, 1998).

A recarga hídrica de todo esse pacote de sedimentos se dá por infiltração pluvial direta e, embora a precipitação média sobre a área aflorante seja considerável, parte desta água sofre facilmente os efeitos da evapotranspiração, já que o nível das mesmas neste sistema é subaflorante, especialmente nas zonas de menores cotas altimétricas. De acordo com Cavalcante (*op. cit.*), o nível estático regional é, em média, de 6 m e a vazão média obtida a partir de poços tubulares rasos (profundidade inferior a 20m) é de 6,0 m³/h.

Os exutórios naturais principais são as drenagens dos rios Cocó, Pacoti e Ceará, as lagoas interdunares, o mar e a evapotranspiração. Como exutório artificial tem-se os poços tubulares e as cacimbas que exploram o Sistema Hidrogeológico Dunas.

5.2.1.3 Barreiras

O Barreiras, no contexto regional, não é considerado por muitos autores como um aquífero, e sim um aquítarde, já que possui porosidade e permeabilidade baixas e condutividade hidráulica estimada em $1,8 \times 10^{-6}$ m/s. Porém, em Fortaleza, tem o caráter de aquífero, com grande variação de fácies, espessura entre 20,0 e 60,0 m e apresenta intercalações diferenciadas de leitos siltico-argilo-arenosos, que condicionam esta unidade a ter diferentes parâmetros hidrodinâmicos (Permeabilidade, porosidade e transmissividade), tanto vertical quanto horizontalmente, com os níveis arenosos representando os principais em termos de vocação aquífera (CAVALCANTE, 1998).

CAVALCANTE (1998) encontrou, a partir de poços analisados da RMF, valores para o rebaixamento do nível d'água de 5,0 a 30,0 m, com mínimo de 1,2 m e máximo de 47,0 m. No município de Fortaleza esta tendência de distribuição pode ser confirmada, considerando 20,0 m como sendo o rebaixamento médio nos poços que captam o Aquífero Barreiras; nível estático na área ocorre com valores inferiores a 15,0 m.

A vazão atinge até 12,0 m³/h, com predominância nos bairros do Pici, Conjunto Palmeiras (porção sul), Pirambu e Álvaro Weyne (Porção noroeste).

O maior armazenamento neste depósito está localizado no fácies arenosos e a recarga é feita por infiltração das águas das chuvas, das drenagens influentes, através do sistema Dunas e aluviões (TAJRA, 2001).

Como exutórios naturais, as águas subterrâneas do Barreiras tem, de maneira geral, a rede de drenagem e as lagoas. Em locais de contato com o meio cristalino sotoposto, o escoamento destas águas se faz através das fraturas, desde que existam as características propícias à circulação e o armazenamento.

5.2.1.4 Aluviões

As aluviões constituem aquíferos livres que ocorrem ao longo dos principais rios de Fortaleza (Cocó, Ceará e Maranguapinho). Os sedimentos aluvionares são geralmente porosos, permeáveis, de pequenas e médias espessuras, com nível estático em torno de 2 metros e profundidade moderada, onde a máxima é de 15 metros.

A recarga se faz por infiltração das águas de chuvas e pela drenagem influente que, no período de estiagem, passam a funcionar como o exutório, além da evapotranspiração. Conhecidos como "riachos fendas", ou linhas de drenagem encaixadas em fraturas do embasamento, juntamente com as aluviões e a eles associados, estes elementos constituem importantes condutos de recarga para a alimentação do aquífero cristalino servindo de guias na prospecção de água subterrânea, sendo as águas subterrâneas nas aluviões predominantemente cloretadas sódicas.

5.2.2 Meio Cristalino

Esse contexto engloba os litótipos ígneos, metamórficos e as vulcânicas alcalinas. No município de Fortaleza o embasamento cristalino não é aflorante, mas localmente, nos bairros Bom Jardim e Granja Portugal, porção sudoeste do município, situa-se a alguns metros abaixo da superfície do terreno.

No contexto regional é constatada pouca, ou praticamente nenhuma, vocação para armazenamento e captação nesse sistema cristalino, comparativamente ao meio sedimentar; mas, considerando que em situações de *déficit* hídrico nos períodos de estiagem a que é submetido o município em apreço, o abastecimento domiciliar e industrial é, muitas vezes, a fonte

alternativa, reconhecendo sua importância hidrogeológica (TAJRA, 2001).

Considerando que as condições de infiltração, armazenamento e circulação das águas nos aquíferos fissurais estão limitadas às zonas de fraturas, na medida em que estas estejam intrinsecamente relacionadas às aberturas e a interconecção com as áreas de recarga, admite-se então o enquadramento desta unidade litológica como aquífero.

A recarga dos aquíferos fissurais de Fortaleza é realizada pela infiltração direta da água de chuva ou indiretamente através dos depósitos aluvionares dos rios Ceará, Cocó, Maranguapinho e Pacoti. O armazenamento pode estar restrito ao pacote de rochas alteradas ao longo das fraturas e/ou fendas.

O comportamento hidráulico do meio fissural é diferente dos meios porosos. Ressalta-se o caráter primário dos parâmetros de porosidade e condutividade hidráulica, distinto das rochas sedimentares, facilitando-lhes melhores condições de armazenamento e fluxo d'água. No meio cristalino, o armazenamento e fluxo ocorrem associados às fraturas, interconectadas e abertas e, portanto, de maneira indireta ou secundária (CAVALCANTE, 1998).

5.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DO SISTEMA AQUIFERO DUNAS, BARREIRAS E ALUVIÕES

Para realizar a análise dos parâmetros hidrodinâmicos, foram utilizados dados de trabalhos anteriores.

Na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF as característica médias do sistema aquífero Dunas foram obtidas por meio de testes de aquíferos e de produção, num total de 285, realizados em 9 áreas de captação para a CAGECE (CAMPOS & MENEZES, 1982). Admite-se em função dos testes que os valores médios de permeabilidade (K) e transmissividade (T) para esta

unidade sejam de $2,88 \times 10^{-4}$ m/s e $1,79 \times 10^{-2}$ m²/s, respectivamente.

Dentro do contexto hidrogeológico da RMF, baseando-se em testes de aquífero e de bombeamento, (RIBEIRO,2001) encontrou para o aquífero Barreiras valores de $4,65 \times 10^{-4}$ m/s e de $4,78 \times 10^{-3}$ m²/s para a permeabilidade (K) e transmissividade (T), respectivamente.

BARROS *et al.* (1981) analisando o potencial hidrogeológico das aluviões do rio Choró, que encontra-se inserido na RMF afirmaram que os depósitos aluvionares do rio Choró apresentam uma espessura média de 5 m.

Por conta da proximidade da área estudada por Barros *et al.* (op.cit.), e pela ausência de perfis construtivos e litológicos com maior detalhe sobre o meio sedimentar na área, admite-se para o Sistema Aluvionar uma espessura média de 5m.

Com relação a parâmetros hidrodinâmicos desse sistema, BARROS *et al.* (1981) encontraram valores para transmissividade (T) igual a $3,0 \times 10^{-2}$ m²/s, permeabilidade (K) de $6,0 \times 10^{-4}$ e Porosidade efetiva (η_e) igual a $5,0 \times 10^{-2}$.

5.4 RECARGA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A recarga das águas subterrâneas na área de estudo encontra-se condicionada principalmente por fatores como: geologia, ocupação urbana, presença de lagoas de infiltração de águas pluviais, regime pluviométrico e rede de drenagem.

O município de Fortaleza possui área física de 313,8Km² sendo que 74% está inserida no contexto urbano, condicionando o ciclo hidrogeológico e limitando a infiltração das águas superficiais nos sistemas aquíferos.

Quantificar a recarga em um ambiente urbano torna-se uma atividade complexa, pois envolve considerações da impermeabilização do terreno por construções, infiltração de

efluentes originados de fossas sépticas, sumidouros, vazamentos na tubulação da rede de distribuição de água potável e pela convergência de águas pluviais nas lagoas que recarregam os aquíferos.

De acordo com dados obtidos junto a CAGECE, a perda na rede de distribuição de água potável no município totaliza 36% representando um volume de $47,05 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ que faz uma recarrega de forma direta nas águas subterrâneas.

A demanda para abastecimento de água por habitante foi estimada em 250L/dia, o que totaliza $228,6 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$. A contribuição da recarga das águas subterrâneas realizada pelo processo de infiltração de águas residuais, oriundas de fossas e sumidouros, foi estimada em 40% do abastecimento público, o que corresponde a um volume de $52,28 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$, sendo que esta recarga não sofre ação de evaporação e transporta uma grande quantidade de contaminantes às águas subterrâneas de Fortaleza.

5.5 RESERVAS E POTENCIALIDADES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Depois das considerações sobre os sistemas hidrogeológicos, seguidas de uma abordagem geral sobre a infra-estrutura hídrica na área, tem-se a integração dessas informações de modo a ser abordado no presente item o dimensionamento das reservas hídricas subterrâneas, assim como potencialidade e disponibilidade.

Os conceitos adotados na presente tese para a definição do cálculo de reservas foram os estabelecidos por COSTA (1997, 1998) e, ratificados por VERÍSSIMO (1999). Esses conceitos que elucidam, além das reservas (reguladora, permanente e total), a potencialidade e a disponibilidade (potencial e efetiva) hídrica subterrânea, serão apresentados juntamente com os respectivos cálculos.

5.5.1 - Reservas

As reservas de águas subterrâneas constituem a quantidade de água armazenada nos aquíferos. Os principais parâmetros que influenciam no cálculo envolvem, principalmente, as características dimensionais do meio, a precipitação pluviométrica, os aspectos relacionados à porosidade eficaz, o coeficiente de armazenamento e a espessura saturada.

Do ponto de vista de oferta d'água para atendimento à demanda e para os diversos tipos de uso para os quais as águas subterrâneas se destinam, há de se considerar dois outros termos que estão estreitamente relacionados às reservas: potencialidade e disponibilidade.

CAVALCANTE (1998) recomenda que no planejamento da utilização dos sistemas aquíferos se considere os potenciais de renovabilidade, a integração com o meio hidroambiental, a capacidade de regeneração das águas servidas que retornam ao manancial em apreço e, principalmente, o limite da atividade antrópica que não deve ultrapassar o aceitável pelas condições inerentes ao meio.

As rochas sedimentares possuem porosidade e condutividade hidráulica primárias decorrentes da própria diagênese, condicionando o armazenamento e fluxo d'água. Nas rochas cristalinas, o armazenamento e fluxo ocorrem nas fraturas, interconectadas e abertas, caracterizando um meio anisotrópico e heterogêneo, tornando o cálculo de reservas algo extremamente complexo, necessitando de um número significativo de dados seguros.

Considerando-se o volume das águas subterrâneas, as reservas são classificadas como reguladoras (dinâmicas ou renováveis), permanentes (seculares) e totais (potenciais), conforme definem COSTA (1998) e VERÍSSIMO (1999).

Ressalta-se que, em função das condições hidrogeológicas existentes, os cálculos de reservas renováveis, permanentes e totais serão efetuados somente para os Sistemas Dunas, Barreiras e Aluvionar.

5.5.1.1 Reservas Reguladoras

Representam à quantidade de água acumulada no meio aquífero, em função da porosidade eficaz ou do coeficiente de armazenamento, que sofre variação anual em decorrência dos aportes sazonais de água (superficial e/ou pluviométrica), do escoamento subterrâneo e dos exutórios, tendo uma flutuação sazonal do aquífero livre (REBOUÇAS, 1997 *apud* CAVALCANTE 1998).

O cálculo das reservas reguladoras, ou transitórias, pode ser efetuado de várias maneiras. Uma das maneiras é utilizando-se o método volumétrico, que tem por base a flutuação (Δh) dos níveis d'água nos aquíferos livres, sendo mostrada na expressão: $R_r = A \times \Delta h \times \eta_e$, Onde: A = área de ocorrência do aquífero (L^2), Δh = variação do nível d'água (L) e η_e = porosidade efetiva (adimensional).

- O Sistema Dunas é caracterizado por areias pouco consolidadas e extremamente homogêneas, finas, com diâmetro efetivo de 0,15 a 0,25 mm e espessuras de 15 a 25 m. Ocasionalmente, ocorrem níveis siltico-argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos clastos (CAMPOS & MENEZES, 1982).

Considerando uma precipitação pluviométrica média de **1625 mm/ano** na área, o volume precipitado sobre a área de ocorrência das Dunas (**99,4 km²**) é de **161,52 milhões de m³/ano**

Dessa forma, para efeito de cálculos das reservas reguladoras e considerando as características litológicas dos níveis que compõem o Sistema Dunas, foram adotados os valores

propostos por Cavalcante (1998), ou seja, porosidade efetiva de **5%** e variação do nível d'água (Δh) igual a **0,5 m**.

Utilizando **$R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$** onde **$A = 99,4 \text{ km}^2$** , **$\Delta h = 0,5 \text{ m}$** e **$\eta_e = 5\%$** , obtém-se para as reservas reguladoras, ou renováveis, do Sistema Barreiras um volume de **$2.485.000 \text{ m}^3/\text{ano}$** .

- O Sistema Barreiras é caracterizado pela existência de níveis clásticos alternados, que no geral variam da fração argila até areias médias, tendo na base níveis conglomeráticos, estes dificilmente observáveis em todo contexto da RMF. Para a área, não existem dados monitorados sobre variação de nível d'água e porosidade efetiva para este sistema.

Considerando-se uma precipitação pluviométrica média de **1625 mm/ano** na área, o volume precipitado sobre a área de ocorrência do Barreiras (**$120,4 \text{ km}^2$**) é de **$195,65 \text{ milhões de m}^3/\text{ano}$** .

Dessa forma, para efeito de cálculos das reservas reguladoras e considerando as características litológicas dos níveis que compõem o Sistema Barreiras, foram adotados os valores propostos por Cavalcante (1998), ou seja, porosidade efetiva de **5%** e variação do nível d'água (Δh) igual a **0,5 m**.

Utilizando **$R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$** onde **$A = 120,4 \text{ km}^2$** , **$\Delta h = 0,5 \text{ m}$** e **$\eta_e = 5\%$** , obtém-se para as reservas reguladoras, ou renováveis, do Sistema Barreiras um volume de **$3.010.000 \text{ m}^3/\text{ano}$** .

- Sistema Aluvionar, litologicamente constituído por argilas, areias argilosas, areias puras e cascalhos com ou sem matéria orgânica, ocupa uma área de **$38,55 \text{ km}^2$** , sobre a qual precipita um volume de **$62,6 \text{ milhões de m}^3/\text{ano}$** .

Semelhante ao que ocorre no sistema anterior, não existem dados monitorados sobre variação de nível d'água e porosidade efetiva para este sistema na área estudada. Dessa forma, os dados necessários para os cálculos foram obtidos a partir da

bibliografia consultada, mais precisamente através do trabalho de BARROS *et al.* (1981).

Para a variação do nível d'água (Δh), BARROS *et al.* (op. cit) trabalharam com uma variação anual de 0,072 m nesse sistema. Quanto à porosidade efetiva (η_e), o valor adotado é de **7%**, 40% maior que o utilizado para o Sistema Barreiras, corroborando a similaridade entre os parâmetros hidrodinâmicos dos dois sistemas, conforme exposto anteriormente.

Assim, utilizando $R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$ onde $A = 38,55 \text{ km}^2$, $\Delta h = 0,072 \text{ m/ano}$ e $\eta_e = 7\%$, obtém-se para as reservas reguladoras, ou renováveis, do Sistema Aluvionar um volume de **194.292 m³/ano**.

5.5.1.2 Reservas Permanentes

As reservas permanentes representam o volume de água

As reservas permanentes representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar. Correspondem aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação dos aquíferos livres ou dos níveis potenciométricos dos aquíferos confinados (REBOUÇAS, 1997).

As reservas permanentes podem ser calculadas pelo método volumétrico, utilizando-se a seguinte fórmula: $R_p = A \times h_o \times \eta_e$, onde A = área de ocorrência do sistema aquífero (L^2), h_o = espessura média saturada (L), já que na área de trabalho ocorrem aquíferos do tipo livre, e η_e = porosidade efetiva (adimensional).

- Sistema Dunas

Para uma área de **(99,4 km²)** ocupada por este sistema considerando-se uma espessura saturada de 7m, e uma porosidade

efetiva (η_e) de 5%, calcula-se uma reserva hídrica permanente (**Rp**) igual a **34.790.000** de **m³**.

- Sistema Barreiras

Para uma área de (**120,4 km²**) ocupada por este sistema considerando-se uma espessura saturada (h_o) de 15m, e uma porosidade efetiva (η_e) de 5%, calcula-se uma reserva hídrica permanente (**Rp**) igual a **90.300.000** de **m³**.

- Sistema Aluvionar

Para a área (**38,55 km²**) ocupada por este sistema e considerando-se uma espessura média saturada (h_o) de 5 m e porosidade efetiva (η_e) de 7%, existe uma reserva hídrica permanente (**Rp**) de **13.492.500** **m³**.

5.5.1.3 Reservas Totais

O conjunto das reservas reguladoras e permanentes representa as reservas totais, ou naturais, consistindo, dessa forma, na totalidade das águas que ocorrem num aquífero ou em um sistema hidrogeológico (**Rt = Rr + Rp**).

Dessa forma as reservas totais (**Rt**) para o Sistema Hidrogeológico Dunas são de **37.275.000 m³** para o Sistema Barreiras são de **93.310.000** de **m³** e para o Sistema Hidrogeológico Aluvionar as reservas totais (**Rt**) são de **13.686.792 m³**.

CAPÍTULO 6 - FONTES DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Por estarem mais protegidas em profundidades, as águas subterrâneas são menos vulneráveis à poluição do que as superficiais; entretanto, quando um aquífero é contaminado, a sua recuperação pode levar muitos anos dependendo do tipo de contaminante, e até mesmo, tornar-se economicamente inviável.

Assim, a água subterrânea contaminada possuirá a forma de uma pluma, e seus limites serão estabelecidos pela velocidade de emissão do contaminante, pelas características hidrodinâmicas do aquífero, pelo padrão de fluxo da água subterrânea e pelas mudanças no padrão de fluxo causado por bombeamento de poços (FARIAS, 2005).

6.1 FONTES PONTUAIS DE CONTAMINAÇÃO

Diante dos agravos ambientais que uma área urbana pode sofrer pelos mais diversos fatores foi realizado o cadastramento das fontes potenciais de contaminação inseridas no município de Fortaleza.

Segundo Vazquez-Suñe (2005), os ambientes urbanos diferem dos ambientes rurais em decorrência, principalmente, de fatores como:

- Ciclo das águas subterrâneas está ligado diretamente a história da urbanização.
- Flutuações do nível das águas subterrâneas estão relacionadas as atividades antrópicas.

➤ Poluição das águas subterrâneas causadas pelas atividades humanas.

➤ Presença de estruturas subterrâneas.

Branco (1965) refere-se à contaminação como uma simples transmissão, pela água, de elementos, compostos ou microorganismos que possam prejudicar a saúde do homem ou de animais que a bebem. Já "poluição" se caracteriza muito mais por seus efeitos ecológicos, que produzem transformações do meio ambiente, de forma a este tornar-se impróprio ao desenvolvimento normal das populações aquáticas.

O risco potencial de contaminação das águas, em sua conceituação básica, é atribuído à interação entre dois fatores fundamentais.

➤ Carga contaminante

➤ Vulnerabilidade natural do aquífero de ser afetado pela carga contaminante (FOSTER *et al.*, 1987; FOSTER *et al.*, 1988).

A carga contaminante pode ser caracterizada em função de sua classe, intensidade, modo de disposição no solo e duração, enquanto que a vulnerabilidade do sistema aquífero depende da estrutura hidrogeológica do terreno.

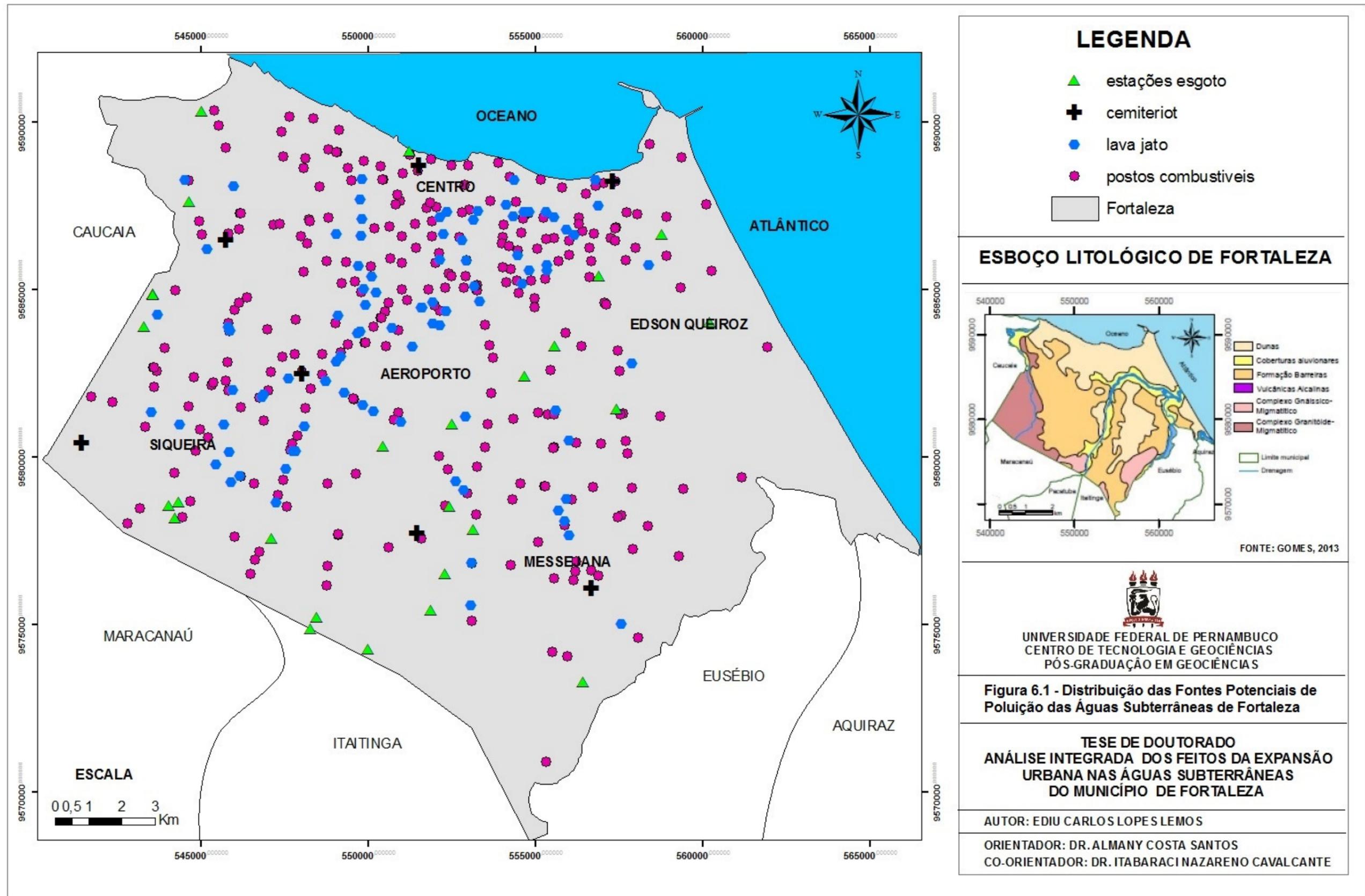
No que se referem às águas subterrâneas, estas são susceptíveis a diversas alterações em sua quantidade e qualidade, principalmente em função dos fatores antrópicos.

Uma determinada área, após ser contaminada, trará problemas de saúde para a população no seu entorno e também mudanças da dinâmica do ecossistema local. Para se investigar uma área contaminada, além de ter que conhecer as características da carga contaminante, se faz necessária a compreensão e a magnitude da contaminação existente e a configuração do meio físico, como geologia e hidrogeologia (HASSUDA, 2003).

É considerada Fonte Potencial de Contaminação (FPC) qualquer obra ou estrutura não móvel, que possa acarretar mudanças na qualidade natural dos recursos hídricos de uma determinada área.

Estão inseridas na área de estudo as seguintes FPC: cemitérios, estações de tratamento de esgotos, postos de combustíveis, local de disposição dos resíduos sólidos (lixões), pontos de lavagem de veículos e poços abandonados.

Na Figura 6.1 é apresentado o mapa das fontes potenciais de poluição e nos APÊNDICES A, B e C são apresentados dados sobre estas fontes.



6.1.1 Cemitérios

Os cemitérios nada mais são do que depósito de corpos humanos, que necessitam de uma destinação correta, pois a degradação dos mesmos pode se constituir em focos de contaminação. A decomposição dos corpos depende das características físicas do solo onde o cemitério está implantado ou será implantado (PACHECO, 1997).

O crescimento populacional tem gerado a necessidade de construção de mais cemitérios, sendo que existem locais totalmente inadequados utilizados com tal finalidade. Devido a falta de planejamento e metodologia adequada, cemitérios que se situavam em locais distantes das cidades, hoje fazem parte dela, propiciando o aparecimento de áreas de risco potencial ao meio ambiente.

Os cemitérios constituem um risco potencial para as águas subterrâneas em decorrência de sua localização, que nem sempre obedece a projetos fundamentados nos estudos geológicos e hidrogeológicos (PACHECO op.cit). As áreas destinadas a novos cemitérios são cada vez mais difíceis de serem encontradas nas grandes cidades (WHO, 1998).

No município de Fortaleza existem 07 cemitérios que encontram-se sobre sedimentos cenozóicos, Terciário, Tércio-Quaternário e Quaternário, representados por Coberturas Colúvio-Eluviais, Formação Barreiras e Depósitos Flúvio-Aluvionares, onde o nível estático é sub-aflorante em níveis arenosos, com porosidade e condutividade hidráulica que facilitam a migração de elementos contaminantes (APÊNDICE A). Os cemitérios foram implantados sem nenhum critério fundamentado em estudos geológicos e hidrogeológicos, tornando-se fontes potenciais de contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Algumas doenças estão associadas à existência de necrochorume em contato com as águas subterrâneas (PACHECO *op.cit.*, 1998), sendo elas: *Clostridium* (tétano, gangrena gasosa, toxi-infecção alimentar), *Mycrobacterium*(tuberculose), as enterobactérias *Salmonella typhi* (febre tifoide), *Salmonella paratyphi* (febre paratifoide), *Shigella* (disenteria bacilar) e o vírus da hepatite A.

Os cemitérios instalados em terrenos sedimentares, com topografia elevada em relação à circunvizinhança e com o nível estático raso, aliado a uma precipitação irregular, são necrópoles mais susceptíveis à contaminação do recurso hídrico subterrâneo. A pequena profundidade do nível estático em meio sedimentar arenoso, a grande permeabilidade faz com que o contaminante alcance o aquífero com mais facilidade. Em áreas urbanizadas, onde existem cemitérios instalados, que exibem pequena pluviometria e impermeabilização do solo, existe um alto risco a contaminação, pois a recarga será predominantemente o poluente que atingirá o aquífero e a contaminação ocorre em curto espaço de tempo (OLIVEIRA, 2013, p.43 *apud* GOMES 2013).

Vários são os problemas que ocorrem quando um cemitério encontra-se mal localizado, aos quais passamos a comentar.

Cessada a vida, anulam-se as trocas nutritivas das células e o meio acidifica-se, iniciando-se o fenômeno transformativo de autólise. Enterrado o corpo (inumação ou entumultamento), instalam-se os processos putrefativos de ordem físico-química, em que atuam vários microrganismos.

A putrefação dos cadáveres é influenciada por fatores intrínsecos e extrínsecos. Os intrínsecos são pertencem ao próprio corpo, tais como: idade, constituição física e causa-mortis. Os extrínsecos são pertinentes ao ambiente onde o corpo foi depositado, tais como: temperatura, umidade,

aeração, constituição mineralógica do solo, permeabilidade, etc...

Um corpo humano de aproximadamente 70kg (adulto masculino) contém aproximadamente 16.000g de carbono, 1.800g de nitrogênio, 1.100g de cálcio, 500g de fósforo, 140g de enxofre, 140g de potássio, 100g de sódio, 95g de cloreto, 19g de magnésio, 4,2g de ferro e 70-74% do peso por água. A composição dos elementos nos cadáveres femininos representam 2/3 a 3/4 dos masculinos (DENT & KINIGHT, 1998, apud WHO, 1998).

Com a decomposição dos corpos há a geração dos chamados efluentes cadavéricos, gasosos e líquidos. Os primeiros que surgem são os gasosos, seguindo-se os líquidos.

Os efluentes líquidos, chamados de necrochorume, que são líquidos mais viscosos que a água, de cor acinzentada a acastanhada, com cheiro acre e fétido, constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas degradáveis, dentre as quais, duas diaminas muito tóxicas que é constituída pela putrescina (1,4 Butanodiamina) e a Cadaverina (1,5 Pentanodiamina), dois venenos potentes para os quais não se dispõem de antídotos eficientes (ROMARÓ apud BUZZATTE, 2009).

De acordo com Silva (1998), 57% do corpo humano em decomposição é transformado em necro-chorume. O volume de necro-chorume produzido por um cemitério pode ser estimado com base no montante de sepultamentos, no peso estimado dos corpos sepultados, em função do sexo e idade, e na quantidade presumida de necro-chorume gerado por cada corpo durante os processos de putrefação dos tecidos e órgãos.

Segundo dados da administração dos cemitérios de Fortaleza, até dezembro de 2010 foram realizados exatos 491.728 sepultamentos, sendo 49% de homens adultos, 39% de mulheres adultas, 12% de crianças. Com base no Censo

Demográfico de 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o homem adulto pesa em média 70 kg, a mulher adulta 40 kg e criança 20 kg. De acordo com dados coletados junto aos cemitérios existentes no município de Fortaleza foi realizado um cálculo estimado do volume de necro-chorume produzido por cada cemitério (Tabela 6.1).

A administração do cemitério do Bom Jardim informou que durante o período de 1994 a 2005 haviam sido realizados 49.770 enterros, dando uma média anual de 4.524 enterros (Oliveira, 2009); o valor informado é anômalo quando comparado à média de todos os outros cemitérios existentes no município de Fortaleza. Assim sendo, se decidiu utilizar uma média entre os valores de mortalidade dos outros cemitérios como valor a ser utilizado no cálculo do necro-chorume produzido no cemitério do Bom Jardim, este valor ficou igual a 817 enterros anualmente.

Tabela 6.1 - Cálculo do necro-chorume produzido pelos cemitérios de Fortaleza ao longo do seu funcionamento

VOLUME DE NECRO-CHORUME PRODUZIDO (L)					
CEMITÉRIOS	TEMPO DE FUNCIONAMENTO	HOMENS	MULHERES	CRIANÇAS	SOMA
A	185 anos	4.312.240	1.474.020	302.364	6.097.624
B	75 anos	951.825	432.900	66.600	1.451.325
C	38 anos	1.838.274	836.066	128.625	2.802.965
D	145 anos	6.873.377	3.126.084	480.936	10.480.397
E	142 anos	1.753.416	797.472	122.688	2.673.576
F	95 anos	651.700	296.400	45.600	993.700
G	17 anos	476.000	216.920	33.320	726.240
TOTAL		16.865.832	7.179.862	1.180.133	25.225.827

A toxicidade química do necro-chorume diluído na água freática relaciona-se aos teores anômalos de compostos das cadeias do fósforo e do nitrogênio, metais pesados e amins.

O necro-chorume no meio natural decompõe-se e é reduzido a substâncias mais simples e inofensivas, ao longo de determinado tempo. Em determinadas condições geológicas, o

necro-chorume atinge o lençol freático praticamente íntegro, com suas cargas químicas e microbiológicas, desencadeando a sua contaminação e poluição. Os vetores assim introduzidos no âmbito do lençol freático, graças ao seu escoamento, podem ser disseminadas nos entornos imediato e mediato dos cemitérios, podendo atingir grandes distâncias, caso as condições hidrogeológicas assim o permitam.

SILVA (1999 b) observou a presença de radioatividade num raio de duzentos metros das sepulturas de cadáveres que em vida foram submetidos a radioterapia ou que receberam marca-passos cardiológicos, alimentados com fontes radioativas. Materiais radioativos são móveis na presença de água, por isto pessoas que fazem este tipo de tratamento, segundo o autor deveriam ser cremadas e suas cinzas dispostas como lixo atômico, porém a cremação tem restrições ainda em nossa cultura, devido a crenças religiosas, razões sociais e culturais.

Segundo Matos (2001), até o início do século XXI os cemitérios foram apenas excepcionalmente incluídos nas listas de fontes tradicionais de contaminação ambiental, bem como têm sido raramente objetos de estudos geoambientais mais amplos e sistemáticos sobre as reais dimensões da contaminação do solo e água subterrânea causada pela decomposição de corpos humanos no meio geológico.

6.1.2 Postos de Armazenamento de Combustíveis

Os postos de combustíveis, de modo geral, representam uma fonte potencial de contaminação em decorrência de vazamentos acidentais na manipulação e/ou em decorrência de vazamentos de tanques subterrâneos.

Dentre os principais derivados do petróleo, a gasolina possui como principal característica o poder anti-detonante ou

octanagem, que é a resistência à combustão espontânea, avaliada em relação à temperatura e a pressão. A fração de hidrocarbonetos correspondente a gasolina é composta de numerosos constituintes e a maior parte desses é classificada como alifáticos ou como aromáticos. Os compostos alifáticos incluem constituintes como o butano (C₄), o penteno (C₅) e o octano (C₈). Já os compostos aromáticos incluem compostos como o Benzeno, o Tolueno, o Etilbenzeno e os Xilenos (BTEX).

O óleo diesel possui como característica principal o número de cetano. Quanto maior for o número de cetano menor será o retardo de ignição e, por conseguinte, melhor será sua capacidade de incendiar-se. O óleo diesel é originado do petróleo constituído por hidrocarbonetos e baixa quantidade de enxofre, nitrogênio e oxigênio. As emissões de particulados característicos dos motores a Diesel são na maioria composta de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (do inglês PAH).

Dentre os principais componentes dos combustíveis fósseis, os compostos aromáticos se destacam, pois possui grande estabilidade em suas ligações químicas além de ser potencialmente cancerígeno. Os BTEX são mais solúveis e mais tóxicos entre os demais compostos aromáticos presentes, agindo como poderosos depressores do sistema nervoso central e apresentando toxicidade crônica, mesmo em pequenas concentrações (da ordem de ppb - parte por bilhão). Os PAH's dos quais Pirenos, Fenantrenos e Antracenos são potencialmente precursores de câncer em seres humanos, segundo a U.S. Environmental Protection Agency - EPA (EPA,2008).

O álcool é um dos combustíveis de destaque da matriz energética brasileira e é constituído por compostos orgânicos, oriundos de fonte renovável caracterizado pela presença da hidroxila (OH). O primeiro país no mundo a usar o álcool como combustível foi o Brasil, sendo também utilizado como aditivo

da gasolina para aumentar a sua octanagem e atualmente a gasolina possui 25% de álcool anidro.

Na América do Norte, a gasolina misturada ao álcool é conhecida como gasolina oxigenada e no Brasil é conhecida como gasool.

A mistura do álcool a gasolina modifica o comportamento ambiental destes componentes tanto no solo quanto na água subterrânea, pois aumenta a solubilidade da gasolina em água, implicando em um aumento da concentração deste componente químico na fase dissolvida, o que potencializa a possibilidade de deslocamento destes contaminantes quando em contato com as águas subterrâneas. Esta propriedade pode aumentar significativamente o impacto ambiental de derramamento ou vazamento da mistura álcool-gasolina (GUIGUER, 1996).

Outro possível ponto de contaminação ambiental nos postos de revenda de combustível são vazamentos nos dispositivos de armazenagem de óleos usados. Uma das principais diferenças de um óleo novo e um óleo usado, e que confere o seu caráter de resíduo perigoso, é a presença de metais pesados, além dos PAH's. O popular "óleo queimado" é mundialmente considerado como produto maléfico ao ambiente e a saúde pública, estando inserido na "Classe I dos Resíduos Perigosos", por apresentar toxicidade (ABNT, 2004). Constitui crime ambiental não só o seu descarte em local inapropriado, como também comercializar, fornecer, transportar, queimar ou dar destino que não seja reciclagem através do re-refino.

A construção de um posto de combustíveis deve estar de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Entre as várias NBR's relativas à atividade de abastecimento e revenda de combustíveis, a NBR 13.786/2005 classifica os empreendimentos tendo como critério o entorno do posto de serviço, condicionando os equipamentos de controle ambiental que serão instalados (ABNT, 2005).

No município de Fortaleza, foram cadastrados 303 postos de combustíveis que comercializam álcool, gasolina comum, gasolina aditivada, diesel e em alguns gases naturais. Encontram-se armazenados nos tanques destes postos de combustíveis um volume total de $742 \times 10^3 \text{L}$ de gasolina, $275,5 \times 10^3 \text{L}$ de álcool e $1610,5 \times 10^3 \text{L}$ de óleo diesel. Os dados referentes à sua localização e outras informações dos postos de combustíveis encontram-se no APÊNDICE C.

Segundo ABNT (2005), um posto de revenda de combustíveis deverá instalar poços de monitoramento a fim de verificar a existência de contaminantes em fase livre ou dissolvida na água subterrânea. Os poços de monitoramento devem ser instalados em lugares estratégicos. O sistema de monitoramento deve possuir então poços distribuídos à montante e a jusante do posto de revenda, devendo ser implantado no mínimo 3 poços de monitoramento, independente da profundidade do lençol freático. Entretanto no município de Fortaleza não foi verificado em nenhum dos postos licenciado ao armazenamento e revenda dos derivados de petróleo os poços de monitoramento citados como obrigatórios pela ABNT.

6.1.3 Disposição de Resíduos Sólidos

A disposição de resíduos sólidos representa um problema resultante do desenvolvimento populacional desordenado. Problemas decorrentes dos resíduos sólidos são verificados em diversas cidades. Na cidade de Fortaleza, estado do Ceará, Sabadia *et.al* (2000) relata uma problemática quanto a destinação final dos resíduos sólidos. Dependendo da forma em que estes resíduos são depositados, recebem uma definição distinta:

Aterro Sanitário: são áreas em que ocorre uma disposição de resíduos sólidos dentro de normas técnicas estabelecidas.

Lixão: trata-se da disposição de resíduos sólidos sem que ocorra nenhum controle dos mesmos em determinada área.

Sem dúvida, a associação do crescimento populacional à intensa urbanização e às mudanças de consumo estão mudando o perfil do lixo brasileiro. Porém, essa 'modernidade' não está sendo acompanhada das medidas necessárias para dar ao lixo gerado um destino adequado. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada em 1989 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e editada em 1991 (IPT/CEMPRE, 1995), "o brasileiro convive com a maioria do lixo que produz.

Os lixões, em processo de decomposição, geram chorume, que quando lixiviado é carregado, para mananciais hídricos, seja de superfície ou subsuperfície. Um resíduo sólido pode ser definido como qualquer substância indesejável que não tenha consistência suficiente para fluir por si mesma, não sendo útil em sua forma original para o processo em que foi gerado (FOSTER, 1993). Os resíduos sólidos podem ser de várias origens (doméstico, industrial, hospitalar, agrícola e outros), podem afetar o equilíbrio ambiental pela introdução de material ou substâncias ao meio.

A NBR 1004, da ABNT, caracteriza esses resíduos como resíduos nos estados sólidos e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 1987 *apud* MORAIS, 2004).

Desde muitas décadas passadas, os resíduos sólidos domiciliares e urbanos, e os resíduos perigosos classe A (MONTEIRO, *et al.*, 2001) não vêm sendo tratados de forma adequada, apesar da existência de Legislação Ambiental; as indústrias químicas despejam seus lixos no solo, sem as salvaguardas adequadas; os efluentes domésticos e industriais - resíduos da atividade doméstica e industrial misturados à

água utilizada para efetivar seus processos - são descartados nos condutos de esgotos ou em águas naturais, contendo altas concentrações de dejetos. O esgoto doméstico é constituído, basicamente, de: urina, fezes, papel, sabão, detergentes sintéticos, restos de alimentos, terra, graxa, cosméticos, sais, óleos, micro-organismos e outros dejetos; e os industriais têm, na sua composição: matéria orgânica, corantes, ácidos diluídos etc., em altas concentrações. Em ambos os casos, os esgotos não recebem tratamento, cujo objetivo é torná-los apropriados para serem descartados em águas naturais, salvo os casos em que a água é utilizada para beber, preparar alimento, entre outras finalidades domésticas (MENEZES, 1996).

No município de Fortaleza foram instalados um total de 05 lixões ao longo de cinco décadas sendo eles:

- **1956 a 1960** - Lixão do João Lopes, Monte Castelo, foi o primeiro da capital.
- **1961 a 1965** - Lixão da Barra onde surgem os primeiros catadores vindos do interior, devido ao êxodo.
- **1966 a 1967-** Lixão do Buraco da Gia, no bairro Antônio Bezerra.
- **1968 a 1977-** Lixão do Henrique Jorge com o primeiro coletor compactador do Estado.
- **1978 a 1998** - Lixão do Jangurussú nas proximidades do Rio Cocó.

O Lixão do Jangurussú foi projetado para uma vida útil de dez anos, mas acabou funcionando por 20 anos. Durante seu tempo de funcionamento, era o único local existente para atender toda Fortaleza, recebendo uma média diária de 3.300 toneladas de lixo, que era distribuída numa área de 21,6 hectares.

Ao ser inaugurado, o local era um aterro que obedecia às normas técnicas para este fim. Com o passar dos anos, devido à

falta de manutenção e descaso com as normas e técnicas sanitárias necessárias, o aterro do Jangurussú teve seu "status" rebaixado e virou "lixão" (Figura 6.2).

Isso aconteceu em 1996, quando a carga máxima permitida para o funcionamento normal do aterro foi ultrapassada, sobrecarregando e representando perigo em potencial para a comunidade vizinha, por ser um centro irradiador de animais e doenças. Na época, dentre outros problemas, ocorriam incêndios descontrolados devido à combustão do metano.



Figura 6.2 - Lixão do Jangurussú no bairro do Barroso em Fortaleza-Ceará (Abril, 2012)

Hoje, o já desativado Lixão do Jangurussú, é representado por um conjunto de "montanhas" verdes de aproximadamente 41m de altura cada, formadas pelas incontáveis toneladas de resíduos sólidos depositadas entre 1978 e 1998, continua provocando graves danos ambientais, como o comprometimento da bacia do Rio Cocó pelo chorume que ainda continua sendo produzido decorrente da decomposição de material orgânico que ali permanece.

No Ceará, 49,10% das 6.057,5 toneladas de resíduos produzidas por dia são destinadas para lixões aterros

sanitários, enquanto a outra metade (51,90%) é depositada em aterros sanitários e aterros controlados (BENTO, 2011).

A cidade de Fortaleza tem uma média diária de 2.375 toneladas de lixo produzido, o que corresponde a 40% da produção total de resíduos sólidos do Estado. Todo o lixo coletado no município pelo serviço de limpeza é direcionado para o aterro sanitário localizado no município de Caucaia na Região Metropolitana de Fortaleza (BENTO op.cit)

6.1.4 Estações de Tratamento de Esgotos e Lagoas de Efluentes

O esgoto bruto ou despejo líquido é ocasionado pelos despejos domésticos e industriais, que quando lançados num manancial contribuem para sua degradação, afetando sua qualidade. Para preservação dos recursos hídricos e evitar a contaminação da fração de água disponível, é de fundamental importância a construção de estações de tratamento de esgoto (ETE).

Uma estação de tratamento de esgotos ou lagoa de efluentes pode ser considerada uma fonte potencial de contaminação, quando não recebe uma manutenção regular, podendo gerar despejos de esgotos nas imediações ou então percolação de sua carga diretamente para o aquífero. Segundo Miler & Scalf, 1974 *in* (FOSTER, 1993), a grande maioria das lagoas de estabilização, possui uma base constituída de materiais naturais, parcialmente impermeabilizados, resultado da compactação e sedimentação do solo. Com o passar do tempo, a impermeabilização vai ficando frágil, seja em decorrências das limpezas, ou mesmo por faltas estruturais naturais que surgem em qualquer construção.

São identificadas no município 26 Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), estas recebem carga líquida oriunda de uso doméstico e outras fontes diversas. Para tratar do esgoto, a

Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), utiliza principalmente o processo natural das lagoas de estabilização realizado por meio de agentes biológicos, não sendo necessária à adição de produtos químicos. No interior das águas das lagoas, as bactérias e algas utilizam a matéria orgânica para sobreviver e, desta forma, fazem a autodepuração do esgoto. No processo os resíduos ainda passam pelas lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação.

As ETE encontram-se próximas das margens da bacia dos rios Maranguapinho e Cocó, onde se observa que a partir das lagoas de estabilização que os rios se tornam perenizados artificialmente pelas águas provenientes destas lagoas, prejudicando diretamente a qualidade das águas destes rios (Figura 6.3)

Análises realizadas para o rio Maranguapinho a jusante da ETE por Santos (2005), mostram os seguintes valores médios: nitrato (0,528mg/l); nitrito (0,648mg/l); coliformes fecais (entre 150 e 24.000 NMP/100ml com média de 4.660 NMP/100ml) e totais (entre 430 e 24.000 NMP/100ml com média de 13.806,25 NMP/100ml), valores bem acima do permitido pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).



Fonte: SANTOS, 2005

Figura 6.3 - Efluentes da ETE no Rio Maranguapinho (coordenadas 9574418/541617).

De maneira geral, as estações construídas no município de Fortaleza alcançam apenas o nível de tratamento secundário. O efluente do tratamento secundário ainda possui Nitrogênio e Fósforo em quantidade, concentração e formas que podem provocar problemas no corpo receptor, dependendo de suas condições específicas, dando origem ao fenômeno conhecido como eutrofização, que é sentido pela intensa proliferação de algas (Figura 6.4).



Fonte: LEMOS & MEDEIROS, 2006

Figura 6.4 - Processo de Eutrofização no Rio Maranguapinho no bairro da Granja Portugal, coordenadas 9582272/544994)

Por fim, na construção das ETE no município nada se fez para proteger o solo, as lagoas de estabilização são valas feitas diretamente no solo sem qualquer impermeabilização (Figura 6.5), no entorno deveria existir uma área de proteção, o que não se verifica, haja vista que ao lado das ETE existem diversas ocupações.



Figura 6.5 - Lagoa de Efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto na margem direita do Rio Cocó na Av. Perimetral (coordenadas 9576561/552377; Abril, 2012)

6.1.5 Poços Mal Construídos ou Abandonados

A construção de poços sem uma proteção sanitária capaz de impedir a percolação de contaminantes para o aquífero explotado é um dos fatores que contribuem para redução da qualidade dos aquíferos. A identificação de erro na construção do poço torna-se difícil pela ausência de perfis. Desta forma não é possível conferir o isolamento sanitário.

No município de Fortaleza foram identificados 641 poços abandonados (que podem ou não estarem obstruídos), o risco atribuído a estes poços está na possibilidade deles injetarem efluentes diretamente no aquífero, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas.

6.1.6 Pontos de Lavagem de Veículos Automotores

As áreas de lavagem de veículos automotores produzem quantidades consideráveis de produtos como óleos, graxas e

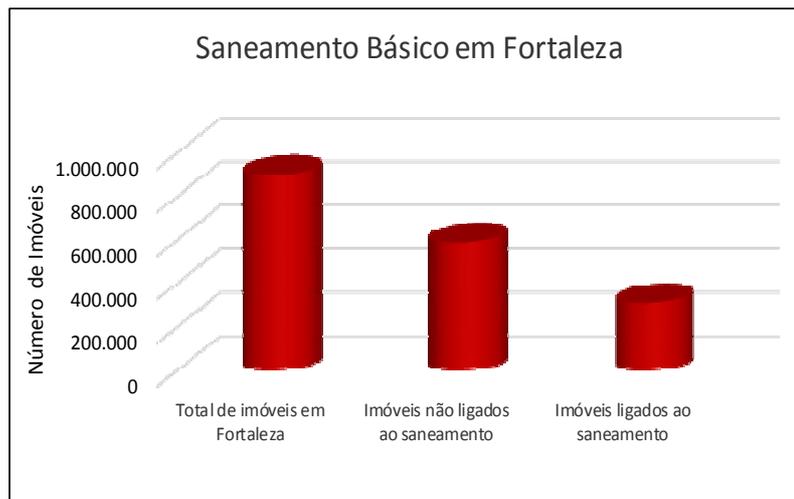
produtos químicos utilizados para remoção de sujeiras na pintura ou motor dos veículos. Estes estabelecimentos consomem um elevado volume de água, e geralmente, são abastecidos por águas subterrâneas. Não se tem dados ou estudos na área sobre os impactos destes estabelecimentos na qualidade das águas subterrâneas. No município de Fortaleza foram identificados 92 pontos de lavagem de veículos (Apêndice B).

6.1.7 Esgotamento Sanitário Doméstico

Com as construções de unidades habitacionais existe uma produção de efluentes domésticos que devem possuir um destino ambientalmente adequado. Muitas vezes, a forma mais rápida e econômica, em uma área sem planejamento quanto à ocupação é a construção de fossas.

Dados do Programa Sanear, em Fortaleza, da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (2011), mostram que 35% das residências apresentam saneamento básico. Porém, deve ser ressaltado que a poluição das águas subterrâneas oriunda diretamente de fossas (sépticas e negras), demonstrada pelas concentrações dos componentes nitrogenados, ainda é constatada em vários pontos, particularmente nas porções noroeste e nordeste, colocando em risco a saúde da população que se utiliza diariamente deste recurso hídrico.

A instalação do saneamento básico do município de Fortaleza está sob a responsabilidade da CAGECE, cujos dados mostram que das 899.328 residências cadastradas em Fortaleza, apenas 310.454 (34,52 %) delas estão ligadas a rede de esgoto (Figura 6.6).



Fonte dos dados: Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), 2011.

Figura 6.6 - Saneamento no município de Fortaleza

A ausência de saneamento básico leva a população a utilizar-se de fossas sépticas, que em função da oscilação sazonal do nível freático podem transformar-se em fossas negras. Neste caso, a função depuradora do sistema aquífero passa a ser mínima, ou sequer existir. As águas subterrâneas podem sofrer os impactos desta carga poluente, principalmente no contexto das Dunas que apresentam uma alta vulnerabilidade, com um nível estático sub-aflorante (CAVALCANTE, 1998, p.89).

O nitrato é considerado como o poluente mais frequente oriundo dos sistemas sépticos. Em Fortaleza, isto é confirmado à medida que as análises das águas subterrâneas mostram a existência constante deste elemento, em concentrações quase sempre acima de 5 mg/L, que segundo SANTOS (2008) pode servir como indicativo de contaminação da água subterrânea por atividade humana (fossas, esgotos, lixões).

Em relação ao nitrato, Foster & Hirata (1988) estimam que cada habitante produza anualmente 4kg, o que para o município totaliza anualmente 10.022.228kg lançados no solo.

A carga de efluentes gerados pela disposição da urina é de aproximadamente 0,967 L/hab/dia (DACACH, 1979) totalizando um volume de 884.348 m³/ano.

6.2 FONTES DIFUSAS DE CONTAMINAÇÃO

A poluição difusa é formada em área urbana ou rural a partir de diversos geradores de resíduos sólidos e de sedimentos. Nas cidades, a origem da poluição difusa pode ser de veículos, de animais, de casas, do escoamento das águas pluviais entre outras. Porto (1995) e Tomaz (2006; 2007) argumentam que a poluição difusa é complexa e provém de diversas fontes, tais como freios de automóveis, resíduos de pneus, resíduos de pinturas em geral, fezes de animais, resíduos de ferro, zinco, cobre e alumínio de materiais de construção, deposição seca e úmida de particulados de hidrocarbonetos, restos de vegetação, derramamentos, erosão fuligem, poeira, enxofre, metais, pesticidas, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos silicatos, cinzas, compostos químicos e resíduos sólidos, entre outros.

A poluição difusa concentra-se quase que totalmente próximos à guia e sarjetas, ou seja, 80% a 15 cm e 95% a 1 m (NOVOTNY e CHESTERS, 1981 *apud* PORTO, 1995). A maior parte dos resíduos é originada pelo sistema de transporte, ou seja, uma rua de um bairro tem menos resíduos que uma grande avenida. Então, quanto maior a porcentagem de ocupação do solo, maior será a quantidade de viagens e maior será a produção de resíduos (TOMAZ, 2006).

No município de Fortaleza observa-se que a poluição difusa está tão ou mais presente que a poluição pontual, porém sua identificação e percepção são demasiadamente menores, por serem distribuídas em todo o contexto urbano. As dispersões destes resíduos causam a falsa impressão que o evento e os problemas advindos dela estão minimizados. Mas é inegável que os efeitos danosos tornam-se cada vez mais frequentes e são intensificados de maneira progressiva.

A poluição gerada pelo escoamento superficial da água em zonas urbanas é dita de origem difusa, uma vez que provém de atividades que depositam poluentes de forma esparsa, sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica. A fonte da poluição difusa é caracterizada por cinco condições:

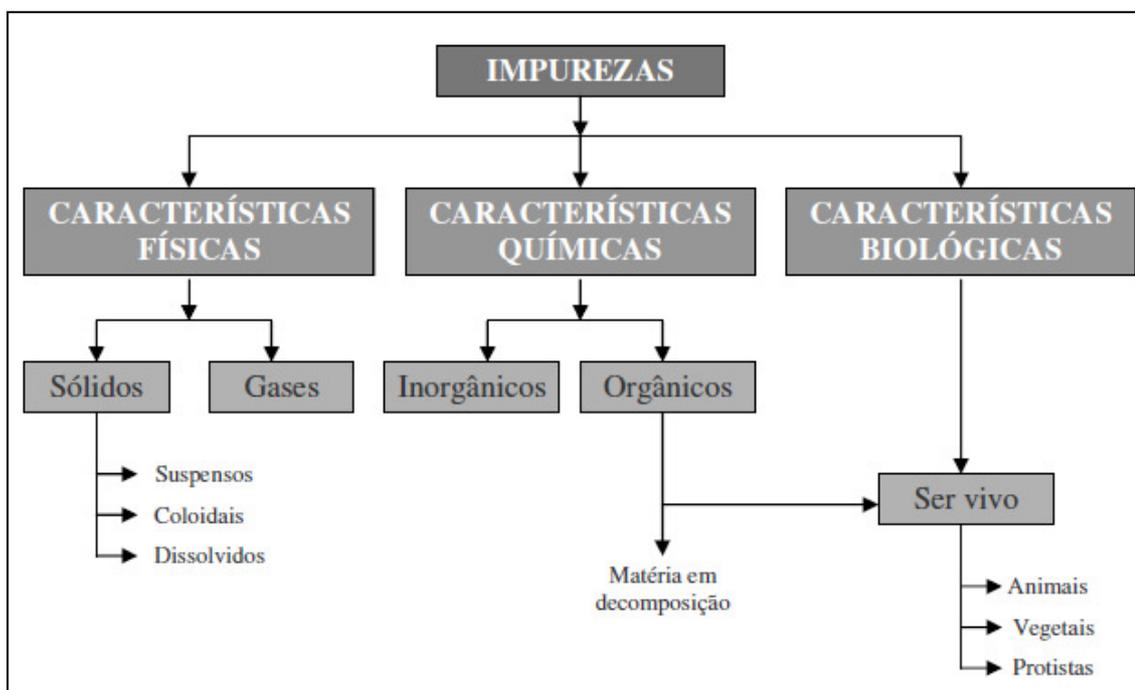
- Lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação.
- Os poluentes são transportados a partir de extensas áreas.
- As cargas poluidoras não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque não é possível identificar a sua origem.
- O controle de poluição difusa, obrigatoriamente, deve incluir ações sobre a área geradora de poluição, ao invés de incluir apenas, o controle do efluente quando do lançamento.
- É difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e duração do evento meteorológico, a extensão da área de produção e outros fatores que tornam a correlação vazão x carga poluidora praticamente.

Como principais poluentes associados à PD em meios urbanos pode-se enumerar: sedimentos, sólidos flutuantes, carência de oxigênio, nutrientes, metais pesados, óleos e gorduras, microbiologia, outras substâncias tóxicas. Os metais pesados e as substâncias tóxicas são um dos problemas que mais pode afetar o meio aquático devido à sua toxicidade, persistência e capacidade de bioacumulação. Estes poluentes são facilmente arrastados nos sedimentos devido à sua facilidade de ligação por fenômenos de adsorção, esta aumenta com a superfície específica dos sedimentos.

CAPÍTULO 7 - HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água é uma substância quimicamente muito ativa, conhecida como solvente universal por sua grande capacidade de dissolver e reagir com outras substâncias, orgânicas e inorgânicas. A água subterrânea, portanto, é uma resultante de constituintes naturais provenientes do contato da água com várias camadas de rochas ao longo do tempo. Estes constituintes que ocorrem naturalmente podem afetar o sabor da água, seu uso para propósitos particulares e à saúde humana, se utilizado para beber ou cozinhar no preparo de alimentos (MESTRINHO, 2005). Sua composição química está relacionada com sua circulação regional e com seu tempo de residência dentro do aquífero (RODRIGUES; D'URSO, 2005).

A água subterrânea sofre inúmeras reações com as formações geológicas e com a atmosfera, e agrega uma determinada quantidade de sais minerais, principalmente os mais solúveis encontrados no aquífero além de outras impurezas (Figura 7.1). Essas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas, além da facilidade de dissolver gás carbônico (CO₂) e a presença de ácidos orgânicos e inorgânicos ao percolar o solo não saturado (SANTOS, 2000; MESTRINHO, 2005). Uma vez que nas águas subterrâneas ocorrem em associação com solos e rochas contendo minerais solúveis, espera-se encontrar maiores concentrações de sais dissolvidos nestes, se comparadas as águas superficiais (CHILTON, 1996).



Fonte: Adaptado de MESTRINHO 2005

Figura 7.1 - Impurezas encontradas nas águas

Os estudos hidrogeoquímicos têm por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas, procurando estabelecer relações com o meio físico (SANTOS, 2000). Pela quantificação dos constituintes físico-químicos é possível observar a qualidade e distribuição das águas, a origem da águas, os fenômenos como a intrusão salina, bem como os prováveis tipos de rochas através do qual a rochas circula (SANSORES, *et.al.*, 2002). O conjunto destes constituintes permite estabelecer padrões de qualidade, valores de referências e classificações, limitando inclusive a sua utilização para um determinado fim.

Um pré-requisito nos estudos de hidrogeoquímica é o entendimento dos processos que ocorrem associados às águas naturais e aos problemas de contaminação (MESTRINHO, 2005), pois a água poluída promove mudanças do estado físico e químico, retardando a circulação ou mesmo removendo do sistema. Por isso é que os capítulos 4 e 5 tratam sobre

dois temas que contribuem nessas mudanças das águas: as potenciais fontes de poluição e uso e ocupação do meio físico no município de Fortaleza.

7.1 COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Há cinco décadas atrás, Schöeller (1962) mostrava que a partir das solubilizações primárias, em geral, obtém-se os seguintes comportamentos químicos:

➤ Somente os íons **Na⁺**, **Ca²⁺** e **Mg²⁺** são transportados pelas águas, liberados dos silicatos durante a alteração. O **K⁺** é retido por adsorção.

➤ Certa quantidade de **SiO₂** sob forma de íons de **SiO₃²⁻** ou **H₄SiO₄** pode estar presente na solução com pH maior que 5.

➤ O **Al₃⁺** com pH < 5 e pH > 7,5 pode estar em solução em quantidades muito reduzidas, porque grande parte de alumínio e sílica é fixada para formação das argilas.

➤ O **Fe²⁺** também está presente em pequenas quantidades, o restante precipita sob a forma de hidróxidos.

➤ O **SO₄²⁺** se forma com a oxidação de pirita e outros sulfetos.

➤ O **Cl⁻** pode provir da biotita, muscovita, hornblenda, apatita e será menor que a concentração de **Na⁺** e **K⁺**.

➤ A grande parte dos ânions será **HCO₃⁻**, **CO₃²⁻** proveniente de **CO₂** dissolvido que por sua vez provém de grande parte do solo.

A composição físico-química (mineralização) das águas subterrâneas depende, inicialmente, da composição das águas de recarga (pluviometria, águas superficiais) e, em seguida, de sua evolução química, influenciada diretamente

pela interação água-rocha representada pela percolação da água através dos poros e/ou fraturas das camadas geológicas.

Considerando-se a interação água-solo-rocha, a concentração dos sais em solução depende de seu pH, da estabilidade e solubilidade dos minerais que constituem a fase sólida (solo-rocha), do tempo de resistência e das taxas de reação (APPELO; POSTMA, 2006 *apud* CASTRO, 2011).

Segundo Hem (1985), a composição química da água natural é derivada de diferentes fontes, incluindo gases e aerossóis da atmosfera, intemperismo e erosão de rochas e solos, precipitação e atividades humanas. A composição química das rochas, do oceano e da atmosfera são fontes significativas para avaliação da água natural. Atualmente, mais do que nunca, o uso e ocupação do solo influenciam decisivamente na composição das águas subterrâneas.

As composições químicas das águas subterrâneas sofrem modificações, sobretudo por dois tipos de reações hidroquímicas: a dissolução da superfície das rochas e a precipitação.

Os minerais mais importantes, em contato com as águas naturais durante estes processos, são: Calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), Magnesita (MgCO_3), halita (NaCl), anidrita (CaSO_4) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Logo, os íons predominantes nas águas naturais são Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} e HCO_3^- que refletem a composição das rochas com as quais estão em contato.

O pH pode sofrer variações se novas substâncias dissolvidas na água reagirem com os íons H^+ e OH^- . Assim, o pH aumenta se há reações com íons H^+ e diminui se há reações com íons OH^- . Por causa da concentração iônica das águas, o pH se encontra na faixa de 1 a 14 e é classificado em: pH < 7 (água ácida); pH = 7 (água neutra), e; pH > 7

(água básica), onde o valor do pH determina a solubilidade de muitos solutos. Somente alguns íons como cloreto, potássio e nitrato sofrem poucas variações de solubilidade em toda a faixa de pH (FENZI, 1988).

O Eh (potencial de oxirredução ou potencial redox) determina a característica do ambiente, se redutor ou oxidante, controlando processos químicos que ocorrem na natureza (geoquímica). A solubilidade de vários elementos (Fe, Mn, Cu etc.) depende de seus estados de oxidação, definidos pelo Eh e o pH do solvente (FENZI, *op.Cit.*).

As reações de oxidação-redução ou de redox acontecem pela transferência de elétrons entre reagentes e produtos, e muitas são catalisadas por micro-organismos (bactérias) e determinam a natureza das espécies químicas nas águas. Em geral, o Eh das águas naturais é mais positivo em um meio oxidante e negativo no redutor (MESTRINHO, 2008) (Tabela 7.1).

A concentração de ferro na água subterrânea indica uma condição de redox diferente do aquífero na água que contém nitrato. Mudanças das condições de Eh e pH afetam a solubilidade e, por consequência, a mobilidade de muitos metais. Quando o pH está na faixa de 5 a 9, o hidróxido de ferro predomina mas, as águas mais profundas (baixo Eh), contêm Fe^{2+} solúvel. Quando estas águas são expostas ao oxigênio atmosférico, precipita $Fe(OH)^3$. Em águas subterrâneas, o Fe^{3+} somente está presente nas águas naturais muito ácidas, geralmente com $pH < 3$, que são raras (MESTRINHO, 2008).

Tabela 7.1 - Exemplos das formas oxidadas e reduzidas de elementos importantes nas águas

Elemento	Formas Oxidadas	Formas Reduzidas
Carbono	CO ₂ ; HCO ₃ ⁻	CH ₄
Nitrogênio	NO ₃ ⁻	N ₂ ; NH ₄ ⁺
Enxofre	SO ₄ ²⁻	H ₂ S; S ²⁻
Ferro	Fe ³⁺ ; Fe (OH) ₃	Fe ²⁺ ; FeS
Cromo	Cr ⁶⁺ ; (CrO ₄ ²⁻ ; Cr ₂ O ₇ ²⁻)	Cr ³⁺ ; Cr (OH) ₃
Manganês	Mn ⁴⁺	Mn ²⁺

Fonte: Mestrinho (2008) *apud* GOMES 2013.

O ferro está presente em baixas concentrações (abaixo de 0,3 mg/L) em quase todas as águas subterrâneas e ocorre sob diversas formas químicas. Suas fontes são minerais ferro-magnesianos (máficos) portadores de Fe, tais como a magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios. Em virtude de afinidades geoquímicas, quase sempre é acompanhado pelo manganês. O ferro no estado ferroso (Fe²⁺) forma composto solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes, o Fe²⁺ passa a Fe³⁺ dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita causando uma coloração avermelhada à água, comumente designada de "capa rosa". Desta forma, águas com elevada concentração de ferro ao saírem do poço são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam amareladas, o que lhes conferem uma aparência nada agradável, inúmeras vezes deixando a água com caráter de "poluição estética".

Na condutividade elétrica (CE) quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior ela será. Este número vai depender da concentração total das substâncias dissolvidas e ionizadas e da temperatura na qual a medida é realizada. Segundo Fernandes (2003), a CE é considerada como um bom critério na avaliação do grau de mineralização da água, contribuindo para o estudo do efeito de diversos

íons sobre o equilíbrio químico, sobre o sistema fisiológico das plantas e animais e sobre a taxa de corrosão, além de servir para verificar o grau de pureza das águas destiladas e deionizadas.

O cálcio e magnésio estão presentes na água, principalmente nas formas de bicarbonatos de cálcio e de magnésio e sulfatos de cálcio e de magnésio. Em geral, usa-se o teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio, para definir a dureza.

A alcalinidade é uma das determinações mais importantes no controle da água, estando relacionada com a coagulação, redução da dureza e prevenção da corrosão nas canalizações de ferro fundido da rede de distribuição. Os altos níveis de alcalinidade indicam a presença de efluentes industriais fortemente alcalinos. Em águas poluídas em estado anaeróbico, pode haver formação de sais de ácido acético, ácido propiônico e sulfeto de hidrogênio (H_2S) (PINA, 2012).

As fontes de alcalinidade nas águas naturais originam-se do dióxido de carbono (CO_2) dissolvido, proveniente da atmosfera ou de processos de decomposição de material orgânico, e da interação deste com calcário ($CaCO_3$) e dolomita ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$).

A maioria dos íons bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) em águas subterrâneas são derivados do CO_2 na atmosfera e no solo, e de soluções de rochas carbonatadas. Águas Bicarbonatadas Sódicas podem ser concentradas nos solos produzidos por evaporação. Na presença de bastante cálcio, o bicarbonato é retirado da água através da precipitação de $CaCO_3$. Existe forte relação entre o pH da água e a concentração do gás carbônico, dos bicarbonatos e dos carbonatos (pH < 8,3, ausência de CO_3^{2-}). Outra relação

existente é com a dureza total (NETO, 1966 *apud* PINA, *op. Cit.*).

Segundo Logan (1965), o carbonato somente excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10. Em águas naturais doces, a quantidade de carbonato será muito baixa em comparação com a de bicarbonato.

O cálcio é considerado um dos elementos mais abundantes na maioria das águas e rochas, possuindo de moderada a elevada solubilidade, sendo comum precipitar como carbonato de cálcio (CaCO_3) e é o principal responsável pela dureza da água (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983).

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em geral, o acompanha. Diferentemente do cálcio, apresenta alta solubilidade em MgCO_3 , muito raro nas águas subterrâneas devido a sua escassez geoquímica. Ocorre na natureza como magnesita (MgCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) e como sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), facilmente solúvel em água. Em silicatos, o elemento ocorre mais frequentemente em serpentina ($\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$) e olivina ($\text{Mg,Fe}_2\text{SiO}_4$) (CUSTÓDIO, 1965).

Cloreto é o ânion inorgânico mais frequente nas águas, sendo bastante solúvel, estável em solução e de difícil precipitação, não sofrendo oxidação e nem redução em águas naturais (PINA, 2012). As altas concentrações de cloreto podem ser responsáveis pelo aumento gradativo de salinidade das águas subterrâneas e, conseqüentemente, pelo aumento de STD. As origens desse elemento podem estar vinculadas à influência das águas marinhas sobre as continentais, particularmente localizada em zona litorânea, ou à captação das águas subterrâneas no meio cristalino (CAVALCANTE, 1998).

O sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, estando presente em

todas elas, com predomínio de algumas características, como ampla distribuição nos minerais, baixa estabilidade química dos minerais que o contêm e alta solubilidade, e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução. Nas águas subterrâneas, a concentração de sódio varia entre 0,1 e 100 mg/L, havendo enriquecimento gradativo deste elemento a partir das zonas de recarga (SANTOS, 2008).

O potássio é um dos alcalinos que ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila ou, ainda, pelos vegetais.

O sulfato ocorre em sais moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio (SrSO_4) e os de bário (BaSO_4). Em água doce, o sulfato de cálcio (CaSO_4) satura a 1.500 mg/L e pode chegar até 7.200 mg/L em águas salinas. Em meio redutor, com abundante matéria orgânica pode sofrer uma redução bacteriana a S ou S^{-2} , porém, em geral, é estável. Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita) (SANTOS, *op. cit.*).

O Nitrogênio inorgânico pode existir no estado livre como gás, nitrito, nitrato e amônia. Com exceção de algumas ocorrências como sais evaporíticos, o nitrogênio e seus compostos não são encontrados nas rochas da crosta terrestre. O nitrogênio é continuamente reciclado pelas plantas e animais. Geralmente, nas águas subterrâneas, os nitratos ocorrem em teores abaixo de 5 mg/L. Nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitratos pelas bactérias. Pequeno teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente dos efluentes domésticos (PINA, 2012). Segundo a Portaria N° 2914 do

Ministério da Saúde de 12/12/2011, uma água não deve ter mais do que 10mg/L de N-NO_3^- .

O nitrato é muito solúvel e dificilmente precipita. Em meios redutores, tem a tendência de ser estável, podendo passar a N_2 (nitrito) ou NH_4^+ (amônia) e muito raramente para NO_3^- em meio oxidante. É muito móvel, podendo ser removido das camadas superiores do solo para a água (BOWER, 1978 *apud* SANTOS, 2000). Ocorre em geral em pequenas concentrações, representando o estágio final da oxidação da matéria orgânica proveniente de resíduos da atividade humana (esgotos sanitários, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais, etc.). Os resíduos de produtos protéicos provenientes de esgotos, fezes etc., são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitratos na presença de oxigênio, de acordo com o ciclo do nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato).

A oxidação do amoníaco (NH_3) para nitrito (NO_2^-) ocorre com a participação de bactérias do grupo nitrosomonas. A oxidação do nitrito (NO_2^-) para nitrato (NO_3^-) requer a participação de bactérias autótrofas do grupo nitrobactérias. A presença de nitrito (NO_2^-) na água subterrânea é um indicativo de poluição recente.

É possível avaliar o grau e a distância a uma fonte de poluição através das concentrações e das formas dos compostos nitrogenados presentes na água. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por descargas de esgotos próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio (SANTIAGO, 2007).

O silício (Si), embora seja o elemento mais largamente encontrado nas rochas, não ocorre em quantidade significativa nas águas subterrâneas. Aparece, frequentemente, sob a forma de partículas coloidais (SiO_4H_4) devido, principalmente, a sua alta estabilidade química na maioria dos minerais, além da baixa solubilidade dos compostos que forma a partir do intemperismo das rochas. A combinação do oxigênio com o silício forma o óxido chamado sílica (SiO_2).

7.2 RELAÇÕES IÔNICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Quando se analisa quimicamente uma amostra de água a tornamos como representativa do meio amostrado e a determinação das concentrações dos diversos íons ou substâncias presentes na solução geram um conjunto de resultados que, interpretados, passam a caracterizar a água daquele meio. Assim, as relações iônicas podem ser utilizadas para descrever as interações destas águas com o meio (MESTRINHO, 2005).

As razões iônicas são relações entre os íons dissolvidos na água que podem indicar o grau de relacionamento da água com o tipo de material percolado.

As informações sobre a tipologia química da água junto às relações iônicas (meq/L) têm sido usadas para confirmar a análise química e auxiliar na dedução da rocha original. As reações químicas podem também ser deduzidas quando os dados são representativos de aquíferos homogêneos, com composição mineralógica conhecida (MESTRINHO, 2008).

Custódio e Llamas (1983) descreveram que as razões iônicas mais frequentes em estudos hidrogeoquímicos são as de $r\text{Mg}^{+2}/r\text{Ca}^{+2}$ e $r\text{K}^+/r\text{Na}^+$, onde $r = \text{meq/L}$.

A razão $r\text{Mg}^{+2} / r\text{Ca}^{+2}$ em águas continentais, em geral, apresenta valores que variam de 0,3 a 1,5 meq/L. Quando os

valores são próximos de 1,0, há influência de terrenos dolomíticos, e quando os valores são superiores a 1,0, podem indicar a associação de silicatos magnesianos, como a mineralogia dos basaltos. Quando ocorre a precipitação de carbonato de cálcio, há um aumento na razão iônica e o inverso ocorre em caso de dissolução da calcita (BARISON, 2003).

O cálcio variou de 0,78 (setor oeste) a 75 mg/L (setor sul), enquanto o magnésio variou de 4 a 53 mg/L, ambos na porção norte da área.

Na razão rK^+/rNa^+ , Santos (2008) explica que devido a fixação preferencial de K^+ no terreno, esta razão é menor na água que na rocha mãe e é tanto menor quanto mais concentrada em sais é a água. Se existem aportes artificiais de K^+ , pode-se seguir sua diminuição no sentido do fluxo (CUSTÓDIO, 1965 in GOMES 2013).

A relação $rCl / rHCO_3^-$ varia de 0,01 a 0,397 na faixa geralmente encontrada para águas continentais (CUSTÓDIO, 1965 *apud* GOMES 2013). Como o conteúdo em HCO_3^- é relativamente constante nas águas subterrâneas, essa razão presta-se para mapear o processo de concentração de sais no sentido do fluxo subterrâneo. Ainda que essa concentração faça crescer ligeiramente o denominador, um aumento na razão $rCl / rHCO_3^-$ indica um avanço no processo de concentração. Se existem fenômenos de redução de sulfatos ou aportes exteriores de CO_2 , pode haver aumento de HCO_3^- e, neste caso, não convém utilizar esta razão (SANTOS 2008 in GOMES 2013).

Segundo Szikszay (1993), quanto mais lenta a circulação, trajeto longo, tempo de contato grande e grande contato água/rocha, maior será a possibilidade de dissolução. Geralmente, a razão rSO_4/rCl diminui de montante a jusante, e a velocidade de dissolução é maior

para Cl^- que para SO_4^{2-} , porém, no terreno rico em SO_4^{2-} , a razão aumentará; rMg/rCa aumenta de montante para jusante. A solubilização de MgSO_4 , MgCl_2 é mais rápida que de CaSO_4 e de CaCO_3 , cessando no momento em que a água se torna saturada desses sais.

7.3 ANÁLISE DOS ÍONS MAIORES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A análise dos dados de hidroquímica foi realizada com 199 amostras de águas subterrâneas do período de 2005 a 2010, que fizeram parte de trabalhos desenvolvidos pelos estudantes do Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal do Ceará e 10 amostras de águas superficiais (lagoas) obtidas junto ao Instituto Federal do Ceará (IFCE) (ANEXO B).

Foram realizadas análises dos íons maiores como Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SO_4^{-2} , HCO_3^- , CO_3^{-2} , Cl^- e íons menores como NO_3^- e NH_3^+ , obtendo-se também parâmetros físicos de condutividade elétrica (C.E) e potencial hidrogênio-iônico (pH). A partir dos resultados, foi realizado o cálculo de erro da análise e posteriormente foram elaborados diagramas para classificação e caracterização hidroquímica das águas.

7.3.1 Balanço Iônico

As composições químicas de uma amostra de água são geralmente expressas em massa do íon por litro de água, ou seja, mg/L , o que impossibilita a visualização da sua composição química provável. Desta forma, a concentração do íon na amostra pode, também, ser expressa em miliequivalentes por litro (meq/L), que reconhece que os íons de diferentes tipos têm distintos pesos e cargas elétricas e quantifica a massa do íon disponível para combinação ou reação. Resultados em meq/L , possibilitam a

representação gráfica da composição provável da água, além, de permitir uma maneira de checar os resultados obtidos, por meio de equivalência química das unidades de concentrações de todos os resultados obtidos, por meio da equivalência química das unidades de concentrações de todos os íons da amostra, considerando-se a água em equilíbrio, ou seja, o total dos meq/L de cátions igual ao total de meq/L de ânions (LIMA, 2003)

Nesta análise de equivalência química, geralmente ocorre um desvio percentual de igualdade do total de cátions e ânions, que corresponde ao erro percentual de análise (e%), expresso na equação abaixo (SANTOS, 2000).

$$e\% = \left| \frac{r\epsilon_p - r\epsilon_n}{r\epsilon_p + r\epsilon_n} \right| \times 100 \quad (\text{Equação 7.1})$$

Onde: **rεp** é o valor absoluto do somatório de cátions (meq/L) e **rεn** é o valor absoluto do somatório de ânions (meq/L).

As análises podem ser consideradas corretas para um e% ≤ 10% e erros maiores podem ter origem analítica ou de cálculo, ou representa águas muito pouco mineralizadas, ou ainda, indicar a presença de certos íons não quantificados.

7.3.2 Caracterização Hidroquímica através do Diagrama de Piper

Reforçando o conhecimento sobre o quimismo das águas subterrâneas da área, foi utilizada também a classificação química da água e as relações iônicas associadas aos aquíferos que está intrinsecamente correlacionado com o Diagrama de Piper (Figura 7.2), onde verifica-se uma diferenciação entre as águas subterrâneas e superficiais.

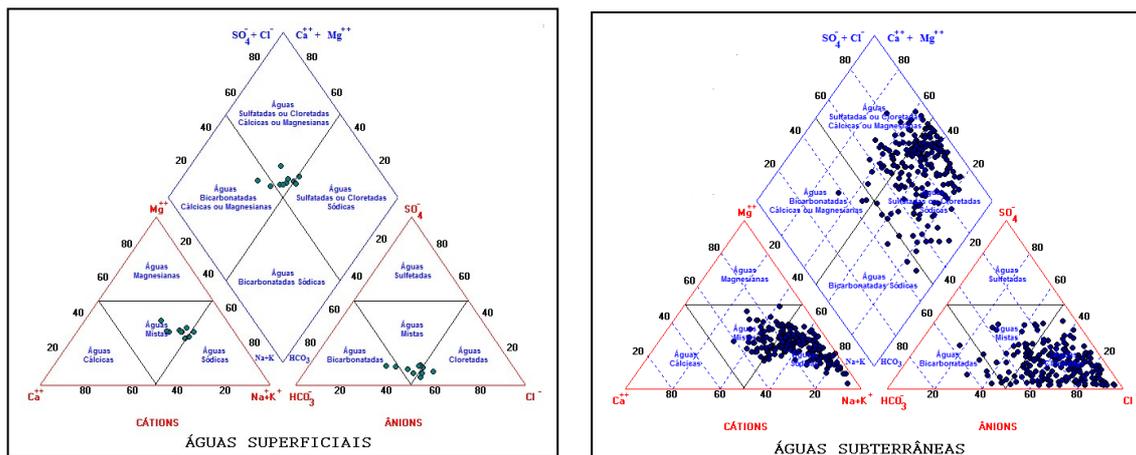


Figura 7.2 - Classificação Iônica através do Diagrama de Piper

De acordo com o quimismo das águas, pode-se afirmar que os aquíferos de Fortaleza são caracterizados por águas Cloretadas Sódicas, independente do período de amostragem, tendo predominância igual ou superior a 50% do ânion cloreto (Cl^-) sobre os demais. Esta predominância está relacionada às águas marinhas e à evaporação, que favorece a concentração do cloreto nas águas subterrâneas, favorecida pela proximidade da área de pesquisa ao Oceano Atlântico, inserida na faixa costeira. A concentração do cloreto é devida suas propriedades químicas, como alta solubilidade, baixa precipitação e raio iônico

Observa-se que nas águas subterrâneas entre os ânions ocorre uma predominância de cloretos, enquanto que nas águas superficiais, as águas são do tipo Mistas com tendência para Bicarbonatadas. A atividade biogênica no solo produz CO_2 que em interação com as águas superficiais elevam o teor de HCO_3^- e CO_3^{2-} .

Quanto aos cátions as águas subterrâneas são Sódicas ou Mistas (Cálcica ou Magnésiana), já as águas superficiais são predominantemente Mistas.

7.4 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA SIMPLIFICADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Neste item são abordados pH, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Dureza, Bicarbonatos, Cloreto e Nitrato das águas subterrâneas de Fortaleza.

7.4.1 pH

Conforme os dados laboratoriais (ANEXO B), as águas subterrâneas do município de Fortaleza são caracterizadas pela predominância de águas ácidas (82%).

No caso das águas subterrâneas, a medida do pH como variável ambiental pode ser avaliada em função do pH das águas das chuvas, que efetivamente contribuem para a recarga dos aquíferos. Neste sentido, em áreas industrializadas e urbanizadas o pH das águas de chuva variam frequentemente entre 3 e 4 (FREEZE; CHERRY, 1979 *apud* FERNANDES, 2005, p.16). Sendo assim, as águas subterrâneas com valores de pH dentro de uma faixa de variação entre 5 e 6 são águas recentes, oriundas provavelmente da infiltração das águas das chuvas.

O equilíbrio de oxirredução é influenciado na água pela possibilidade de entrada de O_2 do ar ou cargas iônicas provenientes de Fe^{3+} , Mn^{3+} , SO_4^{2-} , H^+ , e consumo de O_2 pelas substâncias redutoras, como matéria orgânica, Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , H^2 e OH^- (SCHOELLER, 1962).

A principal razão dos valores de pH da água serem baixos (inferior a 6) é a quantidade significativa de minerais de argila que pode dissolver e liberar sílica e alumínio anormalmente alta para a água (HOUNSLOW, 1995 *in* GOMES 2013).

Valores mais elevados de pH geralmente se encontram em águas com predominância dos íons Na^+ e Ca^{++} ou em águas ricas em bicarbonatos. As águas poluídas geralmente são bastante ácidas.

Além da alcalinidade, o pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido (CO_2) e dos ácidos orgânicos disponíveis nos solos de Fortaleza aumentam a acidez das águas subterrâneas e a capacidade de dissolver Fe e Mg.

Os valores de pH determinados em laboratórios são normalmente diferentes dos medidos em campo por causa das fugas de gases, oxidações e/ou reduções e variações de temperaturas a que estão sujeitas as amostras de águas durante a sua coleta, armazenamento e transporte.

A partir do resultado das 199 análises físico-químicas observa-se que os valores de pH oscilaram entre 4,46 a 8,13 onde 82% apresentam um caráter ácido e 18% um caráter básico não tendo nenhuma amostra que reflita o caráter absolutamente neutro (Figura 7.3). O valor médio do pH é de 6,23 revelando um caráter ácido das águas subterrâneas da área.

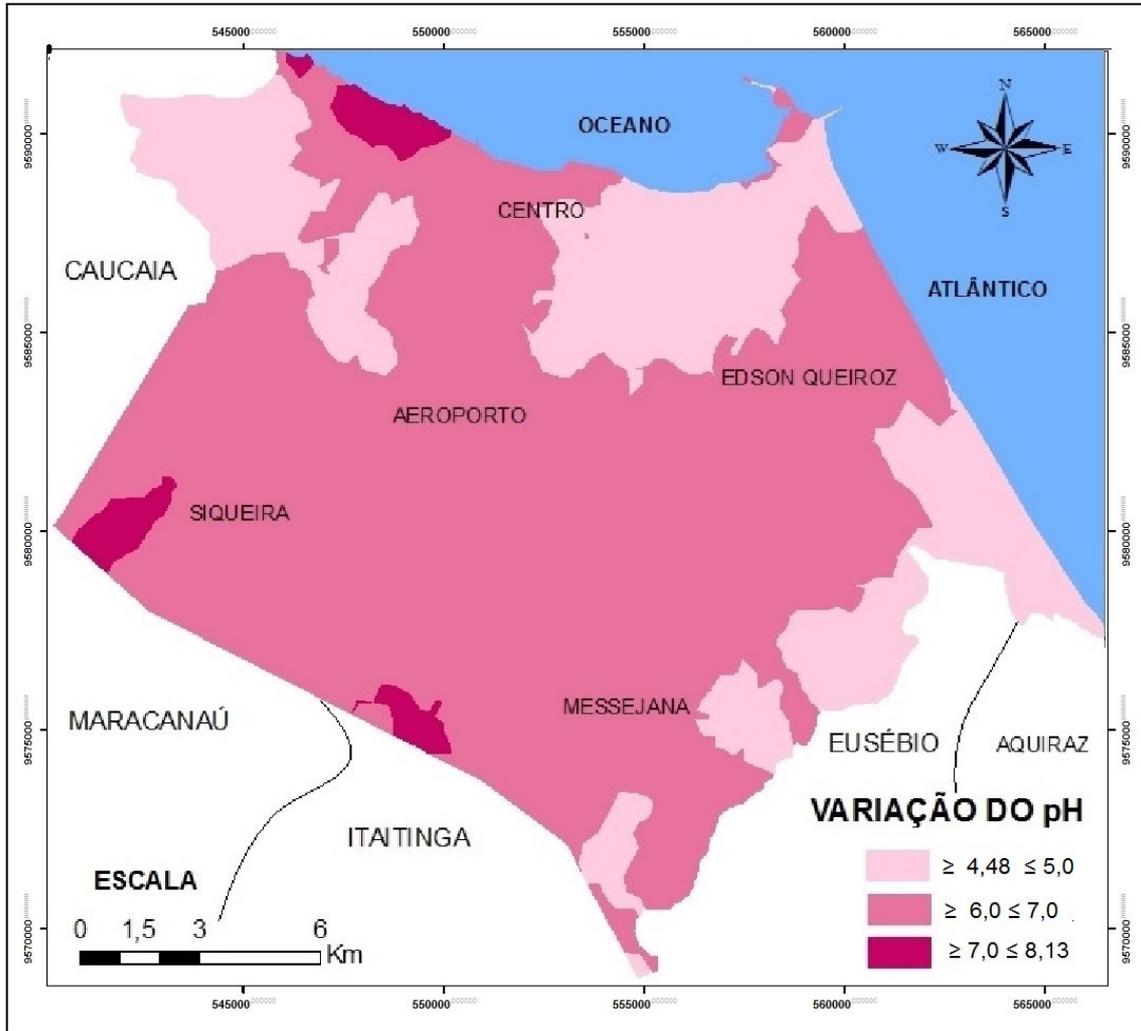


Figura 7.3 - Distribuição dos valores de pH nas águas subterrâneas no município de Fortaleza.

7.4.2 Condutividade Elétrica (C.E) nas Águas Subterrâneas

A condutividade elétrica (CE), de um modo geral, reflete a capacidade da água corrente elétrica. Esta propriedade pode ser um parâmetro relativo para compará-la a quantidade de sais presentes. Águas subterrâneas com condutividade elétrica elevada possuem também maiores quantidade de sais (cátions e ânions). A unidade usual para expressar este parâmetro é o micro-Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

De acordo com o histograma apresentado na Figura 7.4, o valor de condutividade elétrica varia de 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 3450

$\mu\text{S}/\text{cm}$ com média de $634 \mu\text{S}/\text{cm}$ para as águas subterrâneas em Fortaleza. Do total de 199 amostras, 39% apresentam variação de 300 a $600 \mu\text{S}/\text{cm}$, 33% valores de 600 a $900 \mu\text{S}/\text{cm}$ e 13% com valores de 100 a $300 \mu\text{S}/\text{cm}$. Os maiores valores totalizam 15% com máximo de $3450 \mu\text{S}/\text{cm}$.

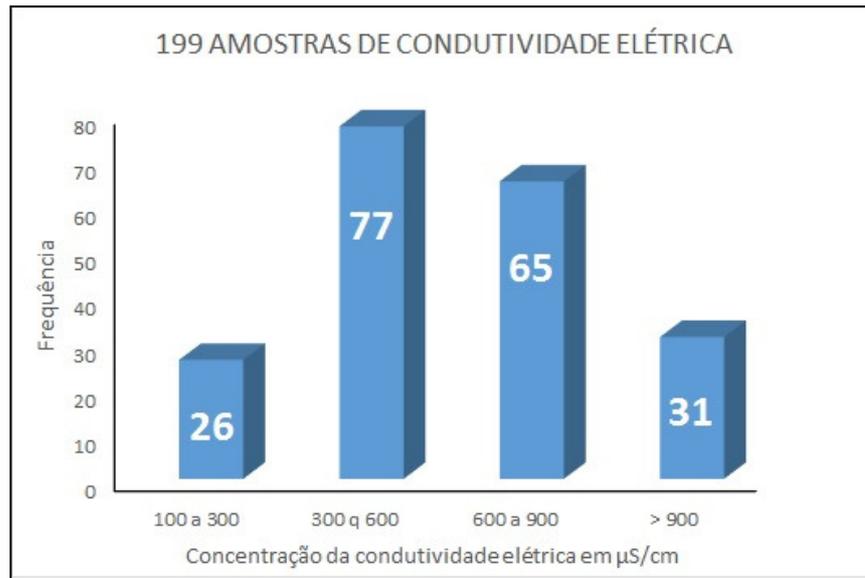


Figura 7.4 - Histograma de Condutividade Elétrica nas águas subterrâneas

A partir da análise da Figura 7.5, observa-se que os maiores valores de condutividade elétrica encontram-se na porção sudoeste do município onde está localizada a Bacia do rio Maranguapinho, onde o rio se torna perenizado pela estação de tratamento de esgotos do Distrito Industrial do município de Maracanaú. O solo típico desta área é do tipo Neossolo Flúvico com predomínio de uma vegetação de carnaubeiras, típica de solos salinos. Nos bairros que compõem esta área, o serviço de saneamento básico é precário pois, apenas 10% dos imóveis estão ligados a rede de saneamento isto faz com que os demais imóveis se utilizem de fossas sépticas, lançando diretamente no solo os esgotos domésticos.

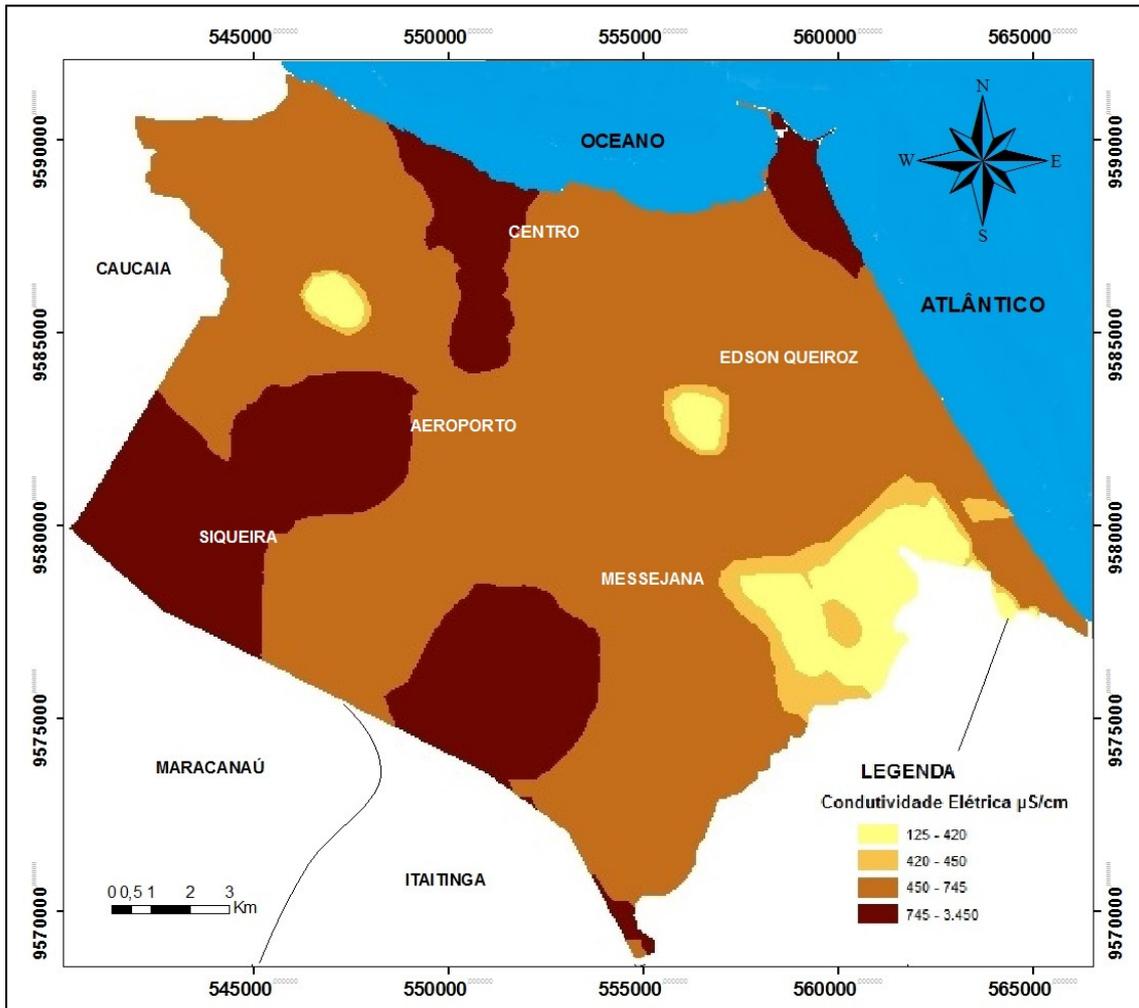


Figura 7.5 - Distribuição dos valores de Condutividade Elétrica (C.E) nas águas subterrâneas.

7.4.3 Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas Águas Subterrâneas

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) são definidos como o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representam a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil e possuem uma estreita relação com a condutividade elétrica.

Os valores de STD nas águas subterrâneas da área estudada variaram de 88 a 1508 mg/L. Segundo a Portaria nº2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde o valor máximo tolerável de STD é de 1.000 mg/L.

De acordo com a classificação de SANTOS (2000, *apud* Feitosa & Manoel Filho, 2000), de um total de 199 poços com dados de STD 76% das amostras de águas subterrâneas da área podem ser classificadas como de baixa a média salinidade, uma vez que alcançaram valores abaixo ou igual de 500 mg/L de STD. A menor parte das amostras (24%) apresenta valores de STD superior a 500 mg/L, sendo classificadas como águas de média a alta salinidade (Figura 7.6).

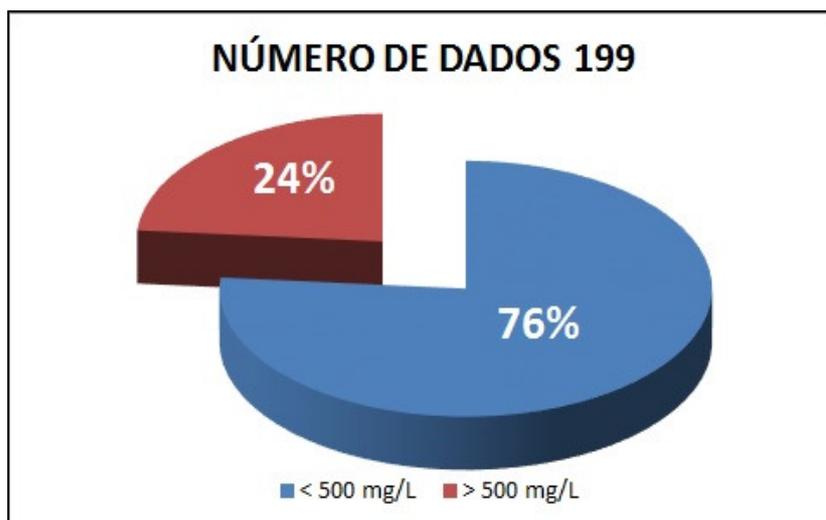


Figura 7.6 - Dados de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas.

A representação da variação dos valores de STD pode ser visualizada na Figura 7.7. A figura mostra uma maior concentração de STD na porção sudoeste da área de estudo, exatamente na zona onde existe a bacia do rio Maranguapinho, que neste trecho o rio é perenizado artificialmente pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da CAGECE do município de Maracanaú e onde afloram rochas do Sistema Cristalino.

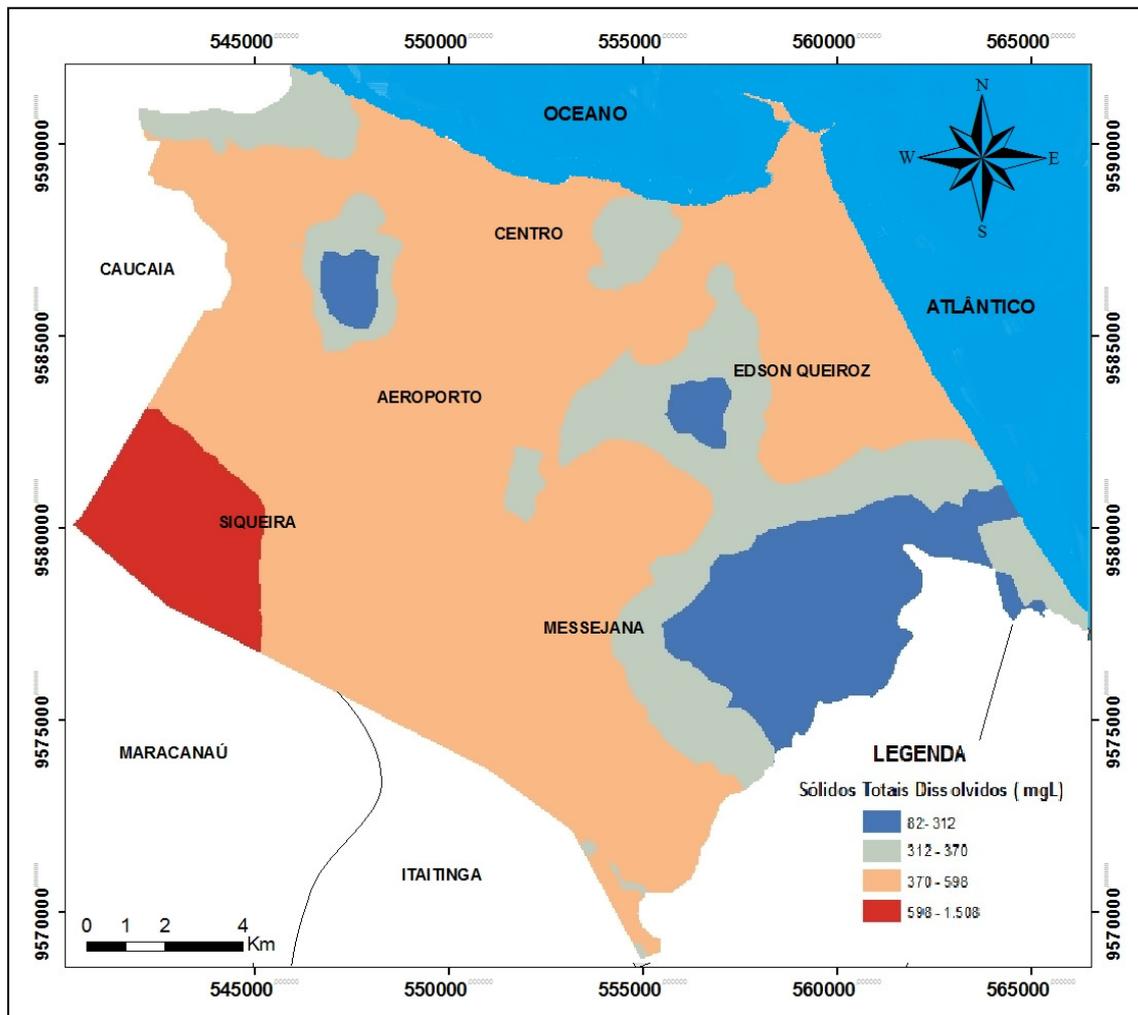


Figura 7.7 - Distribuição dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas.

Segundo Cavalcante (1998), para o sistema cristalino é comum valor de concentrações de STD variando de 500 a 2.000 mg/L, em consequência da elevada concentração de cloretos presentes nas águas que percolam as rochas desse sistema. Na área de estudo as águas que apresentam concentrações elevadas de sais, provavelmente, são aquelas captadas a partir, de fraturas interconectadas com zonas de recarga associada às águas superficiais salinizadas.

7.4.4 Dureza Total (CaCO_3)

As águas analisadas são consideradas “duras”, com predominância de 83 amostras (42%) no período de chuva e estiagem (Figura 7.8), respectivamente, refletindo, assim, os sais em contato com as águas, podendo ser o Carbonato de Cálcio (CaCO_3).

As amostras “duras” são consideradas incrustantes e consomem muito sabão, além de dificultar o cozimento dos alimentos.

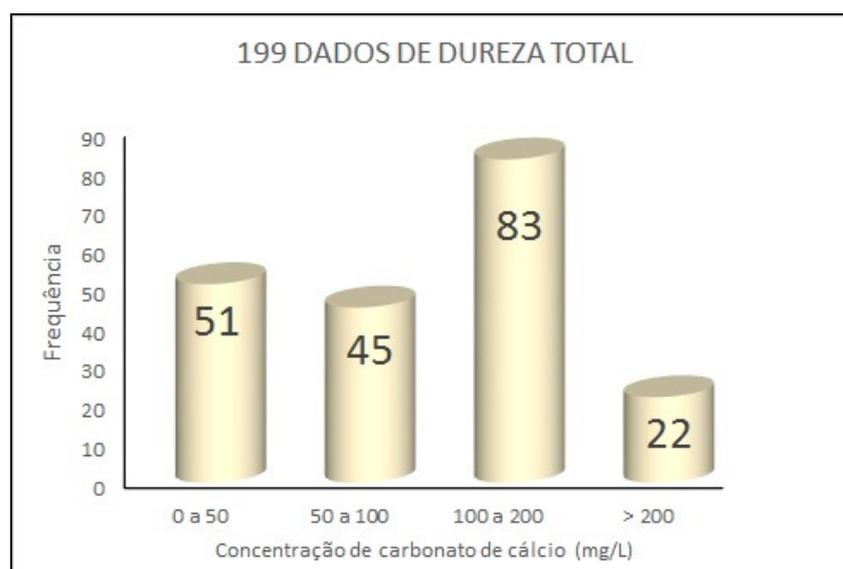


Figura 7.8 - Histograma de Classificação das águas subterrâneas segundo a dureza.

7.4.5 Bicarbonatos (HCO_3^-)

Em águas que contêm elevadas concentrações de íons de bicarbonato (Figura 7.9), há tendência para a precipitação do cálcio e do magnésio sob a forma de carbonatos reduzindo, então, a concentração de cálcio e magnésio na solução do solo e, conseqüentemente, aumentando a proporção de sódio. Os menores valores de bicarbonato indicam áreas de recarga e crescem de acordo com o sentido do fluxo subterrâneo (SILVA; BONOTTO, 2006).

Ressalta-se que não se tem valores das concentrações de carbonato para as águas subterrâneas da área pesquisada, podendo ser resultado direto do pH da área.

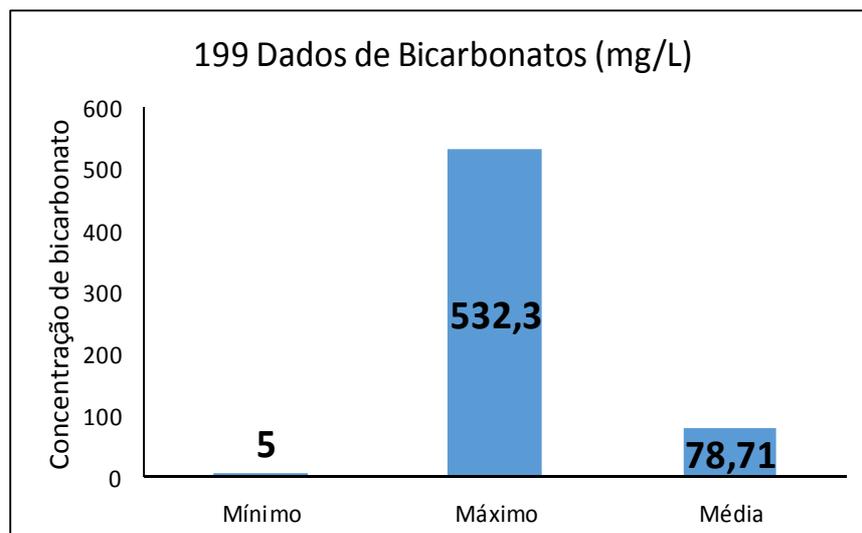


Figura 7.9 - Histograma da Concentração de Bicarbonato nas águas subterrâneas, Fortaleza - Ceará

7.4.6 Concentração do Cloreto nas Águas Subterrâneas

O elemento cloreto (Cl) possui alta solubilidade, com o lento movimento das águas subterrâneas, promove aumentos gradativos e constantes nos seus teores na direção do fluxo subterrâneo. São os íons mais móveis e estáveis das águas subterrâneas (AUGE *et al.*, 2004), por não serem retidos e nem sofrerem reações com a fase sólida dos corpos armazenadores de águas subterrâneas. Estes também não interferem nos processos de intercâmbio iônico como oxidação e redução. Praticamente, não são afetados por trocas de pH e em decorrência da sua elevada solubilidade, precipita somente em concentrações superiores a 300 g/L, superiores aos valores das águas dos oceanos, que é de aproximadamente 30 g/L.

Dispondo destas propriedades é possível utilizá-los como traçadores naturais ou artificiais, para quantificar a dinâmica de fluxo, o índice de infiltração, e o intercâmbio iônico.

O cloro forma composto muito solúvel e tende a enriquecer, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas. Teores anômalos são indicadores de contaminação por água do mar, ou por aterros sanitários. Segundo Ministério da Saúde, em sua portaria nº2914, de 12 de dezembro de 2011, o valor máximo recomendável de cloro na água destinada ao consumo humano é de 250 mg/L.

O tratamento estatístico de amostras analisadas, revela que os valores obtidos na área em relação a concentração de cloretos, apresentam uma variação de 30 a 515mg/L, com média de 126,4mg/L. Foram utilizadas 199 análises de cloreto, e a partir do histograma (Figura 7.10) verifica-se a existência de uma maior quantidade de amostras no intervalo de 100 à 2000 mg/L, com 58%, seguido do intervalo de 0 a 100 mg/L, com 34%. As concentrações mais elevadas de cloreto são >200mg/L e representam 8%.

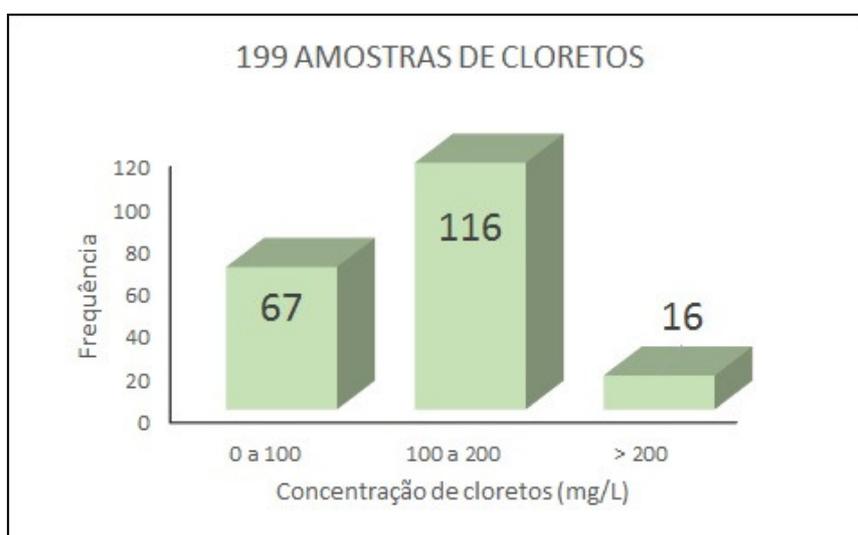


Figura 7.10 - Histograma de Cloretos nas águas subterrâneas

De acordo com mapa elaborado a partir dos dados de 199 amostras (Figura 7.11), verifica-se que a maior concentração de cloretos no município ocorre nas porções sudeste e sudoeste, estas são as porções do município onde

as águas subterrâneas predominantemente, estão inseridas no aquífero fissural, existe a maior concentração urbana, o menor serviço de saneamento dentro do município e a maior distribuição de fontes de poluição, podendo justificar os valores elevados de cloretos nas águas subterrâneas.

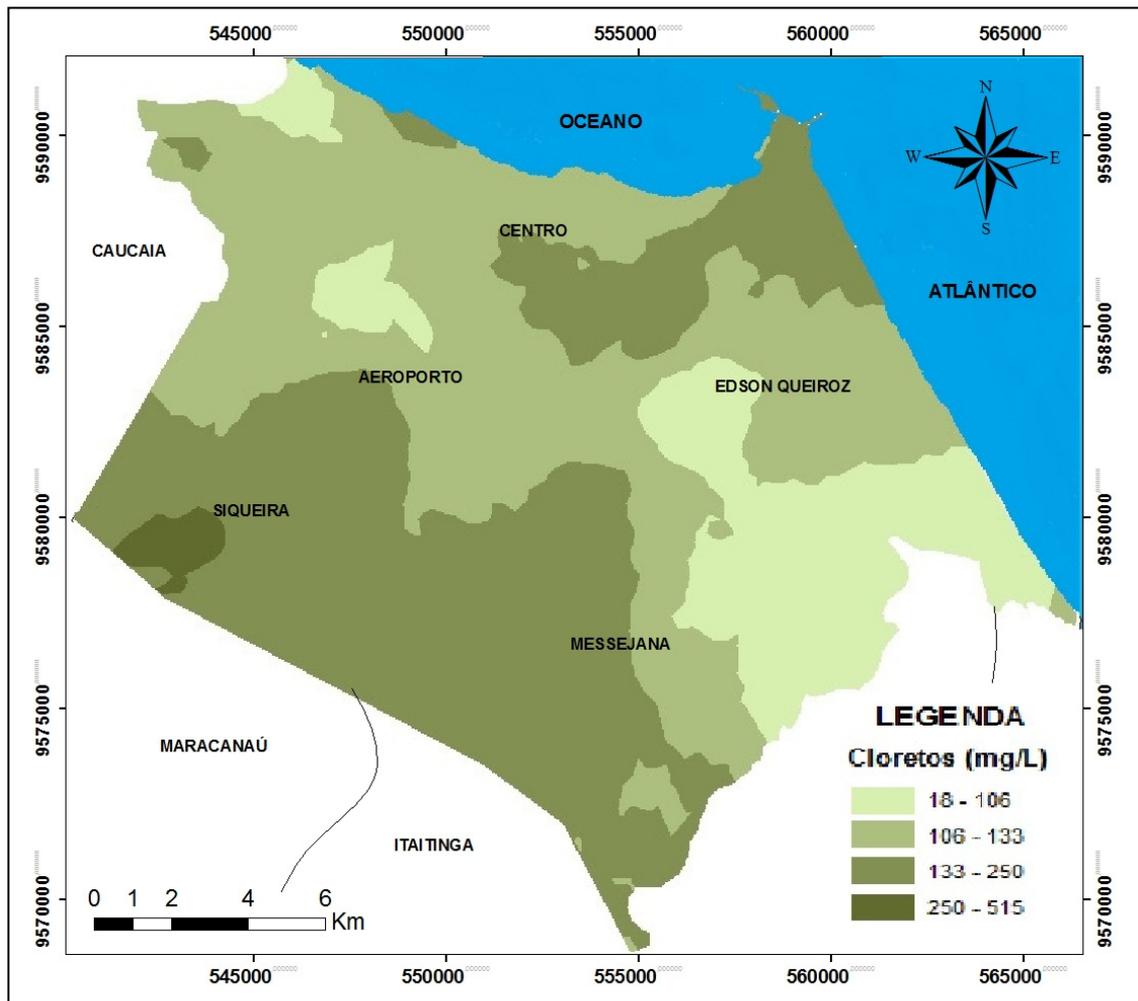
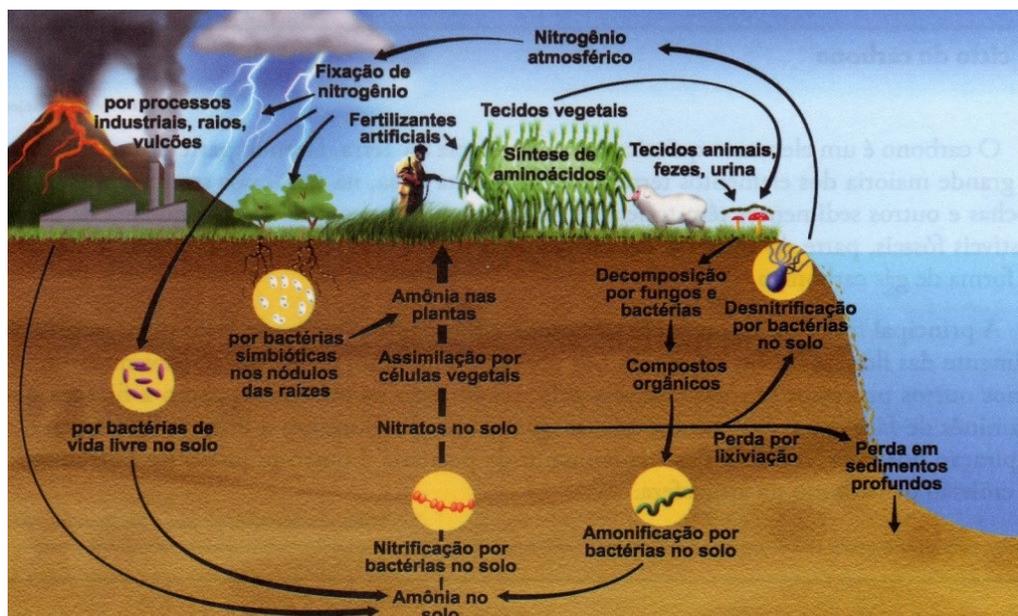


Figura 7.11 - Distribuição de Cloretos nas águas subterrâneas

7.4.7 Concentração de Nitrato nas Águas Subterrâneas

Em termos geoquímicos, esse íon não é proveniente de processos geológicos, e sim de atividades antrópicas (poluição) pois, segundo Santos (2008), geralmente os teores de nitrato nas águas subterrâneas naturais é de 0,1 a 10mg/L.

Dentre as substâncias que podem constituir risco para a saúde humana, incluem-se os compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação: nitrogênio amoniacal e albuminóide, nitrito e nitrato (Figura 7.12).



Fonte: <http://www.tabelaperiodicacompleta.com/wp-content/uploads/2013/05/ciclo-do-nitrogenio-1024x638.jpg> (visitado em 20/09/2013)

Figura 7.12 - Ciclo do nitrogênio

Os compostos nitrogenados como nitrito, nitrato, amônio e amônia (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), são indicadores de contaminação por fezes de origem animal ou humana, bem como, decomposição de matéria orgânica. Esta série nitrogenada permite estudar, muitas vezes, o processo de nitrificação que envolve a transformação do nitrogênio amoniacal em nitrato, através de duas reações sob a ação de bactérias amonificadoras (ESTEVES, 1998):



As bactérias nitrificantes capazes de fazer a oxidação do amônio (NH_4^+) para nitrito (NO_2^-) estão

reduzidas estritamente às nitrossomonas (nitrobacteriaceae, ordem pseudomonadales.

Na oxidação do nitrito a nitrato (reação 2) a nitrobacter é o principal gênero de bactérias envolvidas, mas estas possuem uma tolerância menor a baixas temperaturas e ao pH elevado.

Segundo o padrão de potabilidade do Ministério da Saúde, em sua portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011, uma água não deve ter mais do que 10 mg/L de $N-NO_3^-$, ou 45 mg/L de NO_3^- .

O pH da água determina o equilíbrio entre o amônio (NH_4^+) e o amoníaco (NH_3^+). Se o pH diminui produz (NH_4^+), caso contrário ocorre a produção de (NH_3^+) (FENZL,1986).

O histograma (Figura 7.13), com as 199 amostras de nitrato analisadas, apresenta uma variação de 0 a 47 mg/L ($N-NO_3^-$), com média de 10,4mg/L, sendo que 59% das amostras estão entre a classe de 0 a 10mg/L, 23% entre 10 a 20mg/L e 12% entre 20 a 30mg/L. As maiores concentrações representam 6% e o valor máximo é de 47mg/L.

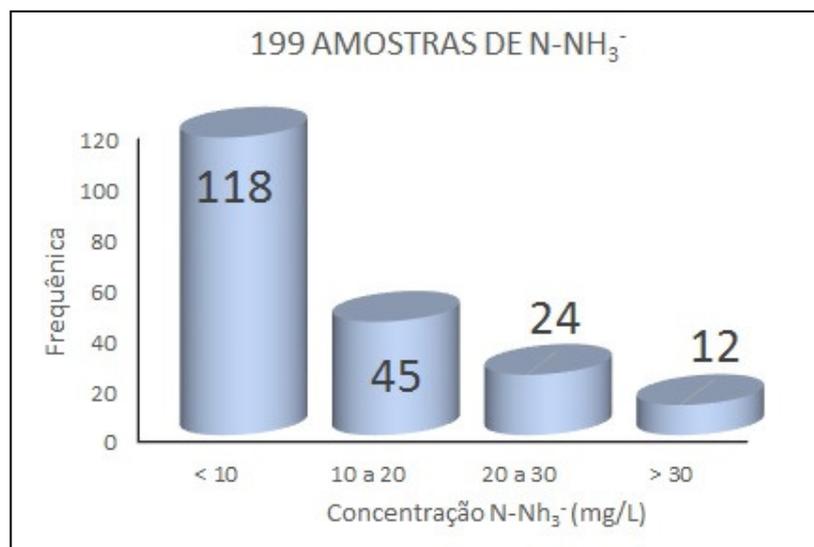
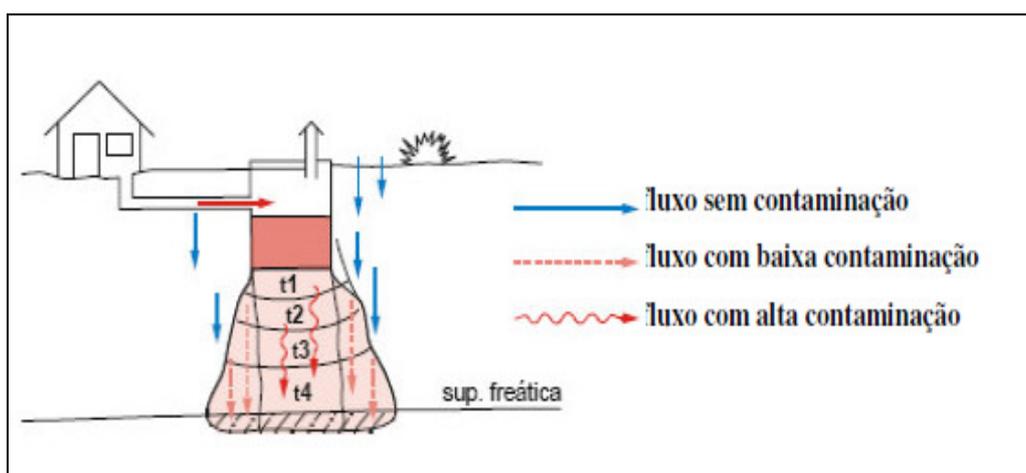


Figura 7.13 - Histograma de nitrato nas águas subterrâneas
As concentrações com nitrato podem atingir aquíferos adjacentes e a espessura e a permeabilidade da zona

subsaturada condicionam a velocidade e o tempo de trânsito até a zona de saturada, favorecendo a diminuição da concentração, por diluição, no caso de ocorrer infiltração efetiva de água não contaminada, como por exemplo, chuvas. No entanto, a zona de aeração, por si só, não é capaz de deter os nitratos, quando existe fluxo vertical descendente, como no caso das fossas (Figura 7.14)



Fonte: AUGÉ (2004)

Figura 7.14 - Representação do fluxo de nitrato proveniente de fossa séptica

As concentrações elevadas desse composto são explicadas na medida em que se tem a disposição de efluentes líquidos (esgotos domésticos e industriais) nas águas superficiais que podem interagir com as águas subterrâneas, bem como, no solo através do uso das fossas negras, ausência de saneamento básico e um posicionamento do nível estático muito raso, quase sempre inferior a 10 m, com predominância de 0 a 5 m e a mercê da variação sazonal.

No sistema digestivo, o nitrato é transformado em nitrosaminas, que são substâncias carcinógenas. Daí alguns cientistas advertirem que o excesso de íons de nitrato na água e no alimento pode levar a um aumento na incidência de câncer de estômago.

De acordo com mapa elaborado a partir dos dados de 199

amostras (Figura 7.15, verifica-se que a maior concentração de nitratos no município ao logo da faixa da bacia do Rio Cocó, que recebe a maior quantidade de lançamento de efluentes oriundo das estações de tratamento de esgotos no município, bem como, recebe o chorume produzido pelo antigo lixão do Jangurussú.

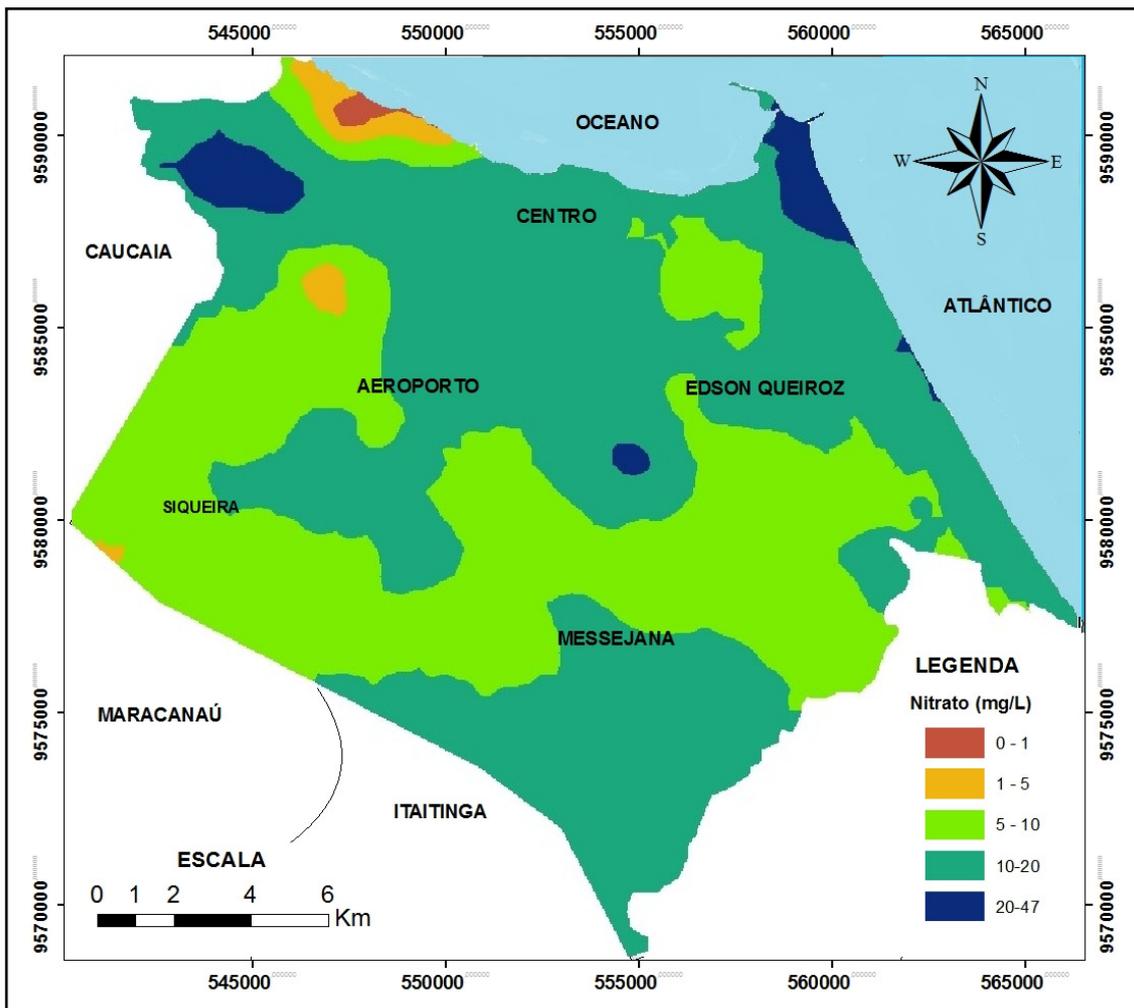


Figura 7.15 - Distribuição de nitrato nas águas subterrâneas

A amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser

resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo. A presença da amônia produz efeito significativo no processo de desinfecção da água pelo cloro, através da formação de cloraminas, que possuem baixo poder bactericida. Segundo a portaria nº2914, de 12 de dezembro de 2011, o valor máximo permitido para amônia nas águas de consumo humano é de 1,5mg/L, na área de estudo os valores variam de 0,01 a 5,16mg/L.

Em adição às elevadas cargas de nitrogênio (nitrato ou amônia) nas águas subterrâneas de áreas urbanas, concentrações elevadas de cloretos, a maioria devidas aos sistemas de esgotos sanitários *in situ*, sulfatos, advindos dos detergentes e escoamento das vias, e bicarbonatos derivados de degradação de resíduos orgânicos, são frequentemente observados (LAWRENCE *et.al.*, 1998)

7.5 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A qualidade das águas superficiais e subterrâneas é influenciada direta ou indiretamente por processos biológicos. Organismos uni ou multicelulares vivendo nas águas se adaptaram para usar sólidos dissolvidos e suspensos nos seus metabolismos e depois libertar o produto dos mesmos para as águas (SZIKSZAY, 1993 *apud* GOMES 2013).

Na Tabela 7.5 são apresentadas as análises bacteriológicas de 87 amostras de águas subterrâneas oriundas de 72 poços (Anexo C).

Tabela 7.5 - Análises bacteriológicas das águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará

Análises Bacteriológicas	Nº de amostras	Período de coleta	Bairro/SER	Fonte de dados
---------------------------------	-----------------------	--------------------------	-------------------	-----------------------

Bactéria <i>Escherichia coli</i> e <i>Klebsiella Sp</i>	19	12/2001 05/2002	Passaré e Barroso/VI	Souza (2002)
Coliformes Totais (Col/ml/37°C) e Coliformes Fecais (Col/ml/45°C)	10	11/2005	Granja Portugal e Bom Jardim/V	Lemos & Medeiros (2006)
	28	11/2007 06/2008	Vicente Pizon/II	Carneiro (2009)
Coliformes Termotolerantes	14	11/2005	Messejana/V I	Maia (2008)
	16	12/2007 02/2008	Barra do Ceará, Cristo Redentor e Pirambu/I	Pereira (2008)

Legenda: SER = Secretaria Executiva Regional.

Em 2002, das 19 amostras de águas subterrâneas analisadas na região circunvizinha ao Lixão do Jangurussu (setor sul da área) em dois períodos distintos, foi detectada a presença de bactérias em todas as amostras. O tipo de bactéria *Escherichia coli* estava presente em 18 amostras (período chuvoso e estiagem) e uma amostra com o tipo *Klebsiella Sp* (período de estiagem), cujas concentrações variaram de 2.419,20 a 72,70 NMP/100mL. Esta contaminação na área está relacionada aos compostos nitrogenados e ao chorume gerados pelo lixão, que podem ficar retidos nos sedimentos argilosos da Formação Barreiras.

As 10 amostras analisadas em 2005, nos bairros Granja Portugal e Bom Jardim (setor oeste da área), mostrou que 90% (9) apresentaram coliformes totais e fecais e apenas a água de um poço tubular profundo não estava contaminada. As amostras tiveram valores oscilando de 240×10^3 a $2,3 \times 10^3$ de Coliformes Totais (Col/ml/37°C).

Das águas subterrâneas do bairro Vicente Pizon (Morro Santa Terezinha) no setor norte de Fortaleza, todas (28) apresentaram coliformes totais e fecais, com maiores concentrações no período chuvoso (> 2419,6 NMP/100mL), situação mais favorável para o acesso dos microrganismos ao aquífero durante esse período, época em que o nível freático se acha mais elevado.

As águas subterrâneas do bairro de Messejana (setor sul da área) apresentaram bactérias do grupo Coliformes Termotolerantes onde, de 14 amostras, 6 (43%) apresentaram esse tipo de bactéria, que indicam contaminação direta ou indireta por fezes, tendo como consequência o risco de contaminação por micro-organismos patogênicos que são veiculados a água.

Nos bairros Cristo Redentor e Pirambu (setor norte da área), em 5 (31%) amostras observou-se a presença de bactérias do grupo Coliformes Termotolerantes, enquanto ausência dessa bactéria no Bairro Barra do Ceará.

De acordo, com os resultados das análises bacteriológicas observa-se que nos bairros mais populosos, o serviço de saneamento básico é precário atendendo menos de 40% das comunidades (Tabela 7.5.1). De acordo com a Figura 7.16 nas áreas com o maior número de imóveis do município estão as áreas com o menor percentual de serviço de saneamento, fazendo com que a população acabe por se utilizar de fossas séptica para destino aos efluentes de esgotos domiciliares, lançando diretamente sobre o solo e recarregando os aquíferos com uma carga poluente.

Tabela 7.5.1 - Dados de Imóveis e Saneamento no município de Fortaleza.

SER	Bairros	Imóveis	Ligações ativas de rede de esgoto	% Ligações
-----	---------	---------	-----------------------------------	------------

				Ativas
I	15	109.108	80.439	73
II	20	143.444	114.086	79
III	16	122.199	67.674	55
IV	19	99.648	44.477	31
V	19	196.434	50.196	25
VI	27	191.695	43.505	22

Fonte dos dados: Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011).

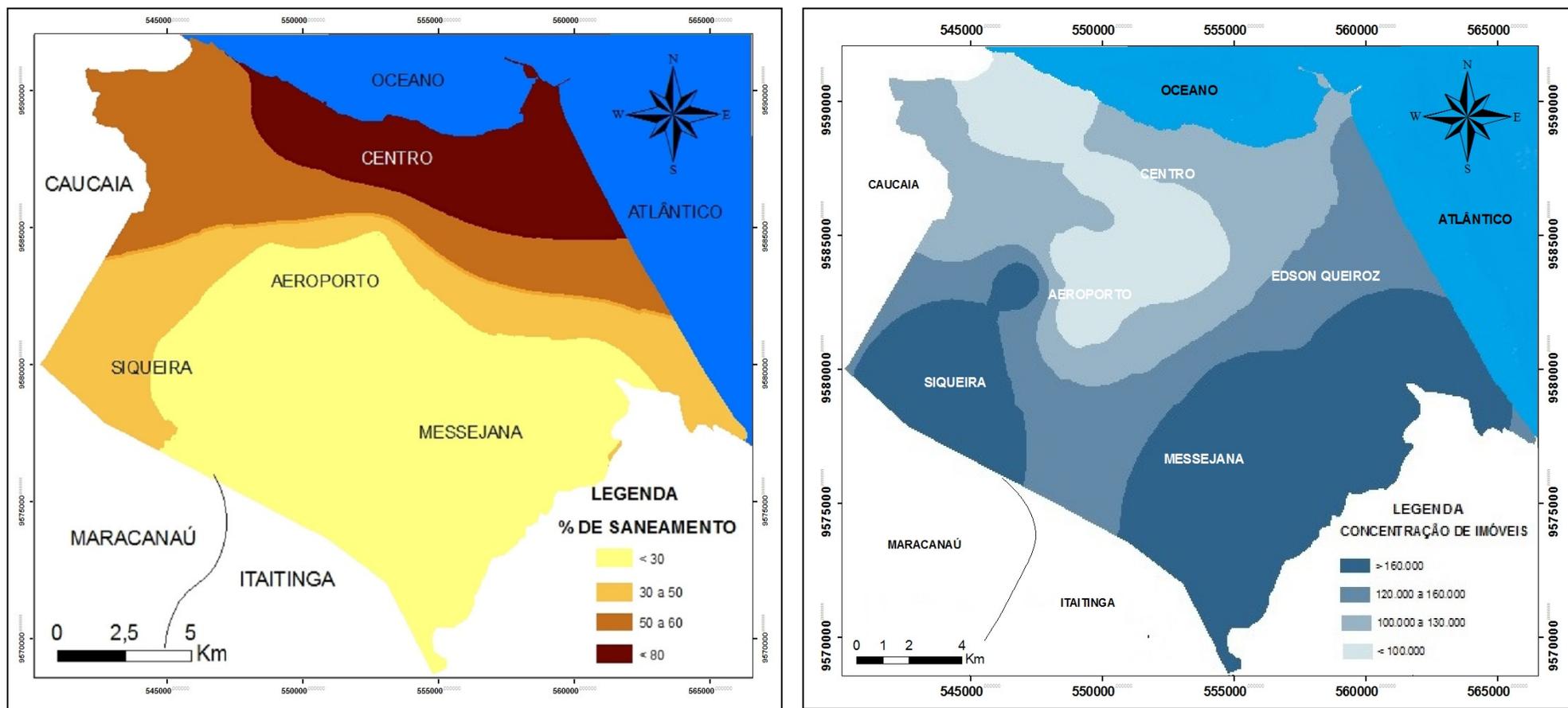


Figura 7.16 - Na imagem à esquerda a distribuição do Saneamento Básico em Fortaleza e na imagem à direita dados do total de Imóveis em Fortaleza

Com os dados das pesquisas realizadas em diferentes bairros de Fortaleza, pode-se constatar que das 87 amostras, em 77% (67 amostras) dessas águas foram detectadas a presença de coliformes totais e/ou fecais. A existência dos coliformes na água confere efetiva contaminação biológica, aumentando os riscos de incidência de doenças de veiculação hídrica.

A água é um importante veículo de transmissão de doenças e as doenças relacionadas pela água situam-se em dois grupos.

Doenças de origem hídrica: são aquelas causadas pela presença de substâncias químicas em proporções superiores aos limites admissíveis.

Doenças de veiculação hídrica: são aquelas em que a água atua como agente infeccioso.

As doenças infecciosas são causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, transmitidas basicamente pela rota fecal-oral, ou seja, são excretados nas fezes de indivíduos infectados e ingeridos na forma de água ou alimento contaminado por água poluída com fezes (GRABOW, 1996, *apud* QUESADO JUNIOR, 2001).

No Brasil, dados do Ministério da Saúde em 2005, indicam que 90% das crianças estão expostas a doenças diarreicas, que causam cerca de 30% das mortes das mesmas até um ano de idade.

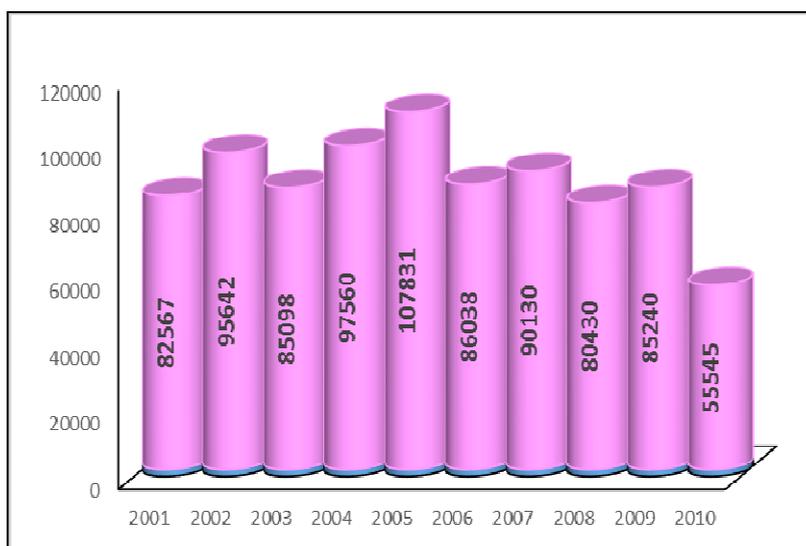
No Ceará, as doenças diarreicas agudas caracterizam-se como um agravo predominante no quadro de morbimortalidade infantil, sendo também responsáveis pelo grande número de óbitos em crianças menores de um ano, devido às precárias condições de vida e saúde da população, em consequência da falta de saneamento básico e da desnutrição crônica.

Entre os agentes etiológicos das diarreias destacam-se as bactérias (cepas de *Escherichia coli*, *Shigella*, *Salmonella*, *Yersinia*, cepas de *Campylo-bacter*, *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus* e outros vibriões não coléricos), vírus (rotavírus e vírus do sarampo), parasitas (giardia, ameba e

helminto intestinais) e vermes (Áscaris, Estrogilóides), além de outros agentes (ROUQUARYOL, 1995).

A doença diarreia está associada à pobreza, condições ambientais e fatores educacionais. Cerca de dois milhões de crianças morrem a cada ano nos países subdesenvolvidos, em consequência de doenças diarreicas, sendo esta a segunda maior causa de morte em crianças com menos de cinco anos de idade.

Em Fortaleza, as doenças diarreicas provocadas, sobretudo, pela falta de saneamento básico, higiene e pelo consumo de água com qualidade duvidosa, tem sido uma das causas principais de mortalidade infantil. O número de casos no município registrou um comportamento crescente ao longo da última década, isto, apesar de 40% da cidade apresentar saneamento básico (Figura 7.17).



Fonte: SMS/COPS/CEVEPI, AGOSTO 2012

Figura 7.17 - Doenças Diarreicas em Fortaleza

Durante o período chuvoso observa-se um aumento significativo na notificação de casos de diarreias agudas. No entanto, se deve ter cautela ao se fazer este tipo de análise, pois as condições socioeconômicas são fatores preponderantes para a ocorrência desse fenômeno independente da sazonalidade.

8 - INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA E ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para a determinação de recursos hídricos subterrâneos disponíveis o interesse está, geralmente, na quantidade de recarga total e sua variabilidade espacial e temporal, porque a otimização de uso do recurso depende da distribuição tanto espacial quanto temporal (VASCONCELOS, 1999, p.93).

Para a área em questão é necessário conhecer além da demanda (uso) o que se tem para oferecer em termos de água subterrânea através da estimativa das reservas hídricas subterrâneas, assim como as disponibilidades hídricas. Os principais parâmetros que influenciam o cálculo das reservas envolvem basicamente as características dimensionais do meio, a precipitação pluviométrica, a porosidade eficaz, o coeficiente de armazenamento ou espessura saturada.

O levantamento da infra-estrutura hídrica e do abastecimento de água do município de Fortaleza foi realizado com base nas informações obtidas junto a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) e do cadastramento dos poços tubulares existentes no município adquiridos na Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH). Os atributos que compõem a estrutura hídrica ou que representam um potencial no abastecimento podem ser divididos em dois grupos de acordo com o manancial de origem:

(I) Águas Subterrâneas

- Sistema público de água: distribuição de água tratada a partir de chafarizes nas comunidades carentes.
- Captação de água através de poços particulares: representa o abastecimento com finalidades de uso industrial,

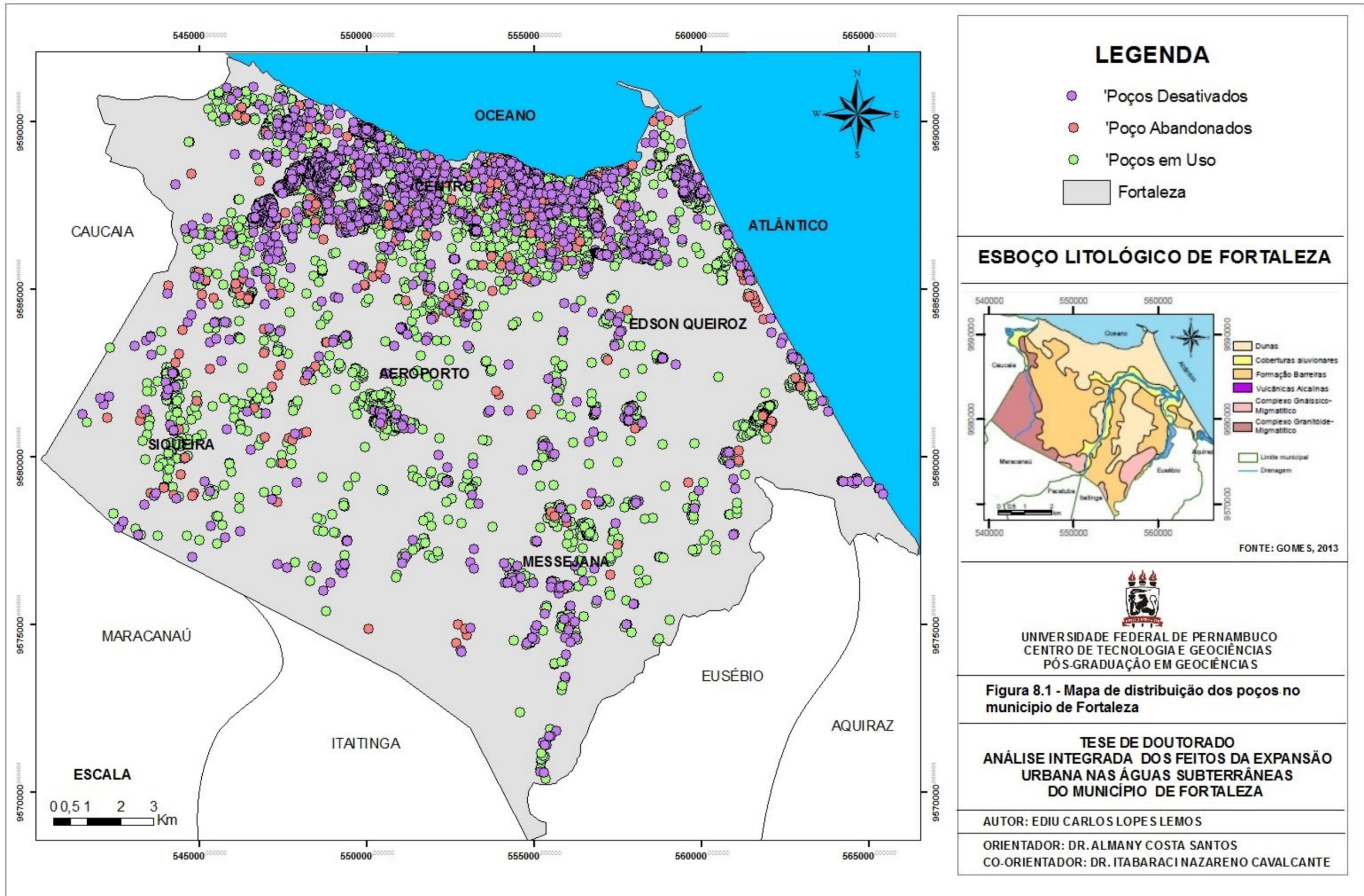
complemento no abastecimento doméstico ou às vezes, como única forma de abastecimento.

(II) Águas Superficiais

- Sistema Pacoti-Riachão-Gavião: captação de água pela CAGECE sendo destinada para a demanda do sistema de abastecimento público no município.

8.1 Águas Subterrâneas

De acordo com o cadastro de poços realizado pela COGERH (2002), estão inseridos no município de Fortaleza, 7573 unidades de captação de águas subterrâneas (Figura 8.1). Desse total, 6858 são poços tubulares particulares, 714 são poços tubulares públicos. O cadastro dos poços é apresentado no ANEXO A.



8.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA

A Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), sociedade de economia mista, criada pela Lei nº 9499, de 20 de julho de 1971, vinculada a Secretária das Cidades do Governo do Estado do Ceará, tem como finalidade a prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em todo o Estado.

No município de Fortaleza a rede de distribuição de água atende 97,8% dos imóveis no município apesar, de que nas localidades onde a população possui um baixo poder aquisitivo, estes se utilizam de outras fontes de abastecimento, sendo o mais comum o uso de águas provenientes de poços escavados (cacimbas).

8.2.1 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas são utilizadas como uma fonte alternativa no abastecimento, nos bairros periféricos, onde a população se utiliza da captação destas águas a partir, de cacimbas, poços rasos e profundos (chafarizes públicos).

Os poços que contribuem para o abastecimento público estão localizados em todos os setores do município. Segundo o cadastro de poços existem 714 poços tubulares pertencentes ao sistema público de abastecimento, onde 218 são chafarizes públicos sendo que 70 encontram-se em funcionamento (Figura 8.2) e 148 encontram-se desativados (Figura 8.3) por quebra no equipamento ou por que a qualidade da água está inadequada para o consumo humano, haja vista que a prefeitura municipal tem monitorado a qualidade das águas destes chafarizes.



Figura 8.2 - Chafariz em Uso (Abril, 2012)



Figura 8.3 - Chafariz Desativado (Abril, 2012)

8.2.2 Águas Superficiais

O sistema de abastecimento de água de Fortaleza possui como mananciais os açudes de Acarape do Meio, Pacoti, Gavião e Riachão, que resultaram dos barramentos dos Rios Pacoti e Choró. Mais recentemente foi construído um canal - o "Canal do Trabalhador" - utilizando o manancial do Rio Jaguaribe, que interligou o sistema através dos Açudes de Orós, Rio Jaguaribe e Pacajus.

A principal Estação de Tratamento de Água (ETA) de Fortaleza, com capacidade para $6,1 \text{ m}^3/\text{s}$, está localizada junto ao Açude do Gavião, onde existe a Estação Elevatória do Gavião Novo, que faz o recalque da água por meio de uma adutora de aço de diâmetro 1.400 milímetros, para o reservatório apoiado do Ancuri, cuja capacidade de armazenamento é de 40.000 m^3 . A partir desse reservatório iniciam-se as linhas do macrossistema de distribuição de água que alimentam, por

gravidade, todos os setores de distribuição do Município de Fortaleza, exceto o setor de distribuição de Mucuripe. O reservatório de Ancuri abastece, também por gravidade, o Município de Maracanaú e parte do Município de Caucaia.

8.3 POTENCIALIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

Na definição de VERÍSSIMO (1999), potencialidade constitui o volume hídrico que pode ser utilizado anualmente incluindo, eventualmente, uma parcela das reservas permanentes passível de ser explorada, com descarga constante, durante um determinado tempo.

Segundo COSTA (2000, *apud* FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000), para o cálculo da potencialidade admite-se, sem prejuízo para o aquífero, que seja possível extrair toda reserva reguladora, representada pela recarga anual do aquífero, mais uma parcela das reservas permanentes, que representem no período de 50 anos um percentual de 30% das reservas.

Esse percentual de 30% em 50 anos implica em 0,6% ao ano, valor insignificante que poderia até induzir um aumento da infiltração, já que parte dela, ao atingir a cota máxima de descarga para a rede de drenagem superficial, é normalmente escoada para a superfície (COSTA, *op. cit.*).

Assim, para o cálculo da potencialidade foi utilizada a expressão: $P = (R_p \times i) + R_r$, onde: R_p = reserva permanente (m^3) R_r = reserva reguladora (m^3/ano), i = percentual da reserva permanente a ser utilizado (%).

Da mesma forma que as reservas, o cálculo para potencialidades foi efetuado somente para os Sistemas Dunas, Barreiras e Aluvionar, utilizando o mesmo percentual de reserva permanente proposto por COSTA (*op. cit.*).

Para o Sistema Hidrogeológico Dunas, utilizando $P = (R_p \times i) + R_r$, onde $R_p = 34.790.000 \text{ m}^3$, $R_r = 2.485.000 \text{ m}^3/\text{ano}$, $i = 0,6\%$, temos sua potencialidade igual a $2.693.740 \text{ m}^3$.

Assim, para o Sistema Hidrogeológico Barreiras, utilizando $P = (R_p \times i) + R_r$, onde $R_p = 42.140.000 \text{ m}^3$, $R_r = 3.010.000 \text{ m}^3/\text{ano}$, $i = 0,6 \%$, obtém-se $3.262.840 \text{ m}^3$ para a potencialidade hídrica subterrânea desse sistema.

Já para o Sistema Hidrogeológico Aluvionar, onde $R_p = 13.492.500 \text{ m}^3$, $R_r = 194.292 \text{ m}^3/\text{ano}$, $i = 0,6 \%$, temos sua potencialidade de 275.247 m^3 .

Considerando-se o volume potencial de $6.231.827 \text{ m}^3$, os Sistemas Hidrogeológicos Dunas, Barreiras e Aluvionar apresentam um potencial hídrico em torno de $17.073.498 \text{ L/dia}$, volume necessário para abastecer uma população de 85,3mil habitantes, obedecendo ao recomendado em projetos técnicos de abastecimento (200 L/hab/dia).

Observa-se que o potencial dos Sistemas Dunas, Barreiras e Aluvionar não seria suficiente para atender a demanda da população. Entretanto, dados da CAGECE revelam que uma população aproximada de 800 mil habitantes do município utilizam-se das águas subterrâneas como única fonte de abastecimento, isto pode ser explicado uma vez que as perdas na rede de abastecimento bem como, as fossas dos imóveis por falta de saneamento recarregam de forma direta o aquífero. O volume da recarga pelas perdas na rede de distribuição da CAGECE totaliza $47,05 \times 10^9 \text{ L/ano}$, este volume é suficiente para abastecer uma população de 644 mil habitantes, obedecendo o recomendado em projetos técnicos de abastecimento (200 L/hab/dia).

9 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As águas subterrâneas de Fortaleza se encontram armazenadas em dois sistemas hidrogeológicos: o Sedimentar (Poroso clástico) e o Cristalino (Fraturnado), com nível estático de até 10m (224 dados) e que vêm sendo explorados predominantemente (84%) por poços tubulares com profundidades inferiores a 50m (266 poços). As águas dos poços em uso (487 dados) são exploradas fundamentalmente (75%) para uso doméstico.

O Sistema Dunas tem espessura saturada oscilando de 3 a 10m, nível estático médio de 6m e vazão média de 6 m³/h, valores médios de permeabilidade (K) e transmissividade (T) de 2,88 x 10⁻⁴ m/s e 1,79 x 10⁻² m²/s, respectivamente.

O Sistema Barreiras possui espessuras oscilando de 20 a 60m, valores de 4,65 x 10⁻⁴ m/s e de 4,78 x 10⁻³ m²/s para a permeabilidade (K) e transmissividade (T), respectivamente.

As aluviões constituem aquíferos livres com nível estático de 2m a 15m, espessura média de 5m, transmissividade (T) de 3,0 x 10⁻² m²/s, permeabilidade (K) de 6,0 x 10⁻⁴ e porosidade efetiva (η_e) igual a 5,0 x 10⁻².

As reservas reguladoras para os Sistemas Hidrogeológicos Dunas, Barreiras e Aluviões foram estimadas em 5.689.292 m³/ano e as reservas permanentes em 138.582.500 m³, resultando em reservas totais de 144.271.792 m³.

A área de estudo, com base no histórico da ocupação, aumentou sua área urbana de 16% para 72%, diminuiu a área verde de 63% para 24%, sendo que esta ocupação ocorreu de forma inadequada aonde corpos d'água foram soterrados para dar lugar predominantemente a favelas; Dunas e áreas de Mangue

foram ocupadas por conjuntos habitacionais e estas alterações têm se refletido na qualidade das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, que estão relacionadas aos impactos antropogênicos sobre as mesmas.

No município, as inundações resultam da alteração do uso do solo e ocupação dos ambientes fluviais e lacustres que, aliado às chuvas mais intensas e concentradas da quadra chuvosa e ao não acompanhamento do crescimento populacional, com a implantação de infraestrutura e equipamentos de drenagem no mesmo ritmo do crescimento da cidade, gera problemas desta natureza. Por conta da especulação imobiliária, as áreas mais densamente ocupadas são também as que possuem menor cobertura vegetal, maior asfaltamento e urbanização, o que torna esses espaços os de menor infiltração de água para o subsolo e, portanto, as áreas mais impermeáveis da cidade, a exemplo dos bairros da Aldeota, Meireles, Centro e Mucuripe. Este fato remete ao desrespeito à Lei Municipal de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº7.987/1996), tornando esses ambientes propícios aos impactos ambientais.

Dentre as fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas, os cemitérios produzem por ano uma carga de necro-corume de 25.225.827L lançados nos solos; a ausência de serviço de saneamento básico nos bairros mais populosos faz com que o cidadão utilize fossa séptica, lançando anualmente no solo 884.348 m³/hab de urina e uma carga de nitrato de 10.022.228kg.

A caracterização da qualidade e uso das águas subterrâneas de Fortaleza foi baseada em 199 análises físico-químicas, sendo avaliados: alcalinidade, STD, pH, C.E, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Fe³⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, N-NH_{3,4} e NO₃⁻. Quanto aos ânions, as águas subterrâneas são Cloretadas, enquanto que as superficiais são Mistas com tendência para Bicarbonatadas. Quanto aos cátions, as subterrâneas são Sódicas ou Mistas

(Cálcica ou Magnesiana), e as superficiais são predominantemente Mistras. As águas amostradas não possuem 100% dos parâmetros analisados dentro dos valores de referência da Portaria nº 2914/2011 de Potabilidade do Ministério da Saúde, não sendo recomendadas, em sua plenitude, para o consumo humano no estado natural.

Quanto a distribuição espacial dos valores de pH, as águas subterrâneas são predominantemente (82%) ácidas, provavelmente associadas ao meio geológico (Aquífero Barreiras) e a recarga pluviométrica. O nitrato apresenta concentrações elevadas por todo o município, reflexo das ações antrópicas, ocasionadas pelo aumento populacional e a deficiência no saneamento básico. Se observa uma tendência de concentrações maiores no sentido centro-norte do município, refletindo as características geológicas do meio por ser tratar de coberturas sedimentares (Dunas) que possui alta permeabilidade, facilitando a percolação dos contaminantes, os valores chegam a ultrapassar em até 47% (setor oeste da área) o limite máximo recomendado pela Portaria nº 2914/2011 MS. As concentrações de cloretos e STD aumentam ao longo das bacias dos Rios Maranguapinho e Cocó, onde se tem a maior densidade populacional e a maior concentração de estações de tratamento de esgotos fazendo o lançamento direto de efluentes nestes rios.

As contaminações das águas subterrâneas por coliformes termotolerantes, são observadas em todo o município. Tais contaminações estão associadas ao processo de uma urbanização sem qualquer planejamento e a deficiência no serviço de saneamento básico, que não atende todos os bairros, sendo ainda maior nos setores onde existe um maior adensamento populacional. Nestes as águas subterrâneas são utilizados no consumo humano, fazendo com que seja crescente os casos de doenças de veiculação hídrica na população.

Observa-se que 41% das águas do Sistema Aquífero Livre no município encontram-se com concentrações para nitrato superior a 400% do permitido pela Portaria 2914 do Ministério da Saúde, e esta contaminação também se reflete nas águas superficiais. Os outros 59% encontram-se poluídos embora, apresentem concentrações para nitrato dentro dos limites estabelecidos pela referida portaria.

Recomenda-se que a fim de diminuir o efeito do lançamento de efluentes oriundos de fossa sépticas nas águas subterrâneas seja feito por parte dos órgãos competentes, um maior investimento em saneamento básico.

Recomenda-se que a legislação de uso e ocupação do solo no município seja uma ferramenta mais eficaz bem como, o papel dos órgãos fiscalizadores haja vista que, ao longo de 4 décadas muitas corpos hídricos superficiais, foram aterrados para dar lugar a ocupação inadequada e sem nenhum planejamento, comprometendo a quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas uma vez que estas lagoas funcionavam como meios de recargas das águas de subsuperfície.

Recomenda-se que seja feito um trabalho de educação ambiental junto as comunidades mais carentes da periferia do município que utilizam-se de poços escavados no abastecimento humano sem ter qualquer conhecimento da qualidade destas águas, acarretando em um aumento de doenças de veiculação hídrica que acometem esta população. O trabalho educativo deve visar informar quanto aos riscos à saúde bem como, ao uso consciente deste recurso mineral.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-13.786**. Posto de serviço - Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. 2005.

ÁGUAS de Março transbordam no Oeste da Cidade. Jangadeiro online. Disponível em: http://fortalezaemfotos.blogspot.com.br/2012_03_01_archive.html. Acessado em 13 de abril 2012.

ARAÚJO, A. L.; LEAL, S. E. C. Aspectos qualitativos das águas subterrâneas do município de Fortaleza - CE. 1990. 123 p. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2004. Resíduos Sólidos-Classificação; NBR 10004. São Paulo

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-13.786**. Posto de serviço - Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. 2005.

AUGE, M. Hidrogeologia Ambiental. Departamento Ciências Geológicas. Universidad de Buenos Aires. Disponível em www.gl.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/detrioro.pdf (acessado em 20/08/2013)

BARISON, M. R. Estudo hidrogeoquímico da porção meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo. 2003. 158 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e

Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2003.

BARROS, M. J. G; RIBEIRO, A. G; LIMA, E. A. de; FONSECA, R. A. da. - 1991 - Potencial dos Recursos Hídricos. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia - Projeto RADAMBRASIL - 1981 - Levantamento de Recursos Naturais. Folha Jaguaribe. SB 24/25. Jaguaribe/Natal; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro.

BELTRÃO, A. E. & MANOEL FILHO, J. - 1973. Abastecimento de Água da Área Metropolitana da Cidade de Fortaleza - CE. SUDENE. Série Hidrogeológica 44, Recife - PE. 294p.

BENTO, V.R. da S. Centro e Periferia em Fortaleza sob a Ótica das disparidades na Infraestrutura de Saneamento Básico. 172 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2011.

BIASOLI, W. M. Água e Saúde. Editora Livros Técnicos. Fortaleza: 2000. 224 p.

BRANCO, S.M., 1965. Poluição e Contaminação; Revista DAE, 26 (57) 41-45; In: Porto, R.L.L., Hidrogeologia Ambiental, São Paulo, ABRH, 1991.

BRANDÃO, R. L. 1995. Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza - Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza. 1ª edição. Fortaleza/CE: SER/REFO/CPRM. Vol.1, 105p.

BUZZATTE, J. D. Aspectos socioeconômicos e jurídicos quanto à perfuração de poços tubulares na cidade de Santa Maria frente ao tesouro subterrâneo armazenado: o Aquífero Guarani. Santa Maria, RS: [s.n.], 2009.

CAMPOS, L. A. S & MENEZES, M. A. S - 1982. Pesquisa e Aproveitamento de Água Subterrânea para Abastecimento Urbano nas Dunas Costeiras do Ceará. In: Congresso brasileiro de Águas Subterrâneas, 2., Salvador, 1982. Anais. Salvador: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, p. 29-42, tabs.

CAJAZEIRAS, C. C. de A. & OLIVEIRA, P. G. S. de. 2004. Aspectos Hidrogeológicos e estado atual dos poços tubulares na faixa costeira de Caucaia, Ceará. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE 112p.

CAMARGOS, M. N. - 2007. Análise da Proteção Jurídica dos Manguezais e o Planejamento Territorial na Baixada Santista. Dissertação de Mestrado em Direito. Universidade Católica de Santos. Santos-SP. 164p.

CASTRO, E. de. Estudo hidrogeoquímico ambiental em Região Cárstica no Município Sete Lagoas - Minas Gerais: Investigação da contaminação de águas superficiais e subterrâneas por nitrato e atrazina, na área do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da EMBRAPA. 2011. 890f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CAVALCANTE, I.N. - 1998. Fundamentos hidrogeológicos para gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana

de Fortaleza, estado de Ceará. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP. São Paulo-SP. 164p.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem., 2000. LIXO MUNICIPAL - Manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT 2ª. Edição. ISBN: 85-09-00113-8.

CHILTON, J. Groundwater. In: Chapman, Deborah (Ed) Water Quality Assessments: A guide to the use of biota sediment and water in enviromental monitoring. Londo: Chapman and Hall,1996.pp.412-499.

CONAMA - RESOLUÇÃO 357, de 17/03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União 18.03.2005. www.mma.gov.br/port/conama/legi.cfm visitado em Abril, 2012.

COSTA, W. D., 1998. Avaliação de Reservas, Potencialidade e Disponibilidade de Aquíferos. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo.

CUSTÓDIO, E. Notas sobre hidroquímica. Comisaría de águas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona: 1965. 103 p.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. Hidrologia Subterrânea. 2. ed. Barcelona: Omega. 1983. vol. 2.

ESTEVES, F.A., 1998. Fundamentos de Limnologia. Ed. Interciência.

FARIAS, J.O.F - 2005. Análise da Poluição Antrópica na bacia do Rio Maranguapinho, Fortaleza-CE. Dissertação de Mestrado DEGEO/UFC.119p.

FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. (ORGS) - 2000 - HIDROGEOLOGIA: Conceitos e Aplicações. CPRM. 2ª Ed., 269p.

FENZL, N. Processos Geoquímicos que determinam a composição química das águas naturais. In: Fenzl, N.; Ramos, J. F. (Org.). Introdução à Hidrogeoquímica. 1. ed. Belém: Universidade Federal do Pará, 1988. cap. 02. p. 33-46.

FERNANDES, M. A. B. Estudo da qualidade da água subterrânea na Fazenda Frutacor, Chapada do Apodi. 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

FERNANDES, R. A. Gestão integrada de águas subterrâneas: critérios gerais orientadores para definição e caracterização de áreas estratégicas de abastecimento 2005. 494f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

FORTALEZA. Lei de Uso e Ocupação do Solo N° 7.987/96. Consolidação elaborada pela CNDU - COURB - SEINF. Atualizada em Agosto de 2010, contendo as Leis de alteração e Decretos de regulamentação de novas atividades. Fortaleza: 2010. 240 p.

FOSTER, S. Contaminação de las Águas Subterraneas. Lima, Peru: Organización Mundial de la Salud, 1987.

FOSTER, S.; VENTURA, M.; HIRATA, R.C.A. - 1987. Contaminacion de las aguas subterrâneas: um enfoque ejecutivo de La

situacion em América Latina y El Caribe em relación com El suministro de água potable. Lima: OMS; OPS-HPE;CEPIS.

FOSTER, S.; HIRATA, R.C. & ROCHA, G.A., 1988. Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: V Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, p. 175-185.

FOSTER, S. Poluição das Águas Subterrâneas: um documento executivo da situação da América Latina e Caribe com relação ao abastecimento de água potável. São Paulo, Instituto Geológico, 1993, 54 p.

GOMES, M da C.R. - 2006 - Qualidade das águas subterrâneas e superficiais no Campus Universitário do Pici, Fortaleza-CE. Relatório de Graduação DEGEO/UFC. 122p

GOMES, M da C.R. Análise Situacional Qualitativa sobre as Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará - Brasil como subsídio à Gestão dos Recursos Hídricos. 2013. 212p. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Ciências. Universidade Federal do Ceará.

GUIGUER, N., 1996. Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo Causada por Vazamentos em Postos de Abastecimento- Waterloo Hydrogeologic Inc.

HASSUDA, S., 2003. Procedimentos de caracterização de Áreas Contaminadas. In: I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste.

HEM J. D.. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S.G.S. Water Supply Paper, 1473. 1. ed. 1959. 269 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>. Acesso em: 10 dez. de 2011.

IPT/CEMPRE. - 1995. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 1ª ed: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Publicação IPT 2163.

LAWRENCE, A.R; MORRIS, B.L; FOSTER, S.S.D. Hazards induced by groundwater under rapid urbanization. In> Maunds J.G. and Eddleston M. (Eds), Geohazards in Engineering Geology. Geological Society. London: Engineering Geology Special Publications, n.15, pp. 319-328. 1998. Disponível em <http://Inweb18.worldbank.org>.

LEMOS, E. C. L & MEDEIROS, F. W. 2006. Águas Subterrâneas e as Doenças de Veiculação Hídrica. Área Piloto: Bairros Bom Jardim e Granja Portugal - Município de Fortaleza / CE. Relatório de Graduação. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - CE. 96p.

LIMA, W. de P. Floresta e Qualidade da Água. Apostila do Curso de Pós-Graduação sobre Manejo de Microbacias Hidrográficas. Departamento de Ciências Florestais da USP/ESALQ. Capítulo 10. P 247-304. Disponível em: <http://Icf.esalq.usp.br/Ihf>

LOGAN, J. Interpretação de análises químicas de água. Recife: U.S. Agency for International Development. 1965. 67 p.

MAIA, J.T.V. A qualidade das águas subterrâneas, a exclusão sanitária e seus impactos na saúde pública no bairro de Messejana, Fortaleza-Ceará. 2008. 90 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

MARINHO, A. M. C. Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios, estudo do caso do cemitério São João Batista, Fortaleza, Ceará. 1998. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

MATOS, B.A. Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. 2001. 113f. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências -Universidade de São Paulo. 2001

MELO, V. Y. B. Características hidrogeológicas e físico-químicas das águas subterrâneas dos bairros Joaquim Távora, Dionísio Torres e São João do Tauape, Fortaleza/CE. 2008. 76 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

MENEZES, M. L. de. - 1996. Tratamento de Efluentes Domésticos. Ciência Contemporânea e Ensino: Novos aspectos. Bauru: UNESP. p. 101 - 104. (Série Ciência e Educação, n°. 2).

MESTRINHO, S.S.P. A Qualidade das Águas Subterrâneas e sua Proteção. 2005. Curso disponível em Cd-Rom.

MESTRINHO, S. S.P. Geoquímica das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 5.2. p.359 - 379.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - 2010. Portaria 2914/GM de 12/12/2011. Dispõe sobre padrões de potabilidade das águas para consumo

humano. Diário Oficial da União, Brasília, 12 de Dezembro de 2011. www.saude.gov.br, acessado em Maio, 2012.

MONTEIRO, J. H. P. et al. - 2001. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORAIS, J.B.A.; SAMPAIO, T. de Q.; SALES, J.W.M. Projeto Fortaleza. Hidrogeologia e controle tecnológico nas perfurações de poços tubulares no município de Fortaleza - CE. Relatório Final. Fortaleza/CE. DNPM/CPRM. 1984. vol.1, textos e mapas. 208 p.

MORAIS, G.L., 2004. Estudo das Restrições à Implantação de Aterros Sanitários no Cone Leste Paulista: Uma Análise das Áreas de Recarga de Aquíferos. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

MORAIS, J. B. A. de. Caracteres hidrogeológicos do aquífero dunas para a gestão de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MOURA, M de O. - 2008. O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia. Universidade federal do Ceará. 318p.

PACHECO, A. et al. - 1998. O Problema Geoambiental da Localização de Cemitérios em Meio Urbano. CEPAS, nov. 1997.

PEDROSA, T. R. M. A. M. Caracterização de plumas contaminantes de hidrocarbonetos em postos de abastecimento em Fortaleza, usando o método eletromagnético radar de penetração do solo (GPR). 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) -

Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PHELPS, G.G., 2004. Chemistry of Ground Water in the Silver Springs Basin, Florida, with Emphasis on Nitrate: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report n° 2004-5144, 54p.

PEREIRA, S. A Qualidade das Águas subterrâneas e as doenças de veiculação hídrica nos Bairros da Barra do Ceará, Cristo Redentor e Pirambu, Fortaleza - Ceará. 2008 105 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2008.

PINA, A. P. S. A. de. Fundamentos hidrogeoquímicos aplicados na Bacia Hidrográfica de Santa Cruz, Ilha de Santiago - Cabo Verde, como instrumento para a gestão de recursos hídricos. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

PROJETO SINFOR - 1998 - SEMACE/ SRH. Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza. Série Ornamental Territorial. Vol 1, 109p.

QUESADO JUNIOR, N. Contribuição da hidrogeologia à problemática das doenças de veiculação hídrica em Fortaleza, Ceará. 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geologia), Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

QUESADO JUNIOR, N. Avaliação de parâmetros físicos e hidrodinâmicos dos aquíferos do município de Fortaleza, Estado do Ceará. 2008. 70 f. Monografia (Especialização em Gestão de

Recursos Hídricos e de Infraestrutura Hidráulica), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.

REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B. & TUNDISI, J.G. - Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação, 703 p. 2ª edição revisada e ampliada, São Paulo, 2002.

RODRÍGUES, G.V. & D'URSO, C.H. Estudio hidrogeológico y de calidad de agua em el sector oriental de la Sierra de San Javier entre las localidades de Yerba Buena y el manantial. Provincia de Tucuman, Republica Argentina. Estudios Geológicos.61.p. 197-206, 2005.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V., 1998. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.6, p.133-137.

ROUQUARYOL, M.Z. - 1995. Cad. Saúde Pública vol. 11 n°1 Rio de Janeiro Jan./Mar. Epidemiologia & Saúde Rio de Janeiro: Medsi Editora Médica e Científica Ltda., 1994. 527 p.

SABADIA, J.A.B; CASAS, A.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDES FILHO, J., 2000. A Problemática da Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos: O Aterro do Jangurussú e os Recursos Hídricos Subterrâneos da Cidade de Fortaleza-Ceará. In: I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas.

SANSORES, A.C; AVILA, J.P; SOSA, E.C; RAMIRÉZ, J; COMAS, M; CÁMARA, A. Hidroquímica del agua que sbyace a la JAPAY I, em Mérida, Yucatán, México. Revista Ingenierla, volume 6, n° 3, set-dez. 2002. P 29-40.

SANTIAGO. M. M. F.; SILVA, C. M. S. V. Manual de análise hidroquímica e bacteriológica do Departamento de Física da UFC. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2007. 27 p.

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 05. p. 325-357.

SANTOS, L.S.A. - 2005. Qualidade das águas do Rio Maranguapinho (Maranguape - Maracanaú - Fortaleza - Caucaia - CE): Análise Temporal (1995 - 2005). Relatório de Graduação DEGEO/UFC.

SCHOELLER, H. Les eaux souterraines. Paris: Masson et Cie.,. cap. 07, 1962. 642p.

SILVA LM. - 1998. Cemitérios: Fonte Potencial de Contaminação dos Aquíferos Livres. In: IV Congresso Latino-americano de Hidrologia Subterrânea, Montevideú, 2: 667-681. 98.

SILVA, M. - 1999b. Cremação: método alternativo para a disposição de cadáveres. São Paulo: Universidade São Judas Tadeu.

SILVA, M. L. da; BONOTTO, D. M. Hidroquímica elementar e dos Isótopos de urânio em águas subterrâneas da Formação Alter do Chão, Manaus (AM). Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.36 (3), p. 437-448. 2006.

SILVA NETO, R. C. da. Características físico-químicas das águas subterrâneas nos Bairros Aerolândia, Engenheiro Luciano Cavalcante, Jardim das Oliveiras e Cidade dos Funcionários,

Fortaleza - CE. 2010. 71 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SOUZA, A. K. P. de. Qualidade das águas subterrâneas na região circunvizinha ao lixão do Jangurussu, Fortaleza - Ceará. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das Águas. Boletim do Instituto de Geociências, São Paulo, n.5., p. 1-166. 1993.

TAJRA, Adriana. A. Aspectos técnico-construtivos dos poços tubulares e a legislação pertinente. Área Piloto de Fortaleza-Ceará. 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

TOMAZ, Plínio. Poluição Difusa. São Paulo: Navegar Editora, 2006.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R., 1955. The water balance. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel, Institute of Technology, 104 p.

TUCCI, C.E.M., 1997 Estimativa do Volume para Controle da Drenagem no Lote. Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana. ABRH. Curitiba

TUCCI, C.E.M., 2005. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3ª edição. ABRH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VASCONCELOS, M.B - 2009. Análise integrada dos efeitos da expansão urbana nas águas subterrâneas como suporte a gestão

dos recursos hídricos da zona norte de Natal-RN. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/UFPE. Recife-PE. 150p.

VÁZQUEZ-SUÑÉ, E; SÁNCHEZ-VILA, X.; CARRERA, J., 2005. Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, na emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain. Hydrogeology Journal V.13 N 3.

WHO - World Health Organization., 1998. The Impact of Cemeteries on the Environment and Public Health-An Introductory Briefing. Ahmet S. Uçisik & Philip Rusbrook.

<http://www.tabelaperiodicacompleta.com/wp-content/uploads/2013/05/ciclo-do-nitrogênio-1024x638.jpg> (visitado em 20/09/2013)

APÊNDICES

APÊNDICE A - LISTA DE CEMITÉRIOS E ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTOS EM FORTALEZA

DADOS SOBRE CEMITÉRIOS EM FORTALEZA-CE

	IDENTIFICAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	TEMPO DE EXISTÊNCIA	TOTAL
A	Cemitério São José (Parangaba)	9582485	548022	185	125.985
B	Cemitério Santo Antônio (Ant.Bezerra)	9586482	545731	75	27.750
C	Parque. Da Paz (Passaré)	9577727	551465	38	53.594
D	São João Batista (Centro)	9588706	551504	145	200.390
E	Cemitério de Messejana	9576071	556681	142	51.120
F	São icente de Paula (Varjota)	9588232	557303	95	19.000
G	Cemitério do Bom Jardim	9580404	541434	17	13.889

DADOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM FORTALEZA-CE

Nº	LATITUDE	LONGITUDE
1	555583	9583314
2	543564	9584873
3	554682	9582398
4	547114	9577558
5	557456	9581424
6	552443	9578508
7	556449	9573268
8	552533	9580982
9	553153	9577810
10	552321	9576489
11	551879	9575413
12	544668	9587606
13	543585	9584887

14	550003	9574250
15	548279	9574846
16	544244	9578169
17	544042	9578526
18	543578	9584848
19	550453	9580303
20	543306	9583897
21	544343	9578649
22	545018	9590319
23	551261	9589113
Nº	LATITUDE	LONGITUDE
24	558805	9586625
25	560225	9584025
26	556908	9585388

APÊNDICE B - LISTA DE LAVA JATOS EM FORTALEZA

LAVA JATO	LONG (UTM)	LAT (UTM)	ENDEREÇO	BAIRRO
1	545976	9588093	Rua Misericórdia, 976	Jardim Iracema
2	545197	9586215	Rua Joaquim Franklin, 699	Antônio bezerra
3	543717	9584264	Rua 448, 321 1ª etapa	Conjunto Ceará
4	549050	9586659	Rua Francisca Rangel, 697	Rodolfo Teófilo
5	549814	9587119	Rua Azevedo Bolão, 810	Parquelândia
6	549778	9587689	Rua Padre Anchieta, 1141	São Gerardo
7	545452	9579783	Rua Pirajuí, 174	Parque São José
8	545862	9580164	Rua Cônego de Castro, 3580	Parangaba
9	545900	9579245	Rua 101, 91	São Cristovão
10	548723	9582276	Av. Pedro Ramalho. 6070	Passaré
11	552928	9581214	Rua Pinto Martins, 32	Dias Macedo
12	555609	9581383	Rua Stênio Gomes, 985	Jardim das Oliveiras
13	556028	9580488	Av. Oliveira Paiva, 1192	Cidade dos Funcionários
14	555871	9578088	Rua Homem de Melo, 100	Parque Iracema
15	553104	9576833	Av. Jornalista Thomaz Coelho, 1878	Barroso
16	557569	9575025	Av. Barão de Aquiraz, 2000	Paupina
17	551620	9584465	Rua Júlio da Silveira, 128	Vila União
18	551934	9584636	Av. Borges de Melo, 1540	Fátima
19	549713	9585721	Rua Coronel Nunes de Melo, 1104	Rodolfo Teófilo
20	549795	9586601	Rua Tiradentes, 875	Rodolfo Teófilo
21	552139	9587157	Rua Antônio Pompeu, 755	José Bonifácio
22	552371	9587318	Rua Assunção, 402	Centro
23	552246	9586669	Rua Sólton Pinheiro, 1040	José Bonifácio
24	553172	9585110	Av. Pontes Vieira, 45	Dionísio Torres
25	553340	9584665	Av. Visconde do Rio Branco, 5119	Alto da Balança
26	554619	9585175	Rua Tibúrcio Cavalcante, 3204	Dionísio Torres
27	554819	9585589	Rua Joaquim Sá, 640	Dionísio Torres
28	555350	9585585	Rua Barbosa de Freitas, 2560	Dionísio Torres
29	555362	9585734	Rua Israel Bezerra, 72	Dionísio Torres
30	554478	9586029	Rua Tomás Acioli, 1096	Dionísio Torres
31	558404	9585740	Rua Andrade Furtado, 1647	Cidade 2000
32	556167	9586644	Av. Senador Virgílio Távora, 1520	Aldeota
34	556895	9587503	Rua Frederico Borges, 333	Meireles
35	556797	9588275	Rua Paz, 97	Meireles
36	555334	9587332	Rua Tibúrcio Cavalcante, 963	Aldeota
37	554820	9587319	Av. Barão de Studart, 1030	Aldeota
38	554677	9587326	Av. Santos Dumont, 1810	Aldeota
39	554340	9587199	Rua Torres Câmara, 61	Aldeota
40	554363	9588279	Rua Idelfonso Albano, 459	Meireles
41	545964	9582005	Rua Vital Brasil, 556	Bonsucesso
42	555563	9587172	Rua Maria Tomásia, 395	Aldeota
43	552860	9579006	Av. Deputado Paulino Rocha, 3134	Castelão

LAVA JATO	LONG (UTM)	LAT (UTM)	ENDEREÇO	BAIRRO
44	552625	9579276	Av. Paranjana, 6090	Castelão
45	555947	9578740	Av. Ministro José Américo, 415	Parque Iracema
46	553160	9587094	Rua Dona Leopoldina, 1212	Centro
47	553300	9587350	Rua Dona Leopoldina, 931	Centro
48	552817	9586490	Rua Lauro Maia, 88	Centro
49	552944	9585863	Rua Lauro Maia, 700	José Bonifácio
50	556022	9577673	Av. Frei Cirilo 4311	Messejana
51	555692	9578393	Av. Frei Cirilo 3433	Messejana
52	549187	9582999	Rua Almirante Rubim 1729	Itaoca
53	549042	9582848	Rua Germano Frank 128	Itaoca
54	547622	9582352	Av. Osório de Paiva 1013	Parangaba
55	546827	9581792	Av. Osório de Paiva 1821	Parangaba
56	546871	9581884	Av. Osório de paiva 1781	Parangaba
57	548744	9582270	Av. Paranjana 610	Parangaba
58	549295	9581923	Av. Paranjana 1140	Itaperi
59	550176	9581374	Av. Paranjana 2515	Serrinha
60	550985	9581062	Av. Paranjana 3621	Serrinha
61	557905	9582798	Rua Dr. Carlos Ribeiro Pamplona 300	Edson Queiroz
62	554132	9587531	Av. Santos Dumont 1231	Aldeota
63	549858	9581548	Av. Paranjana 1965	Itaperi
64	544528	9588291	Av. Independência 2095	Quintino Cunha
65	555934	9586798	Rua Des. Leite Albuquerque 940	Aldeota
66	553081	9575560	Av. Castelo de Castro 1170	Barroso
67	547244	9578635	Av. Presidente Costa e Silva 200	Mondubim
68	546172	9579435	Av. Waldir Diogo 700	Parque Santo Antônio
69	545701	9580976	Av. Osório de Paiva 3385	Parque São José
70	543509	9581346	Av. Virgílio Nogueira 530	Bom Jardim
71	544359	9580972	Rua Oscar Araripe 1019	Bom Jardim
72	547555	9579640	Av. Godolfredo Maciel 3031	Maraponga
73	547842	9580184	Av. Godolfredo Maciel 2570	Maraponga
74	547744	9580187	Rua Rosa Cruz 500	Maraponga
75	548105	9580909	Rua Holanda 33	Maraponga
76	550723	9583859	Rua Almirante Rufino, 1544	Montese
77	551598	9584473	Rua Júlio da Silveira, 128	Parreão
78	551945	9583985	Rua Abelardo Marinho 338	Vila União
79	552339	9584353	Av. Borges de Melo 1150	Parreão
80	552154	9583941	Rua Eng. Almeida Edmundo Filho, em frente ao 388	Parreão
81	552154	9585902	Av. José Bastos/Major Weyne	Damas
82	550119	9585400	Rua Alexandre Barauna, 548	Damas
83	550252	9584915	Rua Julio Cesar, 1475	Bom Futuro
84	549914	9584545	Rua Desembargador Praxedes 375	Damas
85	554962	9584356	Rua Quintino Cunha/Miguel	Montese

LAVA JATO	LONG (UTM)	LAT (UTM)	ENDEREÇO	BAIRRO
86	549880	9585019	Rua Pedro Machado/ João Pessoa	Damas
87	549700	9583707	Rua Romeu Martins/Edite Braga	Montese
88	549762	9583762	Rua Edite Braga/Coronel Alexandrino	Montese
89	551341	9583297	Rua Moreira Gomes, 310	Parreão
90	549119	9584239	Av. João Pessoa/Oscar Bezerra	Montese
91	545824	9583894	Rua Heribaldo Costa 1670	Henrique Jorge
92	545865	9583766	Rua Heribaldo Costa 1691	Henrique Jorge
93	549817	9588312	Av. Sargento Hermínio 1178	Monte Castelo

APÊNDICE C - LISTA DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS EM
FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
1	POSTO PRAIA DE IRACEMA	AV. HISTORIADOR RAIMUNDO GIRÃO 91	Praia de Iracema	553891	9588777	CE	FORTALEZA
2	POSTO AMUARAMA	AV.DEP.OSVALDO STUDART, N388	Aldeota	552317	9585048	CE	FORTALEZA
3	POSTO QUATRO RODAS	RUA DR PERGENTINO MAIA 177	Messejana	556208	9576578	CE	FORTALEZA
4	POSTO VITÓRIA	AV. PRESIDENTE COSTA E SILVA 898	Mondubim	547563	9578511	CE	FORTALEZA
5	POSTO FIVE STARS I	AV. SANTOS DUMONT 3976	Aldeota	556762	9586652	CE	FORTALEZA
6	POSTO FIVE STARS II	AV. SANTOS DUMONT 2484	Aldeota	555240	9587134	CE	FORTALEZA
7	POSTO GAVIAO	AV. BEZERRA DE MENEZES 161	Otávio Bonfim	550948	9587643	CE	FORTALEZA
8	POSTO DOS BAMBUS	AV. LUCIANO CARNEIRO 721	Fátima	551817	9584994	CE	FORTALEZA
9	POSTO TROPICAL	AV. PRESIDENTE COSTA E SILVA 3300	Mondubim	550627	9577287	CE	FORTALEZA
10	POSTO PETROMANO LTDA	RUA JÚLIO CÉSAR 288	Benfica	551022	9585801	CE	FORTALEZA
11	POSTO ITAMARATY	AV.OSORIO DE PAIVA,1632	Vila Pery	547012	9581983	CE	FORTALEZA
12	POSTO ACUSTIC	AV. AUGUSTO DOS ANJOS 472	João XXIII	547447	9582995	CE	FORTALEZA
13	J L B COM. DE DER. DE PETROLEO LTDA	AV. MISTER HULL 5608	Antônio Bezerra	545032	9586636	CE	FORTALEZA
14	POSTO SANTOS DUMONT	RUA NOGUEIRA ACIOLY 767	Aldeota	553658	9587652	CE	FORTALEZA
15	POSTO LESTE OESTE	AV. PRES. CASTELO BRANCO 4277	Barra do Ceará	547660	9590162	CE	FORTALEZA
16	POSTO SÃO JOSE	RUA PROF. GOMES BRASIL 475	Parangaba	547805	9583069	CE	FORTALEZA
17	PARAGUAÇU COM. E SERV. DE PETRÓLEO LTDA.	AV. SANTOS DUMONT 3636	Aldeota	556418	9586755	CE	FORTALEZA
18	PARAGUAÇU COM. E SERV. DE PETRÓLEO LTDA.	AV. WASHINGTON SOARES 2565	Edson Queiroz	557627	9581294	CE	FORTALEZA
19	POSTO RECAMONDE	AV. GODOFREDO MACIEL 585	Parangaba	548297	9582028	CE	FORTALEZA
20	S & C PETRÓLEO	AV. JOÃO PESSOA 3555	Damas	550679	9585919	CE	FORTALEZA
21	POSTO ATAPÚ	AV. VISCONDE DO RIO BRANCO 3826	São João do Tauape	553239	9584984	CE	FORTALEZA
22	POSTO MARAL	AV. SAUDADE EXPEDICIONÁRIOS 240	Aeroporto	550547	9583290	CE	FORTALEZA
23	POSTO JG	RUA ENG. ANTÔNIO FERREIRA ANTERO 455	Cocó	557563	9581259	CE	FORTALEZA
24	POSTO SOL POENTE	AV. CEL. CARVALHO 360	Barra do Ceará	545393	9590342	CE	FORTALEZA
25	NOSSO POSTO	AV. GAL. OSORIO DE PAIVA 4530	Bom Jardim	544831	9580167	CE	FORTALEZA
26	VASCONCELOS PETROLEO LTDA.	RUA ALBERTO MAGNO 75	Montese	551004	9585003	CE	FORTALEZA
27	POSTO CAMPEAO	AV. PESSOA ANTA 35	Centro	552998	9588693	CE	FORTALEZA
28	POSTO BARAO	AV. BARAO DE STUDART 1050	Aldeota	554795	9587279	CE	FORTALEZA
29	POSTO SUL	RODOVIA BR 116 2620	Cajazeiras	555279	9579119	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
30	POSTO ARCOIRIS	AV. GODOFREDO MACIEL 5785	Mondubim	546763	9577165	CE	FORTALEZA
31	POSTO APESC	RUA 24 DE MAIO 1230	Centro	551748	9587426	CE	FORTALEZA
32	POSTO CAPITÃO	AV JORNALISTA TOMAZ COELHO 2960	Jangurussú	553108	9576820	CE	FORTALEZA
33	POSTO CAPITÃO II	AV. CÉSAR CALS 1641	Edson Queiroz	560119	9587529	CE	FORTALEZA
34	CAPITÃO III	AV.POMPILIO GOMES 459	Jangurussú	553234	9578285	CE	FORTALEZA
35	POSTO CAPITÃO IV	AV. ANTONIO SALES 13	Piedade	553062	956689	CE	FORTALEZA
36	POSTO CAPITÃO V	RUA CÔNEGO DE CASTRO 5548	Parque Santa Rosa	544680	9578667	CE	FORTALEZA
37	POSTO CAPITÃO VI	AV. CASTELO DE CASTRO 1602	Jangurussú	553106	9575104	CE	FORTALEZA
38	POSTO CAPITÃO VII	AV. EDILSON BRASIL SOARES 1718	Edson Queiroz	558748	9581199	CE	FORTALEZA
39	POSTO CAPITÃO VIII	AV. ALBERTO CRAVEIRO 1200	Dias Macedo	553570	9580960	CE	FORTALEZA
40	J A COMERCIO DE COMBUSTIVEIS LTDA.	AV. PADARIA ESPIRITUAL 3559	Passaré	552315	9578535	CE	FORTALEZA
41	POSTO VILA	AV. DEDÉ BRASIL 1150	Itapery	549320	8581907	CE	FORTALEZA
42	POSTO VILA FLOR	AV. BEZERRA DE MENEZES 1759	Parquelândia	548816	9587140	CE	FORTALEZA
43	POSTO MIL	RUA CARLOS CHAGAS 864	Bom Sucesso	545753	9582279	CE	FORTALEZA
44	POSTO L & S	RUA SENADOR POMPEU 1958	Centro	551906	9587046	CE	FORTALEZA
45	POSTO SHOPING	AV. ENGENHEIRO SANTANA JUNIOR 1240	Papicu	557410	9586852	CE	FORTALEZA
46	UNIPOSTO	RUA FREI CIRILO 3889	Messejana	555875	9577947	CE	FORTALEZA
47	MULTIPOSTO	RUA WENEFRIDO MELO 25	Mondubim	546599	9579198	CE	FORTALEZA
48	POSTO PV	AV. TREZE DE MAIO 1942	Benfica	551668	9686095	CE	FORTALEZA
49	POSTO MARCUS MOREIRA	RUA OSCAR FRANCA 51	Bom Jardim	545224	9580572	CE	FORTALEZA
50	POSTO EMBRARMETRA	AV. AMÉRICO BARREIRA 4855	Bela Vista	548072	9585528	CE	FORTALEZA
51	POSTO MARAL	AV. PROF. JOSE ARTHUR DE CARVALHO 1535	Lagoa Redonda	559289	9577040	CE	FORTALEZA
52	MULTIPOSTO	AV. RAUL BARBOSA 1330	São João do Tauape	554995	9584736	CE	FORTALEZA
53	POSTO MONTESE	AV. PROFESSOR GOMES DE MATOS 915	Montese	550515	9584341	CE	FORTALEZA
54	COMERCIAL RIPARDO DERIVADOS DE PETROLEO LTDA	AV. SENADOR FERNANDES TÁVORA 3281	Parque Genibaú	544245	9584973	CE	FORTALEZA
55	POSTO AGUANAMBI	AV. AGUANAMBI 300	José Bonifácio	552722	9586548	CE	FORTALEZA
56	POSTO DOIS MIL	AV. MOZART PINHEIRO DE LUCENA 2400	Quintino Cunha	544640	9588251	CE	FORTALEZA
57	POSTO SAO FRANCISCO	AV. JORN. THOMAZ COELHO JUNIOR 410	Messejana	555552	9576375	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
58	POSTO DUNAS	AV. ENGENHEIRO ALBERTO SA 1340	Papicu	558066	9587254	CE	FORTALEZA
59	POSTO FORD	R.CLARINDO DE QUEIROZ,800	Centro	552033	9587459	CE	FORTALEZA
60	POSTO G4	AV. DEPUTADO PAULINO ROCHA 3003	Castelão	552965	9578919	CE	FORTALEZA
61	POSTO G4	AV. OSORIO DE PAIVA 621	Parangaba	548021	9582544	CE	FORTALEZA
62	POSTO ITAOCA	RUA 15 DE NOVEMBRO 605	Montese	549391	9583349	CE	FORTALEZA
63	PETRO SUPER	TRAVESSA PARIS 1133	Papicu	557404	9586835	CE	FORTALEZA
64	POSTO SOUZA	AV. BEZERRA DE MENEZES 285	Farias Brito	550814	9587548	CE	FORTALEZA
65	POSTO HENRIQUE JORGE	AV. PRES. CASTELO BRANCO 4666	Barra do Ceará	547647	9590168	CE	FORTALEZA
66	POSTO SANTA BÁRBARA	AV. MAESTRO LISBOA 1680	Lagoa Redonda	559431	9579046	CE	FORTALEZA
67	POSTO DOIS IRMAOS	AV. FRANCISCO SA 2321	Jacarecanga	550369	9588681	CE	FORTALEZA
68	POSTO DH SHOP	AV. MIN. JOSE AMERICO DE ALMEIDA 1281	Cambeba	556731	9579087	CE	FORTALEZA
69	POSTO JANGADA	AV. ABOLIÇÃO 2432	Meireles	555815	9588030	CE	FORTALEZA
70	POSTO JORGE VIEIRA	AV. PONTES VIEIRA 2250	Dionisio Torres	555310	9585311	CE	FORTALEZA
71	MULTIPOSTO	AV. DEDÉ BRASIL 3484	Serrinha	550769	9581098	CE	FORTALEZA
72	POSTO CANADA	AV. TREZE DE MAIO 980	Fátima	552404	9585474	CE	FORTALEZA
73	POSTO BELA VISTA	AV. ROGACIANO LEITE 986	Guararapes	555903	9583703	CE	FORTALEZA
74	POSTO BELA VISTA II	AV. BARÃO STUDART 2936	Aldeota	554256	9585598	CE	FORTALEZA
75	MULTI POSTO	AV. GENERAL OSORIO DE PAIVA 5348	Bom Jardim	544220	9579526	CE	FORTALEZA
76	POSTO NOTA 10	AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS 5154	Montese	550915	9583790	CE	FORTALEZA
77	POSTO NOSSA SENHORA DA PENHA	AV. GAL. OSORIO DE PAIVA 1851	Vila Pery	546757	9581758	CE	FORTALEZA
78	POSTO PINHEIRO	AV. ODILON GUIMARAES 2130	Lagoa Redonda	558382	9577926	CE	FORTALEZA
79	MD POSTO	AV. ALBERTO CRAVEIRO 4547	Passaré	551604	9577552	CE	FORTALEZA
80	MD POSTO	AV. VISCONDE DO RIO BRANCO 5541	Aerolândia	553251	9584966	CE	FORTALEZA
81	POSTO FENIX	AV. JORNALISTA THOMAZ COELHO 1878	Jangurussú	554255	9576754	CE	FORTALEZA
82	POSTO SANTA CECILIA	AV. WASHINGTON SOARES 4600	Cidade dos Funcionários	557749	9580091	CE	FORTALEZA
83	POSTO MANIA	AV. JOSE TORRES 200	Granja Portugal	543596	9582090	CE	FORTALEZA
84	POSTO GUARAUPETRO	AV. OLAVO BILAC 120	Álvaro Weyne	548080	9588612	CE	FORTALEZA
85	MCPETRÓLEO LTDA.	RODOVIA BR 116	Messejana	555091	9577445	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
86	POSTO ABN	AV. CESAR CALLS 97	Praia do Futuro	559385	9588930	CE	FORTALEZA
87	POSTO ABN	AV. CARNEIRO DE MENDONÇA 1158	Demócrito Rocha	547827	9584101	CE	FORTALEZA
88	POSTO MARAJÓ	AV. VISCONDE DO RIO BRANCO 3675	Joaquim Távora	553262	9585125	CE	FORTALEZA
89	POSTO SANTA EDWIRGES 02	AV.GODOFREDO MACIEL 6380	Mondubim	546486	9576494	CE	FORTALEZA
90	M. MADALENA DIST. DE COMB. LTDA	RUA VITAL BRASIL 1790	Granja Portugal	544792	9582364	CE	FORTALEZA
91	POSTO COMETA	AV. DA ABOLIÇÃO 3998	Mucuripe	557383	9588231	CE	FORTALEZA
92	POSTO CINCO ESTRELAS	AV. DESEMBARGADOR MOREIRA 1621	Aldeota	555568	9586538	CE	FORTALEZA
93	POSTO MODELO SÃO FRANCISCO	AV. JOÃO PESSOA 7100	Parangaba	548635	9583058	CE	FORTALEZA
94	POSTO CASABLANCA	AV. PRESIDENTE COSTA E SILVA 4007	Passaré	550628	9577283	CE	FORTALEZA
95	POSTO VERDES MARES	AV. PRESIDENTE CASTELO BRANCO 1215	Jacarecanga	551258	9589021	CE	FORTALEZA
96	POSTO D X	RUA PROFESSOR HERIBALDO COSTA 1590	João XXIII	545846	9583761	CE	FORTALEZA
97	POSTO D X	RUA VITAL BRASIL 2959	Granja Portugal	543585	9582659	CE	FORTALEZA
98	POSTO D X	RUA MARIA GOMES DE SA 2150	Aracapé	546008	9577618	CE	FORTALEZA
99	POSSTO BARRA NOVA	AV. FRANCISCO SA 5478	Carlito Pamplona	547409	9589708	CE	FORTALEZA
100	POSTO NOVO NORDESTE	RUA PADRE PEDRO DE ALENCAR 626	Messejana	556156	9576304	CE	FORTALEZA
101	NOSSO POSTO	AV. MISTER HULL,4807	Antônio Bezerra	545820	9586668	CE	FORTALEZA
102	MULTIPOSTO	AV. ROGACIANO LEITE 2400	Cocó	555452	9582586	CE	FORTALEZA
103	POSTO ESPERANÇA	RUA.OSCAR ARARIPE,390	Bom Jardim	544979	9580811	CE	FORTALEZA
104	POSTO RODÃO	AV. WASHINGTON SOARES, 660	Edson Queiroz	557072	9584590	CE	FORTALEZA
105	POSTO RODAO	AV. VALDIR DIOGO 700	Parque Valdir Diogo	546181	9579418	CE	FORTALEZA
106	POSTO RODÃO 3	AV. ALBERTO CRAVEIRO 494	Castelão	553681	9581903	CE	FORTALEZA
107	POSTO BRASIL	AV. JOAO PESSOA 4901	Damas	549783	9584907	CE	FORTALEZA
108	POSTO MORRO DO OURO	RUA CORONEL CARNEIRO DA CUNHA 503	Monte Castelo	550451	9588275	CE	FORTALEZA
109	POSTO ABN	AV. BERNARDO MANOEL 8950	Passaré	548792	9576725	CE	FORTALEZA
110	POSTO GAMADÃO	AV. CORONEL CARVALHO 1557	Jardim Iracema	545748	9589224	CE	FORTALEZA
111	POSTO PREMIUM	RUA VITORIA 1255	Henrique Jorge	545813	9583998	CE	FORTALEZA
112	POSTO UNIÃO	AV. AUGUSTO DOS ANJOS 999	Parangaba	547099	9582541	CE	FORTALEZA
113	POSTO UNIÃO	RUA EQUADOR 49	Montese	549907	9583421	CE	FORTALEZA
114	POSTO AVENIDA	AV. JOÃO PESSOA 6094	Damas	549028	9583998	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
115	POSTOS OM 2	RUA OLIMPIO LEITE 400	Alagadiço Novo	557581	9578252	CE	FORTALEZA
116	POSTO FERNANDES TAVORA	AV. SENADOR FERNANDES TÁVORA 2931	Henrique Jorge	544248	9584980	CE	FORTALEZA
117	POSTO ELDORADO	AV. AGUANAMBI 384	Centro	552729	9586557	CE	FORTALEZA
118	POSTO CAPRI	RUA BARAO DE ARATANHA 1344	Fátima	552131	9586081	CE	FORTALEZA
119	POSTO ESTRELA	RUA HERIBALDO COSTA 450	Henrique Jorge	546380	9584751	CE	FORTALEZA
120	RM COMERCIAL DE PETRÓLEO LTDA.	AV. SENADOR FERNANDES TÁVORA 1450	Henrique Jorge	546002	9584376	CE	FORTALEZA
121	POSTO RM	AV. CORONEL CARVALHO 920	Jardim Iracema	545531	9589883	CE	FORTALEZA
122	COMERCIAL DE PETROLEO PLUS LTDA - ME	AV. ROGACIANO LEITE 1057	Luciano Cavalcante	555906	9583688	CE	FORTALEZA
123	POSTO RXN	AV. RADIALISTA JOÃO RAMOS 2004	Pq Novo Mondubim	559359	9585044	CE	FORTALEZA
124	POSTO CARIOCA	AV. LUIS VIEIRA 835	Parque São José	558917	9587171	CE	FORTALEZA
125	POSTO JOÃO XXIII	AV. JÚLIO BRAGA 1999	João XXIII	545803	9582834	CE	FORTALEZA
126	POSTO VIP	AV. GOLDOFREDO MACIEL 277	Parangaba	548292	9582027	CE	FORTALEZA
127	POSTO MARCUS MOREIRA	AV. VISCONDE DO RIO BRANCO 6450	Aerolândia	553213	9585104	CE	FORTALEZA
128	NORTH POSTO	AV. BEZERRA DE MENEZES 2400	São Geraldo	548227	9587078	CE	FORTALEZA
129	POSTO CE 01	AV. DEMETRIO DE MENEZES 121	Antônio Bezerra	546180	9587261	CE	FORTALEZA
130	POSTO TIGRAO	RODOVIA BR 116 KM 12	Messejana	555957	9574040	CE	FORTALEZA
131	POSTO PODIUM	AV. BEZERRA DE MENEZES 2323	São Geraldo	548254	9587032	CE	FORTALEZA
132	POTO TALISMA	RUA JOAQUIM NABUCO 2050	Dionisio Torres	555064	9586226	CE	FORTALEZA
133	POSTO CEARÁ II	RUA CONEGO DE CASTRO 6041	Parque Santa Rosa	544455	9578194	CE	FORTALEZA
134	J A PONTES ME.	AV. OSCAR ARARIPE 3130	Granja Lisboa	542366	9581634	CE	FORTALEZA
135	POSTO SANTA IZABEL	RUA SENADOR ALENCAR 1181	Centro	551501	9588544	CE	FORTALEZA
136	POSTO BRASILEIRO	RUA ALMIRANTE RUBIM 1660	Montese	549184	9583104	CE	FORTALEZA
137	POSTO FAMAS	AV. BARAO DE STUDART 3330	Aldeota	554132	9585217	CE	FORTALEZA
138	POSTO CEARA MOTOR	RUA BARAO DO RIO BRANCO 2469	Centro	551905	9586586	CE	FORTALEZA
139	POSTO XIMENES	RUA MARIA JÚLIA 48	Granja Portugal	544629	9581504	CE	FORTALEZA
140	POSTO XIMENES	AV. CORONEL VIRGÍLIO NOGUEIRA 930	Pq Santa Cecília	543331	9580906	CE	FORTALEZA
141	POSTO XIMENES	RUA EMILIO DE MENEZES 1190	Bom Sucesso	545321	9582149	CE	FORTALEZA
142	POSTO CAMBEBA	AV. WASHINGTON SOARES 5501	Cambeba	557888	9579076	CE	FORTALEZA
143	POSTO PEQUENO GRANDE	AV. AGUANAMBI 1579	Fátima	552921	9585402	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
144	POSTO JANGADEIRO	AV. DA ABOLIÇÃO 3725	Meireles	557054	9588179	CE	FORTALEZA
145	POSTO PEGASO	RUA CARLOS VASCONCELOS 2134	Aldeota	554035	9586553	CE	FORTALEZA
146	POSTO ITAPERY	ANTIGA AV. COSTA E SILVA	Mondubim	549102	9577669	CE	FORTALEZA
147	POSTO LAURO MAIA	RUA LAURO MAIA 700	Fátima	552946	9585863	CE	FORTALEZA
148	F R BASTOS DE OLIVEIRA	AV. GAL OSÓRIO DE PAIVA 7487	Canindezinho	542811	9578007	CE	FORTALEZA
149	F R BASTOS DE OLIVEIRA	AV. SANTOS DUMONT 7700	Papicu	560266	9585558	CE	FORTALEZA
150	POSTO 4444	AV. MISTER HULL 4444	Antônio Bezerra	546154	9586790	CE	FORTALEZA
151	PETROCAR II	RUA DR. JOSE LOURENÇO 1241	Aldeota	554650	9587127	CE	FORTALEZA
152	PETROCAR III	RUA FELINTO BARROSO 52	Fátima	552503	9585394	CE	FORTALEZA
153	POSTO VENTURA IV	AV. WASHINGTON SOARES 1370	Edson Queiroz	557481	9583172	CE	FORTALEZA
154	POSTO APIGUANA	AV. DUQUE DE CAXIAS, 959	Centro	551861	9587594	CE	FORTALEZA
155	POSTO 13 DE MAIO	AV. 13 DE MAIO 233	Fátima	552874	9585043	CE	FORTALEZA
156	POSTO ALDEOTA	AV. SANTOS DUMONT 2035	Aldeota	554804	9587291	CE	FORTALEZA
157	POSTO MODELO JAMAICA	RUA COSTA BARROS 1515	Aldeota	554433	9587612	CE	FORTALEZA
158	POSTO MODELO 2001	AV. BARAO DE STUDART 2255	Aldeota	554473	9586162	CE	FORTALEZA
159	POSTO JARANA	RUA FRANCISCO MATOS 255	Papicu	558939	9585993	CE	FORTALEZA
160	POSTO ENCRUZILHADA	AV. 13 DE MAIO 1488	Fátima	552026	9585790	CE	FORTALEZA
161	POSTO VERDES MARES	AV. ALBERTO SA, 246	Aldeota	557728	9587305	CE	FORTALEZA
162	POSTO GENTILANDIA	AV. 13 DE MAIO 2235	Gentilândia	551439	9586247	CE	FORTALEZA
163	POSTO DESEMBARGADOR MOREIRA	AV. CAROLINA SUCUPIRA 330	Aldeota	555322	9586517	CE	FORTALEZA
164	POSTO ATLANTICO	AV. DA ABOLIÇÃO 3395	Varjota	556811	9588099	CE	FORTALEZA
165	POSTO FINOPOSTO	RUA ISRAEL BEZERRA 1155	Dionisio Torres	556631	9585369	CE	FORTALEZA
166	POSTO OLD CAR	RUA CARAPINIMA 2250	Benfica	551013	9586589	CE	FORTALEZA
167	POSTO DOM MANUEL	AV. DOM MANUEL 989	Centro	553027	9587371	CE	FORTALEZA
168	POSTO CAMINHO DO SOL	RUA CORONEL ERNESTO MATOS 582	Messejana	556673	9576616	CE	FORTALEZA
169	POSTO VITÓRIA	AV. PADRE ANTÔNIO TOMAZ 945	Aldeota	556025	9586446	CE	FORTALEZA
170	POSTO NOSSA SENHORA DA GLORIA	AV. OLIVEIRA PAIVA 868	Cidade dos Funcionários	555565	9580275	CE	FORTALEZA
171	POSTO BEZERRA DE MENEZES	AV. BEZERRA DE MENEZES 216	Farias Brito	550867	9587823	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
172	POSTO ESTRELA	AV. WASHINGTON SOARES 4370A	Edson Queiroz	557713	9580466	CE	FORTALEZA
173	POSTO QUATRO RODAS	AV. JOVITA FEITOSA 1195	Parquelândia	549397	9588615	CE	FORTALEZA
174	POSTO MONSENHOR TABOSA	AV. MONSENHOR TABOSA 1054	Meireles	554233	9588345	CE	FORTALEZA
175	MARIA NEUDIRENE BENTO MARTINS	RUA PADRE PEDRO DE ALENCAR 54	Messejana	556217	9576857	CE	FORTALEZA
176	POSTO LEITE	AVENIDA ANTONIO SALES 902	Aldeota	554013	9586360	CE	FORTALEZA
177	POSTO IPIRANGA	AV. SANTOS DUMONT 5259	Aldeota	557382	9586449	CE	FORTALEZA
178	POSTO PLANALTO	AV. SANTOS DUMONT 6130	Papicu	558001	9586241	CE	FORTALEZA
179	POSTO SIQUEIRA	AV. OSÓRIO DE PAIVA 6800	Parangaba	543174	9578454	CE	FORTALEZA
180	POSTO ARIZONA	RUA ERICO MOTA 1074	Parquelândia	548773	9585846	CE	FORTALEZA
181	POSTO TRIUNFO	AV. SARGENTO HERMINIO 2500	Elery	548556	9588078	CE	FORTALEZA
182	POSTO JOÃO PAULO II	AV. MANOEL MAVIGNIER 3345	Lagoa Redonda	561187	9579372	CE	FORTALEZA
183	POSTO SALINAS	AV. ROGACIANO LEITE 401	Cocó	561941	9583271	CE	FORTALEZA
184	POSTO OFF ROAD	RUA VITAL BRASIL 1132	Bom Sucesso	545370	9582209	CE	FORTALEZA
185	POSTO ESPLANADA	RUA BARAO DE ARACATI 1747	Aldeota	554065	9586926	CE	FORTALEZA
186	POSTO PARAJANA	AV. PARAJANA 3485	Serrinha	550771	9581104	CE	FORTALEZA
187	POSTO STATUS	AV. COSTA E SILVA 3101	Jangurussú	549111	9577667	CE	FORTALEZA
188	POSTO MAIS	AV. WASHINGTON SOARES 6600	Cambeba	557458	9578199	CE	FORTALEZA
189	POSTO IDEAL	AV. GODOFREDO MACIEL 2560	Mondubim	547670	9580192	CE	FORTALEZA
190	POSTO TIJUC - I	AV. JOSE BASTOS 1640	Bom Sucesso	550636	9586883	CE	FORTALEZA
191	POSTO TIJUC - II	RUA AFONSO LOPES 142	Itapery	550896	9581308	CE	FORTALEZA
192	POSTO DEL REY	AV. GOMES DE MATOS 38	Montese	551036	958495	CE	FORTALEZA
193	POSTO CARIBE	AV. ENGENHEIRO SANTANA JUNIOR 2900	Papicu	556667	9585841	CE	FORTALEZA
194	POSTO CEARENSE	AV. HERACLITO GRAÇA 20	Centro	552803	9587294	CE	FORTALEZA
195	ORGANIZAÇÃO DE COMBUSTIVEIS E PEÇAS LTDA.	AV. JOSE BASTOS 455	Pan Americano	550441	9588267	CE	FORTALEZA
196	POSTO SUMARÉ	AV. DEDE BRASIL 5255	Castelão	552130	9580018	CE	FORTALEZA
197	POSTO GUARARAPES	AV ALBERTO MAGNO 333	Montese	550617	9584597	CE	FORTALEZA
198	POSTO VIA DUMONT	AV. SANTOS DUMONT 5071	Papicu	557265	9586529	CE	FORTALEZA
199	BAJ-COM. VAREJISTA DE COMB. LTDA.	AV. PONTES VIEIRA 1341	Dionisio Torres	553199	9585101	CE	FORTALEZA
200	POSTO UNIÃO	AV. BORGES DE MELO 1277	Vila União	552160	9584372	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
201	POSTO NOSSA SENHORA APARECIDA	TRAVESSA MONTESE 50	Montese	549914	9583415	CE	FORTALEZA
202	POSTO ESTAÇÃO PRIMEIRA	AV. PRESIDENTE CASTELO BRANCO 709	Jacarecanga	552483	9588693	CE	FORTALEZA
203	POSTO JUPITER	AV. FRANCISCO SÁ 3965	Carlito Pamplona	548806	9589190	CE	FORTALEZA
204	POSTO TETRA	AV. JOSÉ LEON 1140	Jardim das Oliveiras	555392	9581267	CE	FORTALEZA
205	POSTO SANTA RITA	AV. OLIVEIRA PAIVA 245	Cidade dos Funcionários	555544	9580259	CE	FORTALEZA
206	POSTO MILLENNIUM	RUA CONEGO DE CASTRO 2285	Vila Manoel Sátiro	546873	9581077	CE	FORTALEZA
207	POSTO JP	RUA DOUTOR PERGENTINO MAIA 808	Messejana	556886	9576453	CE	FORTALEZA
208	POSTO MONTEZUMA I	AV. ESTRADA BARAO DE AQUIRAZ 2530	Coaçu	558077	9574580	CE	FORTALEZA
209	CIGLA COM. VAREJ. DE DERIV. DE PETRÓLEO LTDA.	AV. DEDE BRASIL 1555	Parangaba	549581	9581715	CE	FORTALEZA
210	POSTO GB	AV. RUI BARBOSA 2929	Joaquim Távora	554039	9585653	CE	FORTALEZA
211	POSTO REIS MAGOS II	AV. WASHINGTON SOARES 611	Edson Queiroz	557121	9584537	CE	FORTALEZA
212	POSTO CIDADE	AV. DESEMBARGADOR GONZAGA 45	Cidade dos Funcionários	555077	9581313	CE	FORTALEZA
213	POSTO NOVO	AV. JOVITA FEITOSA 3175	Parquelândia	548183	9586373	CE	FORTALEZA
214	POSTO GG KIKO	AVENIDA I 845 3ª ETAPA	Conjunto Ceará	543928	9583239	CE	FORTALEZA
215	POSTO RANCHO	RODOVIA BR 116 9310	Barroso	554356	9581119	CE	FORTALEZA
216	POSTO CASTRO	AV. ODILON GUIMARAES 1600	Lagoa Redonda	557912	9577253	CE	FORTALEZA
217	POSTO VASCONCELOS	AV. HUMBERTO MONTE 2550	Monte Castelo	547994	9586585	CE	FORTALEZA
218	C. R. G. V. COM. DE COMB. DE FORTALEZA	AV. PONTES VIEIRA 1485	Dionisio Torres	554442	9585259	CE	FORTALEZA
219	JF 5 COM. DE DERIVADOS DE PETRÓLEO LTDA.	RUA JOSE FACANHA 555	Damas	549220	9585181	CE	FORTALEZA
220	POSTO SÃO MIGUEL	RUA DOUTOR THOMPSON BULCAO 850	Luciano Cavalcante	556396	9583295	CE	FORTALEZA
221	POSTO SANTO ANTONIO'	AV. MISTER HULL 3160	Antônio Bezerra	54348	9586948	CE	FORTALEZA
222	POSTO SÃO DOMINGOS JOCKEY	AV. LINEU MACHADO 560	Pici	546983	9583806	CE	FORTALEZA
223	POSTO SETE CARIOCA	AV. ALBERTO CRAVEIRO 2585	Castelão	553260	9579713	CE	FORTALEZA
224	POSTO II PVEX	AV. MINISTRO JOSE AMERICO 532	Cambeba	556084	9578735	CE	FORTALEZA
225	POSTO NOTA DEZ	AV. PADRE ANTONIO TOMAS 3600	Papicu	557707	9585861	CE	FORTALEZA
226	MULTIPOSTO	AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS 8710	Serrinha	549633	9579479	CE	FORTALEZA
227	POSTO PRAINHA	PRAÇA CRISTO REDENTOR S/N	Centro	548353	9590102	CE	FORTALEZA
228	POSTO ÁGUIA	RUA EMILIO DE MENESES 623	Bom Sucesso	545832	9581969	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
229	J & J COM. DE COMB. E DER. DE PETROLEO LTDA	AV. MISTER HULL 3300	Presidente Kennedy	547178	9586931	CE	FORTALEZA
230	POSTO AÇAI	AV. DOS EXPEDICIONÁRIOS 4474	Benfica	551171	9584667	CE	FORTALEZA
231	POSTO SÃO FRANCISCO DER. DE PETROLEO LTDA	RUA STENIO GOMES 956	Jardim das Oliveiras	555572	9581257	CE	FORTALEZA
232	POSTO SÃO GABRIEL	RUA SAO JOSE 100	Centro	552879	9588120	CE	FORTALEZA
233	POSTO PRAIA	AV. BARÃO DE STUDART 81	Aldeota	555164	9588285	CE	FORTALEZA
234	POSTO SÃO MIGUEL	AV. GODOFREDO MACIEL 4015	Mondubim	547309	9578860	CE	FORTALEZA
235	POSTO FÓRMULA	AV. JOVITA FEITOSA 464	Parquelândia	550196	9586818	CE	FORTALEZA
236	POSTO SANTO EXPEDITO	AVENIDA F 800	José Walter	548764	9576144	CE	FORTALEZA
237	I.P. COM. VAR. DE DERIV. DO PETRÓLEO LTDA.	RUA MONSENHOR SALAZAR 1175	Pio XII	554504	9584881	CE	FORTALEZA
238	POSTO REIS MAGOS	AV SEN. VIRGILIO TAVORA 2099	Aldeota	556009	9586039	CE	FORTALEZA
239	POSTO DALLAS	AV. GODOFREDO MACIEL 1725	Maraponga	547877	9580631	CE	FORTALEZA
240	POSTO MARINA	AV. PRESIDENTECASTELO BRANCO 240	Moura Brasil	551894	9588889	CE	FORTALEZA
241	POSTO DE MARAPONGA	AV. GODOFREDO MACIEL 2400	Maraponga	547722	9580379	CE	FORTALEZA
242	POSTO DALLAS	AV. PROFESSOR GOMES DE MATOS 1065	Montese	550383	9584160	CE	FORTALEZA
243	POSTO DALLAS	RUA ALVARO DE ALENCAR 787	Carlito Pamplona	549067	9589094	CE	FORTALEZA
244	POSTO MAXIMOS	AV. DEP. PAULINO ROCHA 2000	Castelão	554334	9578728	CE	FORTALEZA
245	POSTO G3	RUA PEDRO DE SOUSA 547	Ancuri	555504	9574158	CE	FORTALEZA
246	POSTO TEXAS	AV. VISCONDE DO RIO BRANCO 5922	Aerolândia	553501	9583940	CE	FORTALEZA
247	POSTO VIA SUL	RUA LUIZA MIRANDA COELHO 1570	Luciano Cavalcante	557523	9582549	CE	FORTALEZA
248	POSTO SÃO DOMINGOS MODELO	AV. OLIVEIRA PAIVA 1414	Cidade dos Funcionários	556236	9580426	CE	FORTALEZA
249	SOLUÇÃO AUTOS	AV. DEPUTADO PAULINO ROCHA 1100	Cajazeiras	554559	9579209	CE	FORTALEZA
250	POSTO BOM JESUS	AV. OSCAR ARARIPE 3735	Granja Lisboa	541715	9581798	CE	FORTALEZA
251	MULTIPOSTO	AV. GODOFREDO MACIEL 3489	Parangaba	547457	9579310	CE	FORTALEZA
252	POSTO MARCUS	AV. DOS EXPEDICIONARIOS 10775	Itapery	549104	9577679	CE	FORTALEZA
253	POSTO COMETA	RUA PADRE PERDIGAO SAMPAIO 473	Quintino Cunha	544957	9587034	CE	FORTALEZA
254	POSTO PAPAGAIO	AV. PONTES VIEIRA 1700	São João do Tauape	554866	9585266	CE	FORTALEZA
255	POSTO BOAVENTURA III	RUA NEREU RAMOS 60	Parangaba	548126	9581443	CE	FORTALEZA
256	POSTO BOA VISTA	AV. ALBERTO CRAVEIRO 1921/41	Castelão	553495	9580289	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
257	POSTO SÃO GERARDO	AV. BEZERRA DE MENEZES 1759	São Geraldo	548817	9587142	CE	FORTALEZA
258	POSTO BOAVENTURA	AV. GODOFREDO MACIEL 6060	Mondubim	546615	9576935	CE	FORTALEZA
259	POSTO BOAVENTURA II	AVENIDA JOSE BASTOS 3250	Rodolfo Teófilo	550080	9585679	CE	FORTALEZA
260	POSTO HOLANDA	RUA GERMANO FRANK 725	Parangaba	548618	9582451	CE	FORTALEZA
261	S P SOARES	AV. SARGENTO HERMÍNIO 1176	Monte Castelo	549496	9588250	CE	FORTALEZA
262	POSTO CANANEIA	AV. PROFESSOR GOMES DE MATOS 1413	Montese	550159	9583878	CE	FORTALEZA
263	POSTO ANEL VIARIO	AV. QUARTO ANEL VIARIO 1700	Messejana	555333	9570880	CE	FORTALEZA
264	POSTO ECO	AV. DOM LUIS 970	Meireles	556316	9587134	CE	FORTALEZA
265	POSTO SÃO CRISTÓVÃO	RODOVIA BR 116 KM 15	Messejana	5555800	9574937	CE	FORTALEZA
266	POSTO MEGA	AV. ANTONIO JUSTA 2400	Meireles	556515	9587857	CE	FORTALEZA
267	POSTO ALFA	AV. PRESIDENTE CASTELO BRANCO 3100	Cristo Rdentor	549126	9589768	CE	FORTALEZA
268	POSTO GUARACI	PRACA GUSTAVO BARROSO	Jacarecanga	551041	9588466	CE	FORTALEZA
269	POSTO MENDES I	AV. GAL. OSORIO DE PAIVA 2450	Parangaba	546194	9581474	CE	FORTALEZA
270	POSTO CAUIPE	AV. SENADOR VIRGILIO TAVORA 1085	Meireles	556314	9586963	CE	FORTALEZA
271	POSTO CAUIPE	AVENIDA CARAPINIMA 1756	Benfica	551396	9586952	CE	FORTALEZA
272	POSTO CAUIPE	RODOVIA BR 116 KM 10,4	Messejana	555289	9579130	CE	FORTALEZA
273	POSTO CAUIPE	AV. DEDE BRASIL 1530	Itapery	549568	9581729	CE	FORTALEZA
274	POSTO CAUIPE	RODOVIA BR 116 5885	Aerolândia	553750	9582957	CE	FORTALEZA
275	POSTO PEGASUS	RUA THEODOMIRO DE CASTRO 410	Álvaro Weyne	547454	9588978	CE	FORTALEZA
276	POSTO MAKRO II	AV. BARAO DE STUDART 1670	Aldeota	554577	9586684	CE	FORTALEZA
277	POSTO VENTURA III	AV. BORGES DE MELO 1525	Alto da Balança	551990	9584518	CE	FORTALEZA
278	POSTO LLG	AV. DEDE BRASIL 2745	Serrinha	550767	9581097	CE	FORTALEZA
279	POSTO PASSARE	AV. DEDÉ BRASIL 5555	Passaré	552377	9579635	CE	FORTALEZA
280	POSTO XIMENES MOTOS	RUA JOSE TORRES 1228	Granja Portugal	543686	9582553	CE	FORTALEZA
281	POSTO ANTONIO BEZERRA	AV. MISTER HULL 4754	Antônio Bezerra	545030	9586627	CE	FORTALEZA
282	POSTO PERIMETRAL	RUA SENADOR ALVARO ADOLFO 1789	Antônio Bezerra	546189	9587263	CE	FORTALEZA
283	PST MASTER AUTO	RUA PADRE ANTONIO TOMAZ 2435	Aldeota	556614	9586249	CE	FORTALEZA
284	SHOPPING CAR QUATRO RODAS	AV. JOSE BASTOS 3950	Damas	549618	9585234	CE	FORTALEZA
285	POSTO CANAÃ	AV. ANTONIO SALES 2880	Dionisio Torres	555706	9585840	CE	FORTALEZA

Nº	Nome de Fantasia	Endereço	Bairro	Longitude	Latitude	UF	Município
286	POSTO RIQUE	AV. FRANCISCO SA 2707	Monte Castelo	549880	9588833	CE	FORTALEZA
287	POSTO MEIRELES	AV. PROFESSOR GOMES DE MATOS 1166	Montese	550390	9584157	CE	FORTALEZA
288	POSTO G M	AV. MISTER HULL 3112	Antônio Bezerra	547360	9586950	CE	FORTALEZA
289	POSTO JACAREY	AV. OLIVEIRA PAIVA 2163	Cidade dos Funcionários	556965	9580390	CE	FORTALEZA
290	POSTO H B	RODOVIA BR 116 356 KM 4,2	Aerolândia	553643	9583317	CE	FORTALEZA
291	POSTO VIDAL DE NEGREIROS	AV. HERACLITO GRAÇA 1510	Aldeota	554062	9586927	CE	FORTALEZA
292	POSTO RECAMONDE II	AV. DR. THEBERGER 1620	Colônia	548122	9588915	CE	FORTALEZA
293	POSTO PREDILETO	RUA VITORIA 577	Henrique Jorge	546130	9584598	CE	FORTALEZA
294	POSTO PIONEIRO	AV. A 855 3ª ETAPA	Conjunto Ceará	543588	9582661	CE	FORTALEZA
295	POSTO RODÃO	RUA BENJAMIN BRASIL 1585	Mondubim	548790	9579206	CE	FORTALEZA
296	POSTO ALIANÇA ALDEOTA	AV. SANTOS DUMONT 5450	Papicu	557385	9586442	CE	FORTALEZA
297	POSTO ALIANÇA	AV. ANTONIO SALES 1340	Aldeota	554208	9586286	CE	FORTALEZA
298	POSTO ALILANÇA PRAIA	AV. SENADOR VIRGILIO TAVORA 330	Meireles	556519	9587849	CE	FORTALEZA
299	POSTO ALIANÇA MUCURIBE	AV. VICENTE DE CASTRO 5700	Mucuripe	558429	9589342	CE	FORTALEZA
300	POSTO OCEANO	AV. FRANCISCO SA 2815	Jacarecanga	549064	9589091	CE	FORTALEZA
301	POSTO SHOPPING MANGUE	AV. RAUL BARBOSA, 900	Pio XII	554987	9584475	CE	FORTALEZA
302	POSTO STAR	RUA PROFESSOR COSTA MENDES 2007	Rodolfo Teófilo	549348	9585822	CE	FORTALEZA
303	POSTO JOTACAR	AV. SARGENTO HERMINIO 1500	Monte Castelo	549500	9588253	CE	FORTALEZA

ANEXOS

ANEXO A - CADASTRO DE POÇOS EM FORTALEZA

ANEXO B - DADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM FORTALEZA

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloro (mg/L Cl ⁻)	Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio (mg/L Na ⁺)	Potássio (mg/L K ⁺)	Cálcio (mg/L Ca ⁺)	Magnésio (mg/L Mg ⁺)	Ferro Total (mg/L Fe)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniacal (mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD (mg/L)
P - 01	552442	9578118	6,67	973	68	248	21,78	160,4	11,2	10,2	20,2	0,04	110	0,08	14,25	506
P - 02	552830	9578016	7,33	662	98	127	10	133,2	5,6	4,7	1,1	0,1	16,5	0,4	9,5	344
P - 03	551755	9577431	6,67	1180	116	312,7	6,0	209,5	11,2	12,5	18,7	0,1	109,8	0,5	1,5	614
P - 04	551997	9576964	6,72	1611	66	515	5,05	190	14,5	38,4	53,3	0,05	320	0,07	1,88	838
P - 05	552160	9577056	8,1	693	114	133	17,74	100,8	18,9	17,3	13,4	0,02	100	0,08	4,14	360
P - 06	552937	9577968	6,5	669	69	171	7,0	91,6	5,1	22	16,2	0,1	123,5	0,5	1,0	348
P - 07	552976	9577674	4,96	861	9,0	231	4,0	98,5	4,6	13,3	27,6	0,1	149	0,9	23	448
P - 08	552280	9577351	7,16	644	140	117	34,42	56,8	9,3	32,9	27,4	0,03	198	0,05	1,58	335
P - 09	552137	9577326	6,17	532	48	120	5,83	47,1	8,8	20	12,48	0,19	102	0,65	6,05	276,6
P - 10	552639	9576885	7,11	547	47	113	21,29	47,9	2,1	29,8	18	0,03	151	0,05	7,13	284
P - 11	553659	9576955	7,45	1038	169	210	76,09	142	12,5	49,4	29	0,02	247	0,06	8,46	540
P - 12	544601	9582472	8,13	917	325,3	131,8	42,2	105,1	21,6	35,2	50,9	ND	300	0,05	2,8	732,3
P - 13	544140	9582680	6,21	623	99	104	21	68	11	32	14,4	ND	140	0,05	20,1	367,4
P - 14	544322	9581820	6,72	571	135,5	127,5	19,2	81	13,7	27,2	19,2	ND	148	0,05	0,8	432,4
P - 15	544354	9581332	5,97	501	51,8	109	38,1	62,7	9,3	17,6	15,4	ND	108	0,03	2,8	315,4
P - 16	544217	9581200	6,44	967	197	172,7	43,4	118,4	23,9	46,4	29,8	0,5	240	1,68	25	659,3
P - 17	543361	9581254	7,16	858	276	143,9	25	132,6	6,4	33,6	25	ND	188	0,12	3,2	675,5
P - 18	544435	9580318	6,13	659	74	129,5	35,1	92,7	20,8	16	16,3	ND	108	1,19	13,4	394
P - 19	543313	9580476	7,18	1472	416,5	285,8	46,3	230,4	8,1	48	42,2	0,7	296	1,08	4,5	1108,5
P - 20	544098	9579624	7,96	2050	532,3	456,5	22,4	400	9,3	37	27,84	0,3	208	0,6	3,2	1508,3
P - 21	547403	9585945	6,8	247	50,4	54,12	0,61	39,79	3,45	3,1	3,3	0,17	21,34	4,47	ND	159,4
P - 22	547460	9586140	5,6	298	14,82	56,05	16,19	44,73	5,14	1,55	6,13	0,01	29,1	0,64	0,62	175
P - 23	547155	9585996	4,5	249	5,93	60,88	1,85	37,38	3,45	ND	5,19	0,15	21,34	0,98	1,04	127

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloroeto (mg/L Cl ⁻)	Sulfato (mg/L SO ₄ ²⁻)	Sódio (mg/L Na ⁺)	Potássio (mg/L K ⁺)	Cálcio (mg/L Ca ⁺)	Magnésio (mg/L Mg ⁺)	Ferro Total (mg/L Fe)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amóniacal (mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD (mg/L)
P - 24	546986	9585975	5,2	268	5,93	28,99	10,3	22,46	5,14	1,55	4,24	0,11	21,34	0,57	2,09	134
P - 25	547142	9586110	4,86	202	10	46	1,0	22	2,0	1,0	4,0	0,2	20	0,06	3,0	99
P - 26	546384	9586140	6,92	508	103,8	101,5	14,95	74,06	8,44	6,21	10,84	ND	60,14	5,16	1,88	333,3
P - 27	546361	9585986	7,81	239	290,5	119,8	27	164,3	11,64	6,98	14,14	0,17	75,66	1,12	1,56	623
P - 28	546510	9586048	7,83	244	305,4	180,7	21,49	176,9	13,83	4,66	16,03	0,05	77,6	1,51	0,21	682
P - 29	547280	9586590	5,3	453	17,79	115	8,24	60,61	5,14	4,66	10,37	0,82	54,32	1,25	1,88	232,3
P - 30	547099	9586640	6,14	523	53,36	107,3	24,58	76,06	6,8	6,98	10,37	3,04	60,14	2,76	5,43	262
P - 31	546924	9586498	6,68	211	406,3	221,8	15,29	207,1	14,75	17,25	35,24	0,8	188,16	0,57	0,1	106
P - 32	546800	9586280	6,29	201	31,13	47,35	8,95	35,02	4,13	3,88	6,13	6,93	34,92	2,54	1,67	101
P - 33	547029	9586316	7,52	280	84,49	115	6,64	61,54	7,79	13,97	16,03	ND	100,88	1,76	0,21	140
P - 34	547636	9586924	6,9	616	74,12	145,9	7,84	74,06	6,8	13,19	19,33	0,86	112,52	0,98	ND	343,1
P - 35	547510	9585180	5,1	171	11,86	36,72	2,03	33,47	1,74	3,1	6,13	0,02	32,98	5,1	0,0	101
P - 36	546945	9585658	4,9	438	5,93	44,45	10,95	32,7	3,45	0,78	4,24	0,16	19,4	1,05	1,25	219
P - 37	547472	9585838	4,6	686	11,86	116	0,43	70,12	8,44	1,94	18,15	0,07	79,54	0,85	7,87	343
P - 38	546993	9585446	6,63	711	101	166	8,0	100	3,0	8,0	22	0,2	116	<LD	2,0	417
P - 39	546979	9585340	6,17	404	30	98	1,0	65	2,0	6,0	8,0	0,2	48	0,04	5,0	232
P - 40	547109	9585294	4,77	177	7,0	30	14	9,0	1,0	2,0	6,0	0,2	32	<LD	4,0	88
P - 41	548260	9590184	7,86	716	113	103	58	39	19	56	23	4,0	<LD	0,26	0,3	423
P - 42	548159	9590507	7,33	786	79	209	13	67	10	19	31	12	<LD	ND	1,0	429
P - 43	549626	9590033	6,85	986	163	186	77	83	25	67	33	11	0,1	0,02	0,4	658
P - 44	550033	9589636	6,63	846	138	135	80	67	22	42	25	8,0	<LD	0,02	0,3	528
P - 45	550020	9589683	6,89	947	146	131	64	70	22	45	41	8,0	<LD	0,02	0,3	542
P - 46	550080	9589718	7,09	938	163	114	93	86	27	26	40	7,0	<LD	0,02	0,3	571

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto(mg/L Cl ⁻)	Sulfato(mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio(mg/L Na ⁺)	Potássio(mg/L K ⁺)	Cálcio(mg/L Ca ⁺)	Magnésio(mg/L Mg ⁺)	Ferro Total(mg/L Fe)	Dureza Total(mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniaco(mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD(mg/L)
P - 47	549615	9590012	7,89	1026	173	169	75	94	29	59	29	13	<LD	0,04	0,4	652
P - 48	550104	9589625	7,02	1032	141	141	86	89	29	54	37	6,0	<LD	ND	0,4	607
P - 49	547395	9589573	7,93	947	69	226	37	111	16	22	13	12	0,07	<LD	0,4	510
P - 50	547381	9589574	8,04	432	89	36	67	75	7,0	2,0	5,0	36	ND	<LD	1,0	282
P - 51	546910	9590512	6,33	746	49	120	46	78	16	24	20	8,0	0,7	<LD	0,5	380
P - 52	546822	9590561	6,6	604	48	68	79	57	12	22	20	8,0	ND	0,28	0,3	306
P - 53	546935	9590309	5,76	422	25	74	32	50	9,0	13	13	9,0	ND	0,03	0,3	233
P - 54	547303	9589933	6,71	436	64	57	64	41	14	22	12	8,0	0,06	<LD	0,3	290
P - 55	548514	9590119	7,53	760	59	196	17	81	9,0	24	28	10	ND	<LD	1,0	450
P - 56	548504	9590095	7,58	586	108	82	52	58	14	40	13	4,0	0,08	0,02	0,4	423
P - 57	556633	9577629	6,2	564	39	121	22	52	10	16	18	ND	116	ND	15	292
P - 58	557219	9576427	5,6	727	74	132	9,0	73	4,0	18	21	ND	132	ND	22	353
P - 59	556570	9575922	6,5	428	79	50	1,0	32	10	19	16	ND	116	ND	17	223
P - 60	556844	9576907	6,1	776	64	140	39	73	15	24	25	ND	164	1,6	14	394
P - 61	555896	9578405	5,6	776	82	149	65	72	9,0	24	36	ND	208	ND	10	447
P - 62	556746	9576426	7,9	585	118	144	25	67	10	21	21	ND	140	ND	0,2	405
P - 63	556452	9577277	7,5	319	104	56	3,0	36	9,0	10	10	0,2	64	0,3	3,0	228
P - 64	557267	9576862	4,7	345	20	65	1,0	37	9,0	2,0	11	ND	48	ND	8,0	152
P - 65	555994	9577393	5,8	359	30	82	15	34	4,0	8,0	14	ND	80	ND	9,0	196
P - 66	557514	9577561	5,5	354	30	84	15	45	7,0	3,0	14	ND	68	ND	7,0	205
P - 67	557518	9577394	7,3	679	89	193	17	81	7,0	22	27	ND	168	ND	1,0	436
P - 68	555606	9576249	5,4	586	25	145	10	78	7,0	11	18	ND	104	ND	12	306
P - 69	556320	9576138	5,3	571	25	124	31	57	10	13	24	ND	132	ND	22	305

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto(mg/L Cl ⁻)	Sulfato(mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio(mg/L Na ⁺)	Potássio(mg/L K ⁺)	Cálcio(mg/L Ca ⁺)	Magnésio(mg/L Mg ⁺)	Ferro Total(mg/L Fe)	Dureza Total(mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniacal(mg /L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD(mg/L)
P - 70	555346	9577385	5,8	321	25	88	5,0	36	4,0	8,0	12	ND	68	ND	2,0	179
P - 71	555847	9583460	6,03	606	35	122	22	69	7,0	16	17	0,5	112	0,01	15	348
P - 72	555846	9583520	5,60	180	17	25	28	11	3,0	10	11	0,2	68	0,01	4,0	122
P - 73	557143	9582714	6,41	432	84	50	33	28	8,0	24	17	0,6	132	ND	22	335
P - 74	556348	9583187	6,13	259	30	46	31	26	7,0	8,0	4,0	0,2	36	0,15	3,0	164
P - 75	556779	9581915	6,92	316	25	66	20	31	3,0	8,0	7,0	0,1	48	0,03	4,0	177
P - 76	556766	9582151	6,62	187	39	18	29	26	2,0	3,0	3,0	0,1	20	0,02	2,0	128
P - 77	555825	9581271	6,80	672	39	120	22	69	9,0	11	16	0,2	96	0,02	26	391
P - 78	555683	9582056	7,38	449	84	58	34	65	6,0	11	8	0,9	60	ND	7,0	294
P - 79	555711	9581743	6,84	558	81	96	29	69	7,0	13	16	1,0	100	ND	15	371
P - 80	555069	9581383	6,20	948	20	198	23	86	11	22	29	0,1	176	2,20	45	571
P - 81	555248	9580407	6,95	786	168	156	30	72	8,0	40	29	0,2	220	ND	4,0	519
P - 82	553564	9582830	6,12	288	20	72	7,0	30	3,0	11	8,0	0,9	60	ND	1,0	155
P - 83	553575	9582844	6,05	298	35	72	7,0	29	3,0	10	10	0,2	64	ND	1,0	168
P - 84	553719	9582584	5,95	743	44	149	40	69	11	22	31	0,1	184	ND	31	487
P - 85	555060	9585560	5,81	893	69	204	48	99	23	35	31	0,3	216	0,07	46	556
P - 86	553280	9585040	5,69	857	54	236	55	117	22	22	27	0,8	168	0,03	30	565
P - 87	554380	9585600	5,97	698	59	177	61	78	18	24	29	0,1	180	0,11	18	464
P - 88	553940	9585880	5,5	687	35	169	56	87	16	18	26	0,3	152	0,03	29	436
P - 89	553720	9586120	6,4	599	59	183	39	76	12	24	21	0,6	148	0,03	4,0	420
P - 90	554970	9585780	4,7	556	15	155	46	73	11	11	19	0,1	108	0,02	16	347
P - 91	555350	9585800	5,45	538	20	152	54	70	10	16	18	0,2	116	0,04	2,0	342
P - 92	555440	9585500	7,62	1348	89	385	49	127	13	75	56	0,2	420	0,03	7,0	802

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto (mg/L Cl ⁻)	Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio (mg/L Na ⁺)	Potássio (mg/L K ⁺)	Cálcio (mg/L Ca ⁺)	Magnésio (mg/L Mg ⁺)	Ferro Total (mg/L Fe)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniacal (mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD (mg/L)
P - 93	554340	9585130	4,71	726	19	169	62	91	25	13	29	0,5	152	0,06	29	430
P - 94	553760	9584940	6,14	806	84	205	56	98	19	27	30	0,2	192	0,02	18	538
P - 95	554620	9585640	5,17	447	15	135	43	64	11	6,0	16	0,4	84	0,04	3,0	295
P - 96	553920	9586200	5,94	251	39	47	9,0	35	8,0	2,0	4,0	6,04	22	0,15	3,0	147
P - 97	553180	9586580	4,53	841	12	195	30	94	11	16	30	0,06	164	0,06	17	405
P - 98	553240	9585640	5,83	486	20	159	33	59	18	8	16	<LD	88	0,1	12	326
P - 99	555320	9585320	5,07	566	20	179	56	68	19	11	22	0,1	120	<LD	4,0	380
P - 100	548541	9588061	5,43	448	25	86	13	34	7	11	13	0,1	84	0,3	17	265
P - 101	548548	9588115	4,80	443	12	78	11	32	6	6	13	0,1	72	0,2	13	217
P - 102	549148	9587442	5,34	743	22	134	35	69	20	16	19	0,2	120	0,2	26	431
P - 103	549280	9587690	6,72	994	409	112	36	65	18	56	52	2,0	356	0,6	16	820
P - 104	549160	9588103	5,97	412	39	64	8	50	7	3	7	0,1	36	ND	10	221
P - 105	548708	9588572	5,92	548	39	104	30	55	12	16	13	0,1	96	0,7	11	321
P - 106	550090	9587374	6,43	688	118	110	75	65	12	37	16	0,1	160	0,9	12	485
P - 107	550367	9587916	6,40	993	84	146	67	90	17	54	17	0,1	208	1,2	35	630
P - 108	549277	9586814	6,11	766	94	116	54	63	16	46	20	0,1	200	0,7	14	472
P - 109	549514	9587050	7,40	951	227	134	62	88	10	75	29	0,1	308	ND	20	712
P - 110	548829	9587226	6,44	434	64	60	46	70	9	4	7	0,1	40	ND	8	295
P - 111	549020	9587218	6,19	914	89	162	55	84	22	50	25	0,2	228	1,1	28	611
P - 112	548490	9588639	6,72	1039	74	148	60	81	26	54	15	0,1	200	1,9	31	597
P - 113	549557	9588314	6,63	688	64	112,0	44	62	15	32	17	0,1	152	0,3	16	416
P - 114	547830	9589179	6,83	319	55	26,0	48	53	3	1	2	0,2	12	ND	1	191
P - 115	545019	9586193	5,31	583	15	130,0	6	70	9	5	15	0,1	76	ND	9	289

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto (mg/L Cl ⁻)	Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio (mg/L Na ⁺)	Potássio (mg/L K ⁺)	Cálcio (mg/L Ca ⁺)	Magnésio (mg/L Mg ⁺)	Ferro Total (mg/L Fe)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniacal (mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD (mg/L)
P - 116	545600	9586972	5,84	556	54	136,0	16	83	11	5	10	0,7	52	0,9	3	327
P - 117	545593	9586068	4,73	715	10	120,0	91	70	15	14	30	0,1	160	ND	19	432
P - 118	545575	9586244	5,69	745	22	128,0	86	79	21	21	27	0,1	164	ND	12	436
P - 119	547102	9581750	4,66	622	10	152,0	30	83	10	11	16	0,3	96	1,0	18	389
P - 120	543114	9582878	8,39	720	237	84,0	74	95	6	48	19	0,1	200	ND	3	575
P - 121	543374	9583225	7,23	724	212	102,0	52	105	3	27	19	0,1	148	ND	5	543
P - 122	550104	9584738	6,19	774	69	126,0	88	84	14	30	28	0,1	192	ND	22	536
P - 123	549820	9584048	6,28	759	86	128,0	68	70	10	32	34	0,2	220	0,4	20	516
P - 124	549825	9584058	6,43	624	94	94	49	57	11	24	26	0,1	168	0,2	17	429
P - 125	549698	9583473	6,81	892	153	156	86	85	18	42	40	0,1	272	0,1	15	647
P - 126	549815	9578972	7,43	561	104	90	18	53	3	32	19	0,1	160	ND	17	393
P - 127	553667	9586272	5,24	474	30	96	24	52	7	18	13	0,1	100	0,4	17	313
P - 128	551034	9584704	6,80	1046	399	70	135	141	15	18	25	0,1	148	ND	9	842
P - 129	549741	9587004	6,21	497	94	88	61	38	5	32	15	0,2	144	0,8	9	374
P - 130	549228	9582805	7,31	336	108	36	26	62	3	2	3	0,1	16	ND	5	262
P - 131	561108	9578334	6,29	374	44	64	64	67	3	2	5	0,2	24	ND	2	259
P - 132	561263	9578556	5,26	242	20	36	21	18	20	3	3	0,2	20	ND	26	235
P - 133	558059	9578420	6,90	371	64	86	1	46	3	13	14	0,1	92	ND	1	232
P - 134	555588	9573900	6,60	679	108	141	2	70	11	34	24	0,1	184	0,1	14	452
P - 135	554658	9570877	5,25	538	17	136	6	67	9	3	21	0,1	96	ND	18	339
P - 136	559861	9577195	6,71	564	84	88	36	78	9	6	18	0,1	92	ND	8	356
P - 137	558599	9577566	6,42	406	54	74	10	56	8	6	11	0,1	60	0,1	6	248
P - 138	559300	9576868	5,71	158	12	34	5	20	1	2	7	0,1	32	ND	2	90

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto(mg/L Cl ⁻)	Sulfato(mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio(mg/L Na ⁺)	Potássio(mg/L K ⁺)	Cálcio(mg/L Ca ⁺)	Magnésio(mg/L Mg ⁺)	Ferro Total(mg/L Fe)	Dureza Total(mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniacal(mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD(mg/L)
P - 139	559428	9578968	5,55	393	10	82	9	53	3	3	12	0,2	60	ND	11	221
P - 140	549610	9582121	5,55	511	15	96	59	52	11	16	21	0,1	128	ND	14	332
P - 141	550193	9581699	6,62	377	94	66	4	61	5	3	8	0,2	40	ND	7	272
P - 142	551207	9585065	7,40	724	79	125	54	75	14	42	18	0,1	180	ND	19	488
P - 143	553065	9581198	6,36	870	69	228	5	116	8	11	22	0,1	120	ND	16	530
P - 144	552986	9581598	6,09	482	64	78	8	76	5	3	5	0,1	28	ND	12	290
P - 145	552220	9580587	6,49	632	96	156	1	84	9	11	12	0,1	80	ND	3	382
P - 146	548597	9585579	6,12	542	49	106	54	62	9	22	16	0,2	124	ND	7	350
P - 147	546663	9587329	5,85	654	49	92	101	61	20	32	19	0,1	160	0,4	17	448
P - 148	551443	9586933	5,36	747	30	162	50	82	20	30	18	0,1	152	0,8	20	479
P - 149	558699	9588714	6,19	733	30	108	24	65	5	29	15	0,1	136	ND	20	366
P - 150	546999	9583176	6,79	733	163	128	18	107	2	3	8	0,2	40	ND	7	458
P - 151	557210	9586220	5,61	502	39	94	54	28	6	24	13	0,1	116	0,1	4	276
P - 152	559963	9588010	5,33	990	182	176	55	104	11	30	22	0,1	168	ND	39	754
P - 153	559512	9588610	6,98	972	59	180	75	80	11	59	22	0,1	240	0,1	34	634
P - 154	553908	9588302	6,97	547	89	94	36	35	7	22	23	0,3	152	ND	8	339
P - 155	554170	9588567	6,41	631	64	108	45	43	11	24	27	0,1	172	ND	18	400
P - 156	547838	9588294	4,80	739	15	136	5	84	14	6	15	0,3	80	0,1	32	418
P - 157	545086	9586830	5,65	626	30	120	83	55	14	13	22	0,1	124	0,6	13	395
P - 158	544712	9589144	5,33	917	15	174	36	77	10	26	36	0,1	212	ND	32	514
P - 159	544338	9588987	5,20	694	15	140	20	58	11	13	26	0,2	140	ND	31	420
P - 160	545117	9589987	5,93	202	20	32	24	20	3	4	5	0,2	32	ND	8	145
P - 161	544517	9589839	4,85	582	10	112	51	46	4	26	17	0,2	136	ND	16	338

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto (mg/L Cl ⁻)	Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio (mg/L Na ⁺)	Potássio (mg/L K ⁺)	Cálcio (mg/L Ca ⁺)	Magnésio (mg/L Mg ⁺)	Ferro Total (mg/L Fe)	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniacal (mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD (mg/L)
P - 162	544792	9589555	4,46	559	5	120	1	48	8	8	18	0,1	96	ND	23	309
P - 163	546288	9588796	5,29	1018	15	198	71	87	20	45	26	0,1	220	1,9	28	584
P - 164	545653	9588083	5,37	828	15	146	25	79	36	14	22	0,1	128	0,6	39	510
P - 165	545249	9588440	6,59	501	54	54	70	33	16	29	14	0,1	132	0,1	14	332
P - 166	545203	9589709	5,96	827	35	154	48	80	16	22	24	0,1	156	1,7	24	487
P - 167	545078	9589379	4,45	790	10	160	58	75	16	26	23	0,1	160	1,7	24	475
P - 168	549170	9589180	6,50	722	148	124	43	55	21	38	18	1,4	172	2,2	9	487
P - 169	553048	9584520	5,69	315	20	66	36	30	4	6	10	0,1	56	ND	1	174
P - 170	559483	9586468	5,94	556	44	132	63	90	5	10	5	0,3	44	ND	2	355
P - 171	554111	9585463	5,67	404	10	64	63	28	6	11	17	0,1	100	ND	10	244
P - 172	553640	9587869	6,62	464	89	70	57	31	7	21	21	0,2	140	ND	4	313
P - 173	558490	9581497	8,07	940	138	196	100	145	7	10	15	0,1	88	ND	1	618
P - 174	559786	9582826	6,24	758	64	180	85	53	30	51	18	0,7	204	ND	1	485
P - 175	559801	9582891	6,12	1126	143	186	64	123	10	66	21	0,2	252	0,4	47	820
P - 176	560060	9582744	6,45	125	20	22	16	11	3	8	3	1,6	32	ND	0	83
P - 177	560476	9577759	4,78	428	15	112	7	64	7	10	6	0,2	48	ND	5	240
P - 178	560145	9577537	5,90	490	25	126	3	71	2	10	9	0,2	60	ND	8	281
P - 179	560917	9579942	5,80	388	15	102	1	61	4	4	7	0,2	40	ND	7	224
P - 180	556479	9577313	6,74	365	69	66	4	52	6	6	13	0,2	72	ND	7	248
P - 181	547967	9582118	6,23	684	143	136	10	85	7	18	9	3,2	80	1,8	1	414
P - 182	555644	9578090	7,53	511	138	86	21	93	6	6	8	0,2	48	ND	1	362
P - 183	557201	9578744	7,16	274	84	38	2	27	4	14	11	0,2	80	ND	4	196
P - 184	549106	9587064	6,23	583	54	136	27	70	9	24	15	0,1	124	0,3	8	370

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

Especificação da Amostra	Longitude	Latitude	pH (a 25°C)	CE (mS/cm)	Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	Cloreto(mg/L Cl ⁻)	Sulfato(mg/L SO ₄ ⁻²)	Sódio(mg/L Na ⁺)	Potássio(mg/L K ⁺)	Cálcio(mg/L Ca ⁺)	Magnésio(mg/L Mg ⁺)	Ferro Total(mg/L Fe)	Dureza Total(mg/L CaCO ₃)	Nitrogénio Amoniacal(mg/L N-NH _{3,4})	Nitrato (mg/L N-NO ₃ ⁻)	STD(mg/L)
P - 185	552479	9579242	6,09	535	94	90	66	79	6	8	19	2,9	100	ND	1	366
P - 186	552345	9579505	5,57	486	20	150	2	73	1	8	10	0,2	60	ND	0,1	264
P - 187	551953	9579534	6,55	544	104	120	8	85	6	5	16	0,1	80	ND	1	349
P - 188	552038	9579596	6,49	555	118	124	7	84	6	8	15	0,1	84	ND	1	367
P - 189	554335	9576761	5,44	628	30	154	2	76	6	14	19	0,2	116	1,6	18	381
P - 190	547614	9582301	5,81	3450	138	450	260	440	16	30	40	0,3	244	0,5	16	1443
P - 191	553686	9584661	5,89	914	64	180	43	94	15	34	32	0,1	216	ND	27	579
P - 192	556629	9588192	5,68	628	15	146	47	81	7	11	22	0,1	120	ND	10	371
P - 193	556654	9586410	5,76	438	25	82	54	52	6	13	17	0,1	104	ND	7	276
P - 194	556264	9581468	6,15	566	118	106	39	68	7	27	12	0,1	120	1,7	5	401
P - 195	557023	9581569	6,19	571	64	116	37	81	2	18	14	0,1	104	ND	6	360
P - 196	548965	9576269	6,73	807	133	186	44	94	8	27	30	0,1	192	ND	4	541
P - 197	548828	9575429	6,77	914	64	184	51	100	9	34	28	0,6	200	ND	22	565
P - 198	545733	9578915	4,51	234	10	50	4	36	1	1	3	0,1	16	ND	6	130
P - 199	548339	9576325	6,85	310	84	94	6	78	2	6	15	0,1	80	ND	2	294

<LD = menor que o limite de detecção

ND = não detectado

ANEXO C - DADOS DE ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM FORTALEZA

Nº de ordem	Nº da amostra	Coordenadas		NMP/100 mL	NMP/100 mL	Tipo de Bactéria	Data da Coleta	Bairro
		Latitude (UTM)	Longitude (UTM)					
P01	P01	9577968	552937	2.419,20	435,2	<i>Escherichia coli</i>	12/2001	Passaré
P02	P02	9577674	552976	2.419,20	325,5	<i>Escherichia coli</i>	12/2001	Passaré
P03	P03	9577326	552137	2.419,20	21,8	<i>Escherichia coli</i>	12/2001	Passaré
P04	P04	9576885	552639	2.419,20	1.986,30	<i>Escherichia coli</i>	12/2001	Barroso
P05	P05	9576955	553659	2.419,20	1.553,10	<i>Escherichia coli</i>	12/2001	Barroso
P06	P06	9578118	552442	72,7	-	<i>Klebsiella Sp</i>	12/2001	Passaré
P07	P07	9578016	552830	686,7	1	<i>Escherichia coli</i>	12/2001	Passaré
P08	P08	9577431	551755	1.553,10	24,8	<i>Escherichia coli</i>	12/2001	Passaré
P09	P01	9577968	552937	1.732,90	135,4	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P10	P02	9577674	552976	2.419,20	13,2	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P11	P09	9577351	552280	1.119,85	204,6	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P03	P03	9578016	552830	435	30,5	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P12	P04	9576885	552639	2.419,20	218,7	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P13	P05	9576955	553659	2.419,20	1.046,21	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P14	P06	9578118	552442	2.419,20	119,8	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P15	P07	9578016	552830	121	2	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P16	P08	9577431	551755	410,6	8,5	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P17	P10	9576964	551997	2.419,20	2	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré
P18	P11	9577056	552160	275,5	68,7	<i>Escherichia coli</i>	05/2002	Passaré

Legenda: NMP = Número Mais Provável.

Fonte: Souza (2002).

Nº de ordem	Nº da amostra	Coordenadas		Coliformes Totais (Col/ml/37°C)	Coliformes Fecais (Col/ml/45°C)	Data da Coleta	Bairro
		Latitude (UTM)	Longitude (UTM)				
49	28	544601	9582472	240x10 ³	240x10 ³	11/2005	Granja Portugal
50	29	544140	9582680	46x10 ³	46x10 ³	11/2005	Granja Portugal
51	30	544322	9581820	2,3x10 ³	2,3x10 ³	11/2005	Granja Portugal
52	31	544095	9581726	Ausente	Ausente	11/2005	Granja Portugal
53	32	544354	9581332	110x10 ³	110x10 ³	11/2005	Bom jardim
54	33	544217	9581200	9,3x 10 ³	9,3x10 ³	11/2005	Bom jardim
55	34	543361	9581254	46x10 ³	46x10 ³	11/2005	Bom jardim
56	35	544435	9580318	2,3x10 ³	2,3x10 ³	11/2005	Bom jardim
57	36	543313	9580476	240x10 ³	240x10 ³	11/2005	Bom jardim
58	37	544098	9579624	110x10 ³	110x10 ³	11/2005	Bom jardim
88	67	557963	9588250	> 2419,6	1,0 MPN	11/2007	Vicente Pizon
89	68	558011	9588173	> 2419,6 MPN	12,1 MPN	11/2007	Vicente Pizon
90	69	559497	9588563	365,4 MPN	< 1,0 MPN	11/2007	Vicente Pizon
91	70	559495	9588232	110,6 MPN	< 1,0 MPN	11/2007	Vicente Pizon
92	71	559174	9588550	648,8 MPN	8,5 MPN	11/2007	Vicente Pizon
93	72	559299	9588469	< 1,0 MPN	< 1,0 MPN	11/2007	Vicente Pizon
94	73	559281	9588470	> 2419,6 MPN	23,1 MPN	11/2007	Vicente Pizon
95	74	559222	9588465	1,0 MPN	< 1,0 MPN	11/2007	Vicente Pizon
96	75	559347	9588197	> 2419,6 MPN	53,8 MPN	11/2007	Vicente Pizon
97	76	559083	9588545	28,2 MPN	< 1,0 MPN	11/2007	Vicente Pizon
98	77	559641	9587394	> 2419,6 MPN	> 2419,6 MPN	11/2007	Vicente Pizon

Fonte: Lemos & Medeiros (2005) e Carneiro (2009).

Nº de ordem	Nº da amostra	Coordenadas		Coliformes Totais (Col/ml/37°C)	Coliformes Fecais (Col/ml/45°C)	Data da Coleta	Bairro
		Latitude (UTM)	Longitude (UTM)				
99	78	558092	9588113	1986,3 MPN	3	11/2007	Vicente Pizon
100	79	559596	9588633	1986,3 MPN	1,0 MPN	11/2007	Vicente Pizon
101	80	557941	9588359	> 2419,6 MPN	8,6 MPN	11/2007	Vicente Pizon
134	67	557963	9588250	186,0	1,0	06/2008	Vicente Pizon
135	68	558011	9588173	> 2419,6	43,5	06/2008	Vicente Pizon
136	69	559497	9588563	1413,6	< 1,0	06/2008	Vicente Pizon
137	70	559495	9588232	151,5	1,0	06/2008	Vicente Pizon
138	71	559174	9588550	> 2419,6	1732,9	06/2008	Vicente Pizon
139	72	559299	9588469	> 2419,6	67,0	06/2008	Vicente Pizon
140	73	559281	9588470	1,0	< 1,0	06/2008	Vicente Pizon
141	74	559222	9588465	1299,7	2,0	06/2008	Vicente Pizon
142	75	559347	9588197	> 2419,6	> 2419,6	06/2008	Vicente Pizon
143	76	559083	9588545	2,0	< 1,0	06/2008	Vicente Pizon
144	77	559641	9587394	> 2419,6	21,6	06/2008	Vicente Pizon
145	78	558092	9588113	> 2419,6	235,9	06/2008	Vicente Pizon
146	79	559596	9588633	> 2419,6	378,4	06/2008	Vicente Pizon
147	80	557941	9588359	> 2419,6	19,9	06/2008	Vicente Pizon

Fonte: Lemos & Medeiros (2005) e Carneiro (2009).

Nº de ordem	Nº da amostra	Coordenadas		Coliformes Termotolerantes	Data da Coleta	Bairro
		Longitude (UTM)	Latitude (UTM)			
103	82	547395	9589573	Ausência	12/2007	Barra do Ceará
104	83	547381	9589574	Ausência	12/2007	Barra do Ceará
105	84	546910	9590512	Ausência	12/2007	Barra do Ceará
106	85	546822	9590561	Ausência	12/2007	Barra do Ceará
107	86	546935	9590309	Ausência	12/2007	Barra do Ceará
108	87	547303	9589933	Ausência	12/2007	Barra do Ceará
109	88	548514	9590119	Ausência	12/2007	Cristo Redentor
110	89	548504	9590095	Ausência	12/2007	Cristo Redentor
111	90	548260	9590184	Presença	02/2008	Cristo Redentor
112	91	548159	9590507	Ausência	02/2008	Cristo Redentor
113	92	549626	9590033	Presença	02/2008	Pirambu
114	93	550033	9589636	Presença	02/2008	Pirambu
115	94	550020	9589683	Ausência	02/2008	Pirambu
116	95	550080	9589718	Ausência	02/2008	Pirambu
117	96	549615	9590012	Presença	02/2008	Pirambu
118	97	550104	9589625	Presença	02/2008	Pirambu
74	53	556633	9577629	Presença	11/2005	Messejana
75	54	557219	9576427	Presença	11/2005	Messejana
76	55	556570	9575922	Presença	11/2005	Messejana
77	56	556844	9576907	Presença	11/2005	Messejana
78	57	555896	9578405	Ausência	11/2005	Messejana
79	58	556746	9576426	Presença	11/2005	Messejana
80	59	556452	9577277	Ausência	11/2005	Messejana
81	60	557267	9576862	Ausência	11/2005	Messejana
82	61	555994	9577393	Presença	11/2005	Messejana
83	62	557514	9577561	Ausência	11/2005	Messejana
84	63	557518	9577394	Ausência	11/2005	Messejana
85	64	555606	9576249	Ausência	11/2005	Messejana
86	65	556320	9576138	Ausência	11/2005	Messejana
87	66	555346	9577385	Ausência	11/2005	Messejana