



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
MESTRADO EM GEOLOGIA

CLÁUDIO CESAR DE AGUIAR CAJAZEIRAS

QUALIDADE E USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E
A RELAÇÃO COM DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA,
REGIÃO DE CRAJUBAR/CE

FORTALEZA/CE

Ago/2007

CLAUDIO CESAR DE AGUIAR CAJAZEIRAS

**QUALIDADE E USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E
A RELAÇÃO COM DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA,
REGIÃO DE CRAJUBAR/CE**

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

Orientador Prof. Dr. Itabaraci Nazareno
Cavalcante (DEGEO/UFC)

FORTALEZA/CE

Ago/2007

Cajazeiras, Cláudio César de Aguiar

Qualidade e Uso das Águas Subterrâneas e a Relação com Doenças de Veiculação Hídrica, Região de Crajubar/CE/ Cláudio César de Aguiar Cajazeiras. 2007

131 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará.
Departamento de Geologia, Fortaleza, 2007.

1. Qualidade. 2. Água Subterrânea, 3. Doenças de Veiculação Hídrica



ATA DA REUNIÃO DO COMITÊ DE DISSERTAÇÃO PARA JULGAMENTO DO TRABALHO DO GEÓLOGO CLAUDIO CESAR AGUIAR CAJAZEIRAS, CONFORME PORTARIA N.º 11/2007 DE 16 DE AGOSTO DE 2007.

Ao vigésimo segundo dia do mês de agosto de dois mil e sete, às nove horas, no Auditório do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, reuniu-se o comitê de Dissertação, constituído pelos Professores Drs. ITABARACI NAZARENO CAVALCANTE, MILTON ANTONIO DA SILVA MATTA e HELENA BECKER para sob a responsabilidade do primeiro (Presidente) julgarem o trabalho de Dissertação do Geólogo CLAUDIO CESAR AGUIAR CAJAZEIRAS, concludente do Curso de Mestrado em Geologia, área de concentração HIDROGEOLOGIA, visando a obtenção do Título de Mestre em Geologia. A reunião foi presidida pelo Professor Itabaraci Nazareno Cavalcante, e estando presentes os Professores: Wellington Ferreira (Chefe do Departamento de Geologia), César Ulisses Vieira Veríssimo (Coordenadora do Curso de Mestrado em Geologia), outros Professores do Departamento e demais convidados. O Professor Itabaraci Nazareno Cavalcante solicitou permissão para efetuar a leitura dos Artigos referentes à Defesa de Dissertação constantes das normas de Cursos de Mestrado. Dando continuidade aos trabalhos o Presidente da Comissão fez a leitura da Portaria Nº 11/2007 de 16 de Agosto de 2007 que designa os Componentes do Comitê de Dissertação. Feito esta leitura, o Senhor Presidente apresentou o Geólogo Cláudio César Aguiar Cajazeiras do qual foi orientador na elaboração do seu trabalho, conclamando-o a iniciar a exposição de sua Dissertação intitulada "QUALIDADE E USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A RELAÇÃO COM DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA, REGIÃO CRAJUBAR, CARIRI - CEARÁ". A seguir o Geólogo Cláudio César Aguiar Cajazeiras, realizou a exposição do seu trabalho. Concluída a exposição do trabalho, o concludente foi argüido pelos Componentes do Comitê de Dissertação usando a palavra seguidamente os Professores: Milton Antonio da Silva Matta, Helena Becker e por ultimo o Professor Itabaraci Nazareno Cavalcante, os quais fizeram indagações sobre alguns aspectos do trabalho e sugeriram algumas correções no trabalho. Os membros do Comitê parabenizaram o candidato pela boa apresentação da Dissertação e pelas adequadas respostas às questões formuladas. A Banca Examinadora após reunião, considerou o trabalho apresentado com nível APROVADO. Finalizando o senhor Presidente agradeceu o comparecimento dos presentes e como nada mais havia para ser tratado, foi lavrada a presente ata que vai assinada por mim, Secretário do Curso de Mestrado em Geologia, sendo depois lida e aprovada pelos Componentes do Comitê de Dissertação, após o que o senhor Presidente declarou encerrada a Seção. Secretaria do Curso de Mestrado em Geologia em Fortaleza, 22 de Agosto de 2007.


João Benício Cavalcanti Júnior - (Secretário do Curso)


Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - UFC (Presidente)


Prof. Dr. Milton Antonio da Silva Matta - UFPA (Membro)


Profa. Dra. Helena Becker - UFC (Membro)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Miguel Araújo Cajazeiras e Maria Gêrice de Aguiar Cajazeiras, ao Sérgio Ricardo de Aguiar Cajazeiras e a Natália Correia Lima, bem como a toda minha família e amigos pelo apoio e incentivo para a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará – UFC, à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Geologia, na pessoa do professor Dr. César Veríssimo Dr. José Nogueira (Prof. Zeca), e Júnior Benício.

Ao meu orientador Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante pelos ensinamentos, correções e críticas além do apoio, incentivo e interesse manifestado, infraestrutura ofertada para o desenvolvimento e finalização desta dissertação sem contar o espírito cordial em face das muitas datas limites.

Ao Prof. Dr. Milton Matta e a Prof. Dra. Helena Becker, pelas críticas oportunas apresentadas quando do julgamento da Dissertação.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, pelo importante apoio financeiro através da bolsa de pesquisa concedida através do processo número: 134.594/2004-5.

Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em especial ao Geólogo Liano Veríssimo, pelo a disponibilização da base dos dados do Projeto: Araripe – Aquífero Missão Velha/ Rio da Batateira – Estudos Hidrogeológicos de Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.

Aos Geólogos Antonio Elisio de Sousa (*in Memória*), José Amaral Monteiro e José Clayton Soares Vasconcelos (*in Memória*) pelos auxílios e apoio prestado.

Aos Amigos Anátolis, Francisco Cezar (Nem), Conceição, Ediu, Erica, Heury, Igor, Ismael, Larissa, Luis Freitas, Nirlando, Mickaelon, Márcia, Thiago, Alex, José e Rodrigo.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Geologia da UFC: Beltrão, César, Diolândia, Helena Becker, Itabaraci, Marlúcia Santiago, Sônia e Vitorino por seus ensinamentos durante o percurso acadêmico.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para a execução deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho foi realizado na porção sul do estado do Ceará, em uma área de 456 km², na localidade denominada CRAJUBAR, distribuída entre os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. Foi avaliada a qualidade das águas subterrâneas e sua relação com as doenças de veiculação hídrica na localidade do aglomerado urbano da CRAJUBAR, que possui uma população de 362.232 habitantes com baixo nível sócio-econômico e que vem ocupando de maneira inadequada o meio físico, acarretando na degradação qualitativa das águas superficiais e subterrâneas da área. O contexto hidrogeológico da área é constituído basicamente por quatro sistemas que diferem amplamente quanto à vocação hídrica. Distingue-se aquíferos sedimentares, representado neste trabalho pelos Aluviões e Coberturas Colúvio-Eluviais, e o meio cristalino que engloba litotipos ígneos e metamórficos. Foi realizado um cadastro dos casos de mortalidade por doenças de origem hídrica como doença isquêmica do coração (113,3 pessoas no período de 2003 a 2004), internações por insuficiência cardíaca congestiva (845,6 casos no período de 2003 a 2004), doenças carcinógenas, mortalidade por câncer de estômago (46,3 casos no período de 2003 a 2004) e uma avaliação das doenças de veiculação hídrica ocorridos na localidade, onde se constata que a falta de saneamento básico tem colaborado para um aumento crescente de diversas doenças tais como; hepatite A, diarreias agudas, cólera, dengue, bem como, o aumento nos número de mortalidade infantil em decorrência das doenças infecto-contagiosas de veiculação e origem hídrica. Foram avaliados os parâmetros hidrodinâmicos, a partir, dos dados de 1.114 poços destes, apenas 11 poços foram selecionados para serem realizadas análises físico-químicas e bacteriológicas. Nas análises físico-químicas foram avaliados os seguintes íons: Na⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Cl⁻, NO₃⁻, Ca⁺⁺, SO₄⁻, HCO₃⁻, N-NH₃, além de pH, SiO₂ e CaCO₃, condutividade elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) se verificou que em relação aos cátions, os mesmos encontram-se dentro dos padrões permitido pelo Ministério da Saúde. Já para os ânions, observa-se que em 20% das amostras, os valores de nitrato superam em até 70% o valor máximo permitido pela portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde. O resultado bacteriológico mostra que 62% das águas analisadas são impróprias, para o consumo, isto se deve a presença em níveis muito elevados de contaminação por coliformes fecais e termotolerantes atingindo valores que chegam a 2.419 (NMP/ml) e 185,8 (NMP/ml) respectivamente, indicativas de poluição por fezes ou esgotos, resultado da disposição direta nos recursos hídricos, tendo como consequência o risco de contaminação por microorganismos patogênicos de veiculação hídrica. A falta de uma política habitacional associada, a falta de investimentos em saneamento básico e na saúde, tem proporcionado ao longo dos últimos anos, um aumento significativo no número de casos de doenças de veiculação hídrica.

ABSTRACT

This work was carried out in southern portion of the state of Ceara, in an area of 456 km², in the town called CRAJUBAR, distributed among the municipalities of Crato, Juazeiro do Norte and Barbalha. It assessed the quality of groundwater and its relationship with diseases of running water in the area of the urban agglomeration of CRAJUBAR, which has a population of 362,232 people with low socio-economic level and that is inappropriate way of occupying the media, resulting in qualitative degradation of surface water and groundwater in the area. The hydrogeological context of the area consists basically of four systems that differ widely as to the vocation water. It distinguishes itself sedimentary aquifers, represented in this work by Aluviões and roofs Colúvio-Eluviais, and the lens means that encompasses litotipos ígneos and metamorphic. Was conducted a registration of cases of death by disease of origin of the water as ischemic heart disease (113.3 people in the period 2003 to 2004), hospitalizations for congestive heart failure (845.6 cases in the period 2003 to 2004), Carcinógenas diseases, mortality of stomach cancer (46.3 cases in the period 2003 to 2004) and an evaluation of diseases of running water occurred in the town, where he notes that the lack of sanitation has cooperated to a growing increase of several diseases such as, hepatitis A, acute diarrhoea, cholera, dengue, as well as the increase in the number of child mortality as a result of infectious diseases and origin of running water. Hydrodynamic parameters were evaluated, from, the data from 1,114 of these wells, only 11 wells were selected for analysis physico-chemical and bacteriological. The physico-chemical analysis were evaluated following ions: Na⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Cl⁻, NO₃⁻, Ca⁺⁺, SO₄⁻, HCO₃⁻, N-NH₃, além de pH, SiO₂ e CaCO₃, Electrical conductivity (EC) and Total Dissolved Solids (STD). Was found that in relation to the cations, they are within the standards allowed by the Ministry of Health. For the anions, it is noted that in 20% of samples, the values of nitrate exceed 70% in up to the maximum permitted by decree 518 of March 25, 2004 the Ministry of Health. The result shows that 62% bacteriological water are considered unfit for consumption, this is due to present at a very high level of contamination by fecal coliform and thermotolerant reaching values as high as 2419 (MPN / ml) and 185.8 (NMP / ml), respectively, indicative of pollution by faeces or sewage, direct result of the provision for water resources, and as a consequence the risk of contamination by pathogenic microorganisms of running water. The lack of a policy associated housing, the lack of investment in sanitation and health care, has provided over the past years, a significant increase in the number of cases of diseases of running water.

A P R E S E N T A Ç Ã O

Este trabalho tem por finalidade atender os requisitos, referentes ao Curso de Pós-Graduação de Geologia com linha temática em Hidrogeologia do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará.

A presente Dissertação visa relatar as atividades executadas, concernentes ao tema em desenvolvimento na pesquisa, que tem como objetivo o estudo da qualidade e uso das águas subterrâneas, bem como a sua relação com as doenças de veiculação hídrica em parte dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, região conhecida como CRAJUBAR, localizada da Sub-Bacia do Vale do Cariri (parte leste da Bacia sedimentar do Araripe).

Este trabalho está organizado em capítulos, tratando dos principais temas necessários ao seu desenvolvimento, estruturado conforme se segue:

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO, contendo o objetivo geral e os específicos, além da justificativa do trabalho.

Capítulo 2 - METODOLOGIA, onde é descrita a metodologia para a elaboração da Dissertação.

Capítulo 3 – ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS, comentando-se os aspectos relativos a indústria, comércio, mineração e agropecuária dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha.

Capítulo 4 – ASPECTOS GEOAMBIENTAIS, onde se descreve as características gerais da área, com a sua localização e aspectos geoambientais (clima, solos, vegetação, relevo e hidrografia), necessários para a caracterização da área de estudo.

Capítulo 5 – ASPECTOS GEOLÓGICOS, tratando da descrição da geologia regional fazendo referência às formações geológicas presentes na Bacia do Araripe, bem como da geologia local.

Capítulo 6 – LEGISLAÇÃO, identificando-se as principais leis, decretos e portarias relacionadas à proteção da qualidade dos recursos hídricos, em especial as águas subterrâneas.

Capítulo 7 – HIDROGEOLOGIA, incluindo um diagnóstico da situação dos recursos hídricos (uso) e das reservas hídricas e gestão das águas subterrâneas.

Capítulo 8 – CARACTERIZAÇÃO BACTERIOLÓGICA, classifica a água quanto a sua potabilidade.

Capítulo 9 – HIDROQUIMICA, trata a classificação iônica e bacteriológica das águas do Sistema Aquífero Médio e a determinação da qualidade em função dos padrões de qualidade estabelecida pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde do Brasil.

Capítulo 10 – DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA, onde-se mostra as principais doenças relacionadas com o consumo direto de água contaminada.

Capítulo 11 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, apresenta as conclusões obtidas do procedimento e análises das informações coletadas nas diferentes etapas do trabalho, bem como recomendações.

Capítulo 12 – BIBLIOGRAFIA, tratando dos trabalhos consultados para a elaboração desta qualificação.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	3
1.1 – Localização e Acesso.....	4
1.2 - Justificativas	6
1.3 - Objetivos	8
2 - METODOLOGIA DE TRABALHO	9
2.1 – Pesquisa Bibliográfica	9
2.3 - Cadastro de Poços Tubulares e Análises Físico-Químicas	11
2.4 – Levantamento de Doenças de Veiculação Hídrica	11
2.5 - Tratamento de Dados	11
2.5.1 - Coleta e distribuição das amostras	11
2.6 – Análises Físico-Químicas	13
2.6.1 - Cálculo do Erro da Análise	13
2.6.2 - Diagrama de Piper	13
3 - ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS	15
4 – ASPECTOS GEOAMBIENTAIS	19
4.1 – Clima	19
4.1.1 - Precipitação	20
4.2 – Solos	22
4.2.1 - Latossolo Vermelho-Amarelo Álico (LV)	22
4.2.2 - Podzólicos Vermelho-Amarelo-Eutrófico (PE)	22
4.2.3 - Regossolos (RE)	23
4.2.4 - Solos Aluviais (AE)	23
4.2.5 – Terra roxa estrutura similar (TR).....	23
4.3 - Vegetação	24
4.3.1 - Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida)	24
4.3.2 - Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca).....	24
4.3.3 - Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea).....	24
4.4 - Geomorfologia	25
4.4.1 - Zona da Chapada do Araripe.....	25
4.4.2 - Zona de Talude.....	26
4.4.3 - Zona de Pediplano (Depressão Sertaneja).....	26
4.5 - Hidrografia	27
4.6 - Áreas de Proteção Ambiental.....	29
5 – GEOLOGIA	31
6 – a proteção das águas SUBTERRÂNEAS na LEGISLAÇÃO	45
7 – HIDROGEOLOGIA	49
7.1.1- A importância das águas subterrâneas	49
7.1.2- Águas subterrâneas e sua distribuição no mundo	50
7.1.2.1- Os recursos hídricos no mundo	50
7.1.2.2 - Os recursos hídricos no Brasil.....	51
7.1.2.2 - Os recursos hídricos no Cariri	52
7.2.1 – Sistemas Aquíferos	53
8 – Análises Bacteriológicas	62
8.1.1- Coliformes Totais.....	64
9 - HIDROQUÍMICA.....	67

9.1 - Caracterização hidroquímica.....	67
9.1.1- Parâmetros Físico e químicos.....	78
9.1.2.1 - Alcalinidade	82
9.1.2.2 - Sílica.....	82
9.1.2.3 - Dureza	82
9.1.2.4 – Cátions	84
9.1.2.5 – Ânions.....	86
9.2 - Cálculo do Erro da Análise	98
9.3 - Classificação Iônica – Diagrama de Piper.....	99
9.3 – Aproveitamento e utilização das Águas Subterrâneas.....	104
9.3.1 - Águas Para Agricultura	104
9.3.2 - Consumo Humano.....	105
9.3.3- Uso industrial	108
10 – DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA	109
10.1 - Contaminação da Água e a Saúde Humana	110
10.2 - Doenças Relacionadas com a Água	111
10.3 - Doenças de Origem Hídrica	112
10.3.1 - Doenças Cardiovasculares.....	112
10.3.1 - Doenças Carcinogênicas	114
10.4 – Doenças de Veiculação Hídrica.....	116
10.4.1 - Tipos de organismos causadores de doenças	116
10.4.2.1 - Doenças Gastrointestinais (Diarréias).....	120
10.4.2.2 - Hepatite	122
11 - CONCLUSÕES.....	123
11.1 - Recomendações.....	125
12 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	126

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Localização e acesso da área de estudo	5
FIGURA 2.1 – Diagrama de Piper com a definição dos tipos hidroquímicos.	14
FIGURA 3.1 – Situação das áreas requeridas junto ao DNPM (jan/07)	18
FIGURA 4.1 – Clima segundo a classificação de Koppen	19
FIGURA 4.2 - Registro de pluviosidade média mensal em CRAJUBAR, Ceará (1974 –2005)	20
FIGURA 4.3 - Porcentagem das médias mensais das chuvas no município de CRAJUBAR, Ceará (1974 – 2005)	21
FIGURA 4.4 – Solos de CRAJUBAR / Ceará	23
Foto do autor (abril/06)	25
FIGURA 4.5 – Aspecto do relevo escarpado apresentado pela Chapada do Araripe foto tirada da CE-397 no sentido Mauriti – Brejo Santo	25
FIGURA 4.6 – Sub-Bacia do Rio Salgado, Bacia do Jaguaribe, Ceará	28
FIGURA 5.1 - Esboço geológico da Bacia do Araripe.	31
FIGURA 5.2 – Geologia de CRAJUBAR/ Ceará	33
FIGURA 5.3-Seção geológica (II- II’) esquemática de CRAJUBAR / Ceará	33
FIGURA 5.4 – Arcabouço estrutural da Bacia do Araripe.....	41
FIGURA 5.5 – “Graben” Crato-Juazeiro – Arcabouço estrutural da Sub-Bacia do Cariri - Bacia do Araripe/CE.(COGERH 1996).	44
FIGURA 5.6 – Seção geológica da Sub-Bacia do Cariri	44
FIGURA 7.1 – Distribuição das águas no mundo	50
FIGURA 7.2– Distribuição regional dos recursos hídricos no Brasil	52
FIGURA 7.3 - Perfil hidrogeológico da Bacia Sedimentar do Araripe	54
FIGURA 7.4 – Sistema Aquífero Médio (SAM) em CRAJUBAR, Ceará	57
FIGURA 7.5 – Sistema Aquífero Inferior (SAI) em CRAJUBAR, Ceará.....	59
FIGURA 7.6 – Parâmetros hidrogeológicos – dados construtivos dos poços em CRAJUBAR/CE.	61
FIGURA 8.1 – Potabilidade das águas subterrâneas em CRAJUBAR/ Ceará.....	63
FIGURA 9.1 – Atividades de campo desenvolvidas em CRAJUBAR /Ceará (abril de 2006)	69
FIGURA 9.2 - Localização dos poços tubulares para amostragem de água para análises físico- químicas e bacteriológica em CRAJUBAR / Ceará	70
FIGURA 9.3 – Perfis litológico dos poços 2,4,5 e 7 monitorados em CRAJUBAR / Ceará (Fonte: CPRM, 2007)	72
FIGURA 9.4 - Perfis litológicos dos poços 9, 12 e 13 monitorados em CRAJUBAR/Ceará (Fonte: CPRM, 2007)	73
FIGURA 9.5 – Relação de fotos dos poços monitorados (abril/06).....	74
FIGURA 9.6 – Relação de fotos dos poços monitorados em CRAJUBAR/Ceará (abril/06) ..	75
FIGURA 9.7 – Perfil litológico dos poços 02 e 03 na localidade de Riacho dos Macacos – Juazeiro do Norte/Ceará	77
FIGURA 9.8 – Poço 06 na localidade de Santo Antônio com água contaminado por efluentes líquidos - Juazeiro do Norte/ Ceará	80
FIGURA 9.9 – Variação dos parâmetros físico-químicos durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE.....	81
FIGURA 9.10 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE.....	83
FIGURA 9.11 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos (cátions) durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE.....	85

FIGURA 9.12 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos (ânions) durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE.....	89
FIGURA 9.13 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos referente ao poço 9 e amostragem em CRAJUBAR/CE.....	90
FIGURA 9.14 – Variação sazonal do nível estático nos poços monitorados.....	92
FIGURA 9.17– Fonte de poluição no poço Santo Antônio CRAJUBAR /Ceará (abril de 2006)	100
FIGURA 9.18 – Fácies hidroquímicas da amostragem em 11 poços - 2º campanha – período seco (dez/05) em CRAJUBAR / Ceará	101
FIGURA 9.19 – Fácies hidroquímica amostragem em 11 poços no período chuvoso (3º campanha - dez/06) CRAJUBAR/CE.....	103
FIGURA 9.20 - Diagrama SAR, utilizadas para a classificação das águas para agricultura em CRAJUBAR/Ceará.....	105
FIGURA 9.21 – Poços localizados em CRAJUBAR/CE.....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe /Ceará com caracterização hidroestratigráfica.....	32
Quadro 9 – Balanço Iônico de Logan (1965)	98
Quadro 10.1 – Origens das impurezas nas águas	111
Quadro 10.1 –Doenças causadas pelo consumo de água contaminada por excretos humanos ou animais (bactérias, protozoários e vírus	117

LISTA DE TABELA

Tabela 3.1 – Dados gerais de CRAJUBAR / Ceará (IBGE, 2000)	15
Tabela 3.2 - Classificação dos municípios por faixa populacional	15
Tabela 3.3– Cobertura de serviços de coleta de lixo e de rede de abastecimento de água em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	16
Tabela 3.4 – Número de unidades de saúde e n° de leitos por habitante/ ano em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	17
Tabela 3.5 - Hierarquização dos municípios de acordo com o Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM)	17
Tabela 4.1 – Precipitação atmosférica média anual de CRAJUBAR, Ceará no Período de 1974 – 2005	20
Tabela 4.2 - Relação dos Açudes que ocorrem em CRAJUBAR,Ceará	29
Tabela 7.1 – Disponibilidade de água nas regiões do planeta	51
Tabela 7.5 – Características gerais do Sistema Aquífero Médio.....	56
Tabela 8.1– Resultado das análises bacteriológicas das águas (jul/06) de CRAJUBAR / Ceará	64
Tabela 9.1 – Períodos das campanhas realizadas e números de amostras coletadas em CRAJUBAR / Ceará.....	68
Tabela 9.2 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água com perfis construtivos e litológico em CRAJUBAR/ Ceará.....	71
Tabela 9.3 – Comparação entre os valores de CE nos períodos de estiagem e de chuva – CRAJUBAR/CE	78
Tabela 9.4 - Condutividade Elétrica das águas de CRAJUBAR /CE.....	79
Tabela 9.5 – Classificação das águas segundo a dureza.....	82
Tabela 9.6 – Variação das concentrações de nitrato e o numero de ultrapassagem do padrão de potabilidade.....	87
Tabela 9.9 – Resultado do balanço iônico	98
Tabela 8.10 - Classificação das águas utilizando o diagrama SAR do U.S. Salinity Laboratory.	104
Tabela 9.11 -Classes USSL dos 11 poços monitorados	104
Tabela 9.12 – Critérios de qualidade de água para indústria.....	108
Tabela 10.1 – Taxa de mortalidade de doença isquêmica do coração em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	113
Tabela 10.2 – Taxa de internações por insuficiência cardíaca congestiva em pessoas com idade igual ou abaixo de 40 anos por 10.000 habitantes em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	114
Tabela 10.3 – Taxa de mortalidade de câncer de estômago em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	116
Tabela 10.5 – Número de caso de doenças e mortes provocados por ingestão de água contaminada no mundo.....	119
Tabela 10.6 – Problemas de algumas das doenças de veiculação hídrica em escala global (1990)	120
Tabela 10.7– Taxa de mortalidade infantil por 1.000 nascidos vivos em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	121
Tabela 10.8 – Casos de diarreias em crianças menores de 5 anos por 1.000 habitantes em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	122
Tabela 10.9 – Casos de hepatite em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)	122

1- INTRODUÇÃO

O problema de abastecimento de água não advém só da quantidade de água, mas, principalmente, da má qualidade da água disponível, sendo muitas vezes um fator determinante no quadro de escassez, sobretudo nas grandes cidades onde a poluição compromete os mananciais e acarreta inúmeros outros problemas, dos quais os mais visíveis são as enchentes e as doenças de veiculação hídrica.

A água tem influência direta sobre a saúde, a qualidade de vida e o desenvolvimento do ser humano, tais condições podem ser resumidas em cinco palavras-chave: qualidade, quantidade, continuidade, cobertura e custo (OMS, 2001).

A gravidade do assunto pode ser percebida pelo que diz o capítulo 18 da Agenda 21 do plano mundial de metas ambientais estabelecido na Eco92: "aproximadamente 80% de todas as doenças de origem hídrica e mais de um terço das mortes em países em desenvolvimento são causadas pelo consumo de água contaminada".

Não é de hoje que a associação água-saúde é reconhecida pela ciência. No artigo "Água e saneamento básico - uma visão realista", o engenheiro Ivanildo Hespanhol, (USP/São Carlos), lembra o exemplo de Sócrates, que já na antiguidade relacionou a deficiência de iodo na água com o aumento da tireóide (hipertireoidismo), causando o bócio.

Inserida na Bacia do Araripe, o Cariri possui os melhores sistemas aquíferos do estado do Ceará, onde situam-se as maiores reservas de água subterrânea, quase sempre de boa qualidade, abastecendo todos os municípios através de poços tubulares e/ou fontes.

A preservação da qualidade da água é uma necessidade universal, que exige atenção por parte das autoridades sanitárias e consumidores em geral, particularmente no que se refere aos mananciais (poços, nascentes, etc) destinados ao consumo humano.

A contaminação ocorre devido a falta de saneamento (fator problemático do semi-árido nordestino), por resíduos que são despejados *in natura* nos cursos d'água ou no solo, contribuindo para insalubridade ambiental e proliferação de doenças infecciosas e parasitárias, em especial as de veiculação hídrica.

As medidas de controle da qualidade, da proteção e da preservação dos recursos hídricos é indispensável ao atendimento dos objetivos e interesses dos diversos usuários.

1.1 – Localização e Acesso

A Bacia Sedimentar do Araripe localiza-se ao sul do Ceará, tem uma área de aproximadamente 11.000 km², sendo inserida entre as coordenadas geográficas: 38° 30' a 41° 00' de Longitude oeste de Greenwich e 7° 10' a 7° 50' de latitude sul, englobando parte dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí constituindo-se no divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE) ao norte, São Francisco (PE) ao sul e Parnaíba (PI) a oeste. O Vale do Cariri ocupa 27% da Bacia Sedimentar do Araripe ocorrendo no setor oriental (porção leste) da mesma.

A área de estudo está localizada no setor leste da Bacia do Araripe (Vale do Cariri) na região conhecida como o Triângulo de CRAJUBAR, envolvendo parte dos municípios de Crato (142 km²), Juazeiro do Norte (184 km²) e Barbalha (130 km²), totalizando uma área de 456 km². Esta delimitada entre as coordenadas UTM's 452.500 e 477.500 E, 9.190.000 e 9.210.000 N na carta SUDENE SB.24-Y-D-III (CRATO - escala 1:100.000).

O acesso pode ser feito a partir de Fortaleza – capital do Estado do Ceará, em transporte aéreo, ou via terrestre através da rodovia federal BR-116 e das rodovias estaduais CE-060, CE-292 e CE-293, em um percurso total de 538 km.

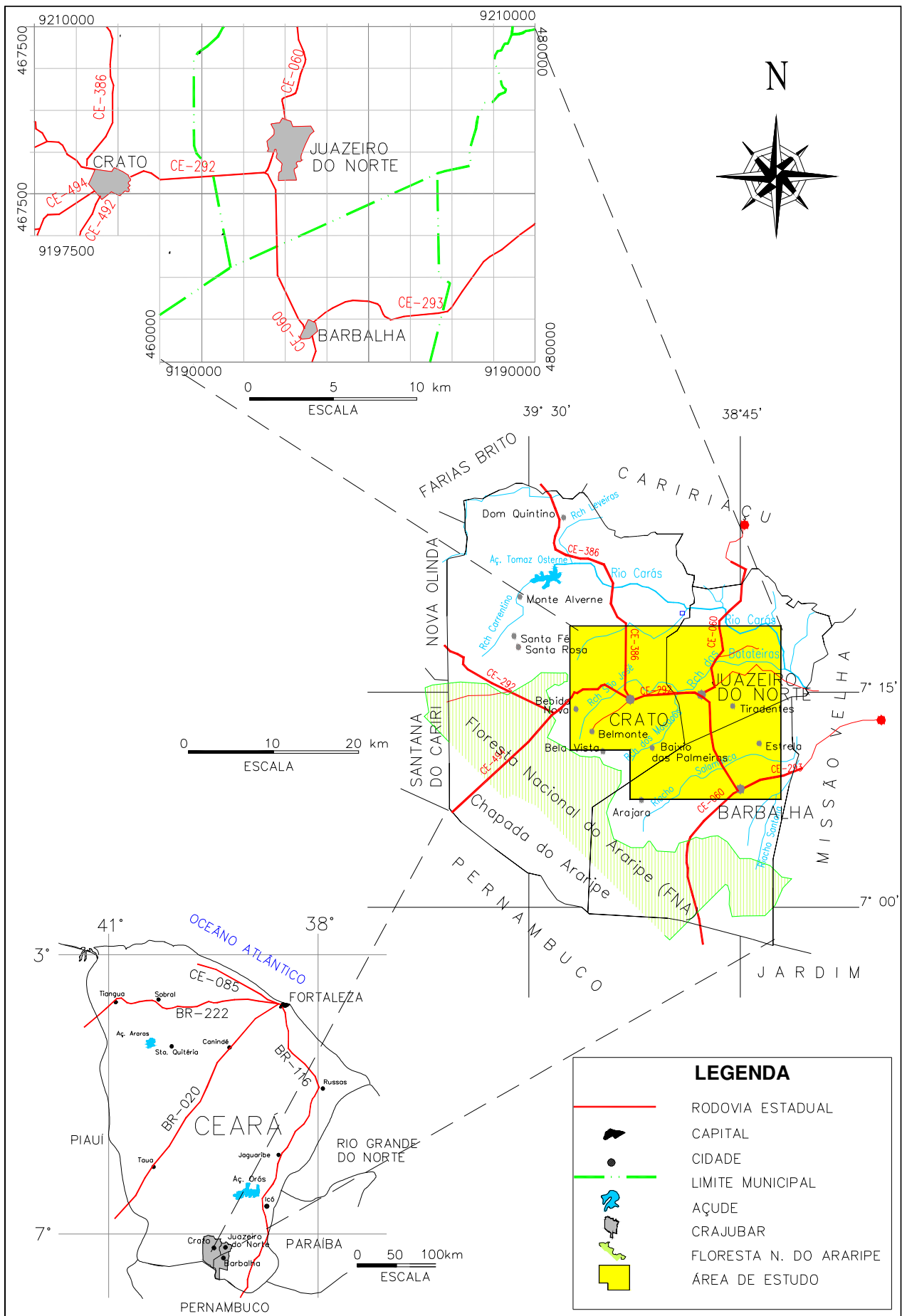


FIGURA 1.1 – Localização e acesso da área de estudo

1.2 - Justificativas

Cerca de um bilhão e cem mil pessoas estão excluídas da cota mínima diária de água potável que segundo especialistas da ONU seria da ordem de 50 L/dia, para ingestão direta, preparação da comida, higiene pessoal, uso sanitário e limpeza doméstica e dois bilhões e quatrocentos mil não possuem saneamento básico (WHO, 2000), ocasionando problemas intensos de redução de qualidade de vida do ser humano além de comprometer todos os mananciais hídricos para as gerações futuras. Isso gera a necessidade de pesquisas aplicadas a área de doença de veiculação hídrica.

A Hidrogeologia pode contribuir sensivelmente para o entendimento da problemática relativa a doenças de veiculação hídrica, à medida que integra dados e informações sobre ocorrência, fluxo e qualidade das águas subterrâneas.

Os dados gerados para a Organização Mundial de Saúde (OMS) mostram que, no mundo, dos leitos hospitalares, entre 50 e 70% são ocupados por pacientes acometidos de doenças de veiculação hídrica, particularmente doenças diarréicas, enquanto que, no Brasil, este número é de 65%.

As águas subterrâneas são fonte de várias substâncias químicas (Ca, Mg e K, dentre outras) necessária para o nosso bem estar e saúde.

No entanto, as ações antrópicas estão constantemente degradando este recurso ambiental. O presente trabalho tem a finalidade de caracterizar a qualidade e uso das águas, dando ênfase a proteção das águas subterrâneas a fim de evitar problemas de contaminação que possam ocasionar problemas de saúde para a população, de forma a fomentar o desenvolvimento sócio-econômico sustentável da região e melhorar as condições de vida da população local, já que cerca de 80% das doenças são ocasionadas por veiculação hídrica. Por isso impõem-se a necessidade de exames rotineiros das mesmas para a avaliação de sua qualidade.

Considerando que 100% da população da área é abastecida por água subterrânea, políticas públicas e estratégias integradas devem ser comprometidas visando à racionalização do uso das águas, preservação dos mananciais e da água distribuída à população, controlando a construção, a poluição e a contaminação das águas subterrâneas, reduzindo-se as altas taxas de perdas e desperdícios e garantindo essa preciosa fonte, com potabilidade inquestionável, para nós e para as futuras gerações.

A relação saúde/doença vinculada a determinada substância inorgânica depende de muitos fatores, dentre eles: do teor ingerido ou assimilado pelo organismo; do tempo de exposição aos fatores de deficiência ou de excesso; da especiação química da substância; da susceptibilidade fisiológica e genética da população em foco, assim sendo, estudos sobre as contaminações bacteriológica e química do nitrato são importantes, pois essas contaminações possuem efeito tóxico sobre ocasionando alterações sangüíneas importantes; acumulam-se no fígado, no pâncreas, baço e pulmões, e em outros órgãos, provocando doenças cumulativas graves.

1.3 - Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram divididos em geral e específicos.

1.3.1 - Geral

Elaborar o estudo qualitativo das águas subterrâneas de parte dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha, região conhecida como CRAJUBAR, e relacioná-las com as doenças de veiculação hídrica, propondo medidas associadas a sustentabilidade e qualidade de vida da região.

1.3.2 –Específicos

- Estudar a composição química e bacteriológica das águas subterrâneas, em particular do nitrato;
- Elaborar uma Base Hidrogeológica Simplificada com localização dos poços tubulares com informações de uso atual e qualidade da água, fornecendo, assim, subsídios para elaboração de um Plano Municipal de Recursos Hídricos;
- Identificar as principais legislações relacionadas à qualidade dos recursos hídricos em especial as águas subterrâneas.
- Avaliar os parâmetros hidrogeológicos dos poços, e propor medidas de proteção sanitária, associadas à construção e uso de poços, para assegurar a boa qualidade da água do ponto de vista bacteriológico, e;
- Interpretar e avaliar as informações obtidas levando em consideração os riscos para a saúde pública.

2 - METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia empregada para a realização desta qualificação envolveu estudos bibliográficos; pesquisas de legislação relacionadas com qualidade de água; etapas de campo; cadastro de poços, análises físico-químicas e bacteriológicas, cadastro de casos de doenças de veiculação hídrica; tratamento de dados físico-químicos (Piper, Schoeller & Berkloff); elaboração de bases temáticas e, finalmente, integração dos dados.

2.1 – Pesquisa Bibliográfica

Os estudos sobre a Bacia Sedimentar do Araripe se iniciaram em 1913, entretanto só obteve-se um impulso a partir da década de 60, devido à formação das primeiras turmas de geólogos, curso criado no Brasil em Recife (PE) no ano de 1957, seguido por Salvador (BA) em 1958.

Small (1913) - realiza trabalho pioneiro sobre sua geologia, que subdividiu o registro sedimentar em quatro unidades (conglomerado basal, arenito inferior, calcário Santana e arenito superior).

Beurlen (1962, 1963 e 1963) - estudou a geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe.

Gasparly & Anjos (1964) - realizam os primeiros estudos de hidrogeologia no Vale do Cariri.

Gasparly (1967) - realizou estudo geral das águas subterrâneas do Vale do Jaguaribe, constando de um inventário de poços, elaboração de mapas geológicos, estudos hidrogeológico e hidroquímico das águas subterrâneas e determinação das reservas e condições de exploração.

Biachi et al. (1984/85) – realizaram estudo hidrogeológico entre Missão Velha e Crato em uma área de 900 km².

Ponte & Appi (1990) - propõem uma revisão da coluna estratigráfica, baseado em sondagens realizadas pela PETROBRAS.

Assine (1992 e 1996) - realiza a análise estratigráfica e o estudo das paleocorrentes e paleogeografia da Bacia do Araripe.

Ceará (1992) – elabora o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), instrumento básico de viabilização da Política Estadual de Recursos Hídricos do Ceará, com um caderno abordando exclusivamente as águas subterrâneas.

Mont'alverne et al. (1996) – Realizam a avaliação do potencial hidrogeológico da Bacia do Araripe, pelo Departamento de Pesquisa Mineral (DNPM) com determinação dos sistemas aquíferos através de seus parâmetros hidrodinâmicos (coeficiente de armazenamento e transmissividade), suas reservas e ocorrência.

Santiago et al. (1996) – realizou estudos isotópicos a respeito da circulação e mistura de paleoáguas infiltradas na chapada e armazenadas diretamente nas diferentes formações aquíferas, com águas pluviais recentes, infiltradas diretamente no vale.

Veríssimo (1999) - constatou que os maiores índices de vulnerabilidade natural na bacia estão associados aos sedimentos aluvionares (Extremo-baixo), às formações Rio da Batateira, Mauriti (Alto-alto), Exu e as coberturas (Alto-baixo). Os menores estão associados às formações Arajara (Médio-alto), Santana e Brejo Santo (Médio-baixo).

Castro & Castelo Branco (1999) – realizam a caracterização da arquitetura interna Vale do Cariri com base em modelagem gravimétrica 3-d.

Anjos (2000) - realizou estudo de demanda até o ano de 2020 no Aquífero Rio da Batateira. Segundo ele, para se atender a demanda no ano de 2020, faz-se necessário a exploração de 23 milhões de m³ por ano ou seja 0,2% das reservas permanentes calculadas em 11 bilhões de metros cúbico.

Dias & Lopes (2001) – estudaram a hidrogeologia do município de Juazeiro do Norte, classificando suas águas como bicarbonatadas (69,5%), cloretadas magnesianas (8,7%) e mistas (21,8%).

Mendonça (2001) – realiza estudos dos recursos hídricos na Chapada do Araripe, com modelagem isotópica e matemática.

Vieira Neto et al. (2002) – estudaram pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe no trabalho Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Rio Jaguaribe.

COGERH/SRH/CE (2003) – realizaram a implantação do sistema de monitoramento e gestão de uma área piloto do Aquífero Missão Velha, na Bacia Sedimentar do Cariri.

Lopes (2004) – estudou a qualidade das águas subterrâneas no Vale do Cariri.

2.3 - Cadastro de Poços Tubulares e Análises Físico-Químicas

Para o estudo dos *parâmetros físico-químico e bacteriológico*, foi realizada análises das águas subterrâneas de *11 poços* (ANEXO I), poços esses integrantes do Projeto CPRM/UFC intitulado: “Hidrogeologia do Aquífero Missão Velha, Chapada do Araripe, Ceará” financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), e executado pelos departamentos de Geologia, Física, Hidráulica e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará (UFC) com a participação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) que integram a Rede Cooperativa de Pesquisa “Bacias Sedimentares Interiores do Nordeste do Brasil” da CT- HIDRO/FINEP.

Para o estudo dos *parâmetros construtivos dos poços*, tais como: profundidade, nível estático, nível dinâmico, altura da boca do poço e vazão, foram selecionados e analisados os dados de 1.144 poços. (ANEXO II) do Projeto: “Implantação do Sistema de Monitoramento e Gestão de uma Área Piloto do Aquífero Missão Velha, na Bacia Sedimentar do Cariri” (COGERH/SRH/CE,2003), bem como dados da CAGECE.

2.4 – Levantamento de Doenças de Veiculação Hídrica

Foram catalogados, na Secretaria Estadual de Saúde do Ceará e nas Unidades de Saúde de Crato e Juazeiro do Norte, casos de doenças de veiculação hídrica., tentando-se fazer uma caracterização de CRAJUBAR em função do tipo de doença e qualidade da água consumida.

2.5 - Tratamento de Dados

Foram tratados os dados construtivos dos poços e as análises físico-químicas e bacteriológicas

2.5.1 - Coleta e distribuição das amostras

Segundo a ABNT (1993), uma amostra é um subconjunto cujas propriedades se estudam com o fim de generalizá-las ao conjunto. No caso da água subterrânea, significa um determinado volume de água coletado em poços com o fim de inferir as características físicas, químicas e biológicas do aquífero de onde foi retirada.

Uma amostragem em malha quadrada seria inviável e um gasto a mais, por isso a CPRM na seleção de amostras foram levados em consideração os seguintes aspectos: fácil acesso e, na maior parte das vezes, poços de uso públicos; poços com fichas dos perfis litológicos e construtivos, selecionados através da localização dos filtros aqueles que captam água de um único aquífero, ou pelo menos, de um mesmo Sistema.

Foram selecionados 11 pontos de amostragem de águas subterrâneas distribuídos na região de CRAJUBAR obtidos do projeto “Hidrogeologia do Aquífero Missão Velha, Chapada do Araripe, Ceará” da CT- HIDRO/FINEP. O monitoramento consistiu na amostragem das águas subterrâneas de 11 poços, durante um período de 16 meses, (outubro de 2005 a fevereiro de 2007), totalizando 59 amostras para análises físico-químicas e em julho de 2006 foram analisadas 10 amostras bacteriológicas.

Durante as coletas foram tomados cuidados com a preservação, armazenamento e transporte das amostras de água, a fim de não provocar alterações na qualidade físico-químicas e bacteriológicas das mesmas. Com o intuito de preservar as amostras de ação biológica, hidrólise, volatilização e adsorção, as amostras foram preservadas com refrigeração e proteção contra luz, de acordo com as recomendações para coleta e preservação de amostra estabelecidos pela *American Public Health Association* (APHA) (1995), para amostras de água para consumo humano.

As análises físico-químicas, bem como as microbiológicas (bacteriológicas), utilizadas nesta Dissertação foram realizadas pelo Laboratório de Hidroquímica do Departamento da Física Isotópica da UFC e no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia da UFC, com a metodologia analítica atendendo às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* de autoria das instituições da APHA, *American Water Works Association* (AWWA) e *Water Environment Federation* (WEF), ou das normas publicadas pela ISO (*International Standardization Organization*), como exige a Portaria 518/04 (Capítulo IV no seu Art. 17).

2.6 – Análises Físico-Químicas

Para a classificação do tipo químico das águas subterrâneas de acordo com o conteúdo iônico dominante, resultante da interação água-rocha, foi elaborado o diagrama de PIPER, utilizando o Programa *Qualigraf* (MÖBÜS,2003).

Os principais constituintes iônicos estão em quase todas as águas subterrâneas, representando assim, suas características e concentrações e podem ser usados para uma análise hidroquímica inicial na área de estudo.

No diagrama de Piper são plotados os valores dos principais constituintes iônicos do grupo dos cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{++} e o Mg^{++}) e dos ânions, (NO_3^- , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- e CO_2^-)

Para os outros parâmetros (pH, condutividade elétrica, sílica, ferro total, alcalinidade total, dureza total e sólidos totais dissolvidos - STD), foram feitos gráficos para a avaliação da qualidade das águas na região em estudo.

2.6.1 - Cálculo do Erro da Análise

O primeiro passo para a análise química é a realização do balanço iônico, onde se verifica o erro analítico admissível para cada amostra.

Numa análise hidroquímica completa e correta, a soma dos cátions deve ser aproximadamente iguais a soma dos ânions para uma mesma amostra. Segundo Fenzl (1986) os valores acima do erro permitido podem indicar:

- Erro analítico ou de cálculo (erros acumulados em cada uma das determinações individuais);
- A presença de íons menores (já que só são analisados os íons maiores) ou águas pouco mineralizadas, tais como águas de chuvas, etc.

Os métodos analíticos padrões são menos precisos para baixas concentrações iônicas podendo assim levar a valores elevados de erro permitido e sem que isso indique necessariamente um erro de análise ou de cálculo (FENZL,1986).

2.6.2 - Diagrama de Piper

O estudo de análises químicas pode ser simplificado e facilitado com a utilização de diagramas, hidrogramas e mapas hidroquímicos. As representações gráficas servem para destacar relações entre íons de uma mesma amostra, entre amostras de diferentes áreas ou

amostras de épocas diferentes. Foi utilizado o Diagrama de Piper para a representação gráfica das características químicas da água.

Após a transformação das concentrações dos principais cátions e ânions de mg/L para meq.L⁻¹, as concentrações iônicas de cada uma das amostras de água dos poços foram tratadas no software “QUALIGRAF” versão Beta, desenvolvido por MÖBÜS (2003) e, a partir deste, gerou-se o Diagrama de Piper.

O diagrama de Piper é um diagrama hidroquímico utilizado, freqüentemente, quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes em cálcica, cloretada, bicarbonata, sódica, magnésiana, sulfatada ou mista (Santos, 2000)

Este diagrama possui dois triângulos, um do lado direito onde são plotados os valores em percentuais das concentrações dos ânions e no esquerdo os dos cátions.

O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango define sua posição e classifica a amostra de acordo com suas fácies hidroquímica (Figura 2.1).

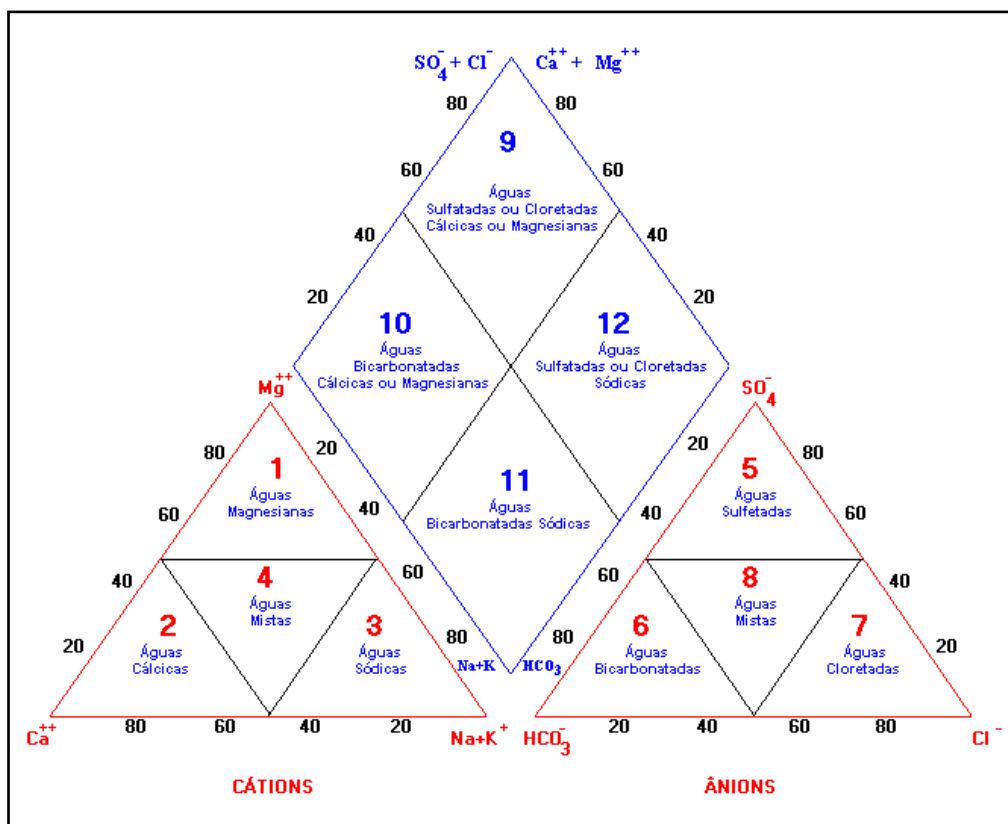


FIGURA 2.1 – Diagrama de Piper com a definição dos tipos hidroquímicos.

3 - ASPECTOS SÓCIOECONÔMICOS

Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000) o aglomerado urbano CRAJUBAR (Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha) era constituído de 363.232 habitantes, ocupando uma área total de 1.816,46 km². (Tabela - 3.1).

Tabela 3.1 – Dados gerais de CRAJUBAR / Ceará (IBGE, 2000)

Municípios	Área (km ²)	População total	Densidade demográfica (hab/km ²)	Homens	Mulheres	Urbana	Rural
Crato	1.010,46	104.377	103,34	49.387	54.990	83.744	20.663
Juazeiro do Norte	247,96	211.858	857,00	100.031	111.827	201.950	9.908
Barbalha	558,04	46.997	84,22	22.906	24.091	30.657	16.340
Total	1.816,46	363.232	-	172.324	190.908	316.351	46.911

Verifica-se que os municípios da região de CRAJUBAR, quando ordenados por tamanho de classe populacional apresentam o seguinte quadro: Crato (104.377 hab.) e Juazeiro do Norte (211.858 hab.) são classificados como médio-grandes e Barbalha (46.997 hab.) classificado como pequeno-médios de acordo com a classificação do IBGE (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Classificação dos municípios por faixa populacional

Classificação	Porte	Faixa Populacional (hab)
I	Pequenos	até 20.000
II	Pequenos - médios	de 20.001 até 50.000
III	Médios	de 50.001 até 150.000
IV	Médios - grandes	de 150.001 até 300.000
V	Grandes e capitais	acima de 300.000

A região do Cariri é atualmente a segunda maior concentração industrial do estado do Ceará. O município de Juazeiro do Norte concentra a maior renda e ocupa a terceira posição dentre os municípios do Estado do Ceará, atrás apenas de Fortaleza e Caucaia.

O município do Crato, possui o abastecimento d'água da população realizado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAEC que retira a água de fontes e poços. Possui saneamento básico em apenas 6% de sua sede, sendo o esgoto coletado e tratado. Seu sistema de comunicação é feito por rádios de abrangência intermunicipal. O comércio é diversificado e sua economia é baseada no setor de serviços.

Seu sistema bancário é responsável pelo atendimento de cidades vizinhas. Conta diversos grupos e com a Universidade Regional do Cariri – URCA.

O município de Juazeiro do Norte, com 211.858 habitantes e é o maior município do interior do Ceará. Possui um aeroporto de referência interestadual. É atendido por rede elétrica.

O abastecimento de água da população é realizado pela CAGECE que capta o Sistema Aquífero Médio (principalmente o aquífero Rio da Batateiras).

Possui saneamento básico em 66% de sua sede porém, o tratamento de esgotos é de apenas de 27% do total coletado. Seu sistema de comunicação é feito pelas rádios de abrangência intermunicipal.

Juazeiro do Norte é uma cidade religiosa. Padre Cícero é um mito para o povo nordestino, na comemoração de seu aniversário do padroeiro a cidade recebe milhares de pessoas vindas de várias regiões do país, o que mantém sempre ativo seu forte comércio local.

A cobertura dos serviços de coleta de lixo e de rede de abastecimento de água(Tabela 3.3), demonstra que o município de Juazeiro do Norte possui as melhores condições neste aspecto com cobertura de 88% nos serviços de coleta de lixo e 87% de rede de abastecimento de água.

Tabela 3.3– Cobertura de serviços de coleta de lixo e de rede de abastecimento de água em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Serviço de coleta de lixo (%)	Rede de abastecimento de água (%)
Crato	64,5	71,0
Juazeiro do Norte	88,4	87,4
Barbalha	54,7	71,2

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

A renda *per capita* de CRAJUBAR, no ano de 1993 foi assim distribuída: Crato (US\$ 1.252) Juazeiro do Norte (US\$ 1.172) e Barbalha (US\$ 669). Verifica-se que o município de Crato apresenta uma renda um pouco maior (US\$ 80) em relação a Juazeiro do Norte.

Em CRAJUBAR existem 104 unidades de saúde distribuídas em postos de saúde (70), centro de saúde (19) e hospitais (15). O maior número de unidades de saúde está em Crato com 62 unidades, possuindo 10,1 leitos habitante/ano (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Número de unidades de saúde e nº de leitos por habitante/ ano em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Posto de saúde	Centro de saúde	Hospitais	Leitos (hab/ano)
Crato	47	8	7	10,1
Juazeiro do Norte	15	5	5	2,2
Barbalha	8	6	3	5,8
Total	70	19	15	-

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) tem como objetivo básico traçar um perfil dos municípios cearenses e possibilitar a hierarquização dos mesmos no contexto global do Estado (Tabela - 3.5), permitindo avaliar resultados das gestões municipais, realizar estudos sobre o poder local e elaborar políticas públicas, podendo também, estimular uma saudável “competição” entre os administradores municipais no sentido de sempre fazer o melhor, objetivando elevar a qualidade da vida dos seus municípios.

Para se calcular os valores do IDM é realizado um agrupamento de indicadores:

- a) Fisiográficos, fundiários e agrícolas;
- b) demográficos e econômicos;
- c) de infraestrutura e apoio; e
- d) sociais.

Na região estudada o melhor Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) em 2000 foi o de Crato (52,53) ficando na quarta posição do ranking estadual, seguido por Barbalha (50,91) com a 5ª posição, o município de Juazeiro do Norte ficou bem atrás, na 15ª posição, com índice global de 41,85.

Tabela 3.5 - Hierarquização dos municípios de acordo com o Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM)

Municípios	Índice global	Ranking
Crato	52,53	4º
Barbalha	50,91	5º
Juazeiro do Norte	41,85	15º

Fonte: IPLANCE, 2002

A prática da atividade mineral na região vem se dando de forma predatória contribuindo para a degradação da paisagem pela formação de crateras nas lavras de argila, exposição da rocha nua, geração de material particulado e de ruídos, em larga escala, pelas lavras de granito e calcário, além de desencadeamento de processos erosivos e conseqüente assoreamento e turbidez dos cursos d'água. Há também os desmatamentos de grandes áreas para extração da lenha, usada em larga escala pela indústria da cerâmica vermelha. Nas lavras artesanais de calcário laminado (pedra Cariri), observa-se à exploração predatória do rico patrimônio paleontológico (fósseis) da região.

Atualmente ao norte de Crato e Juazeiro do Norte encontra-se várias áreas possuidoras de alvará de pesquisa para o bem mineral cobre, pelas mineradoras TECK COMINCO e Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) (Figura 3.1).

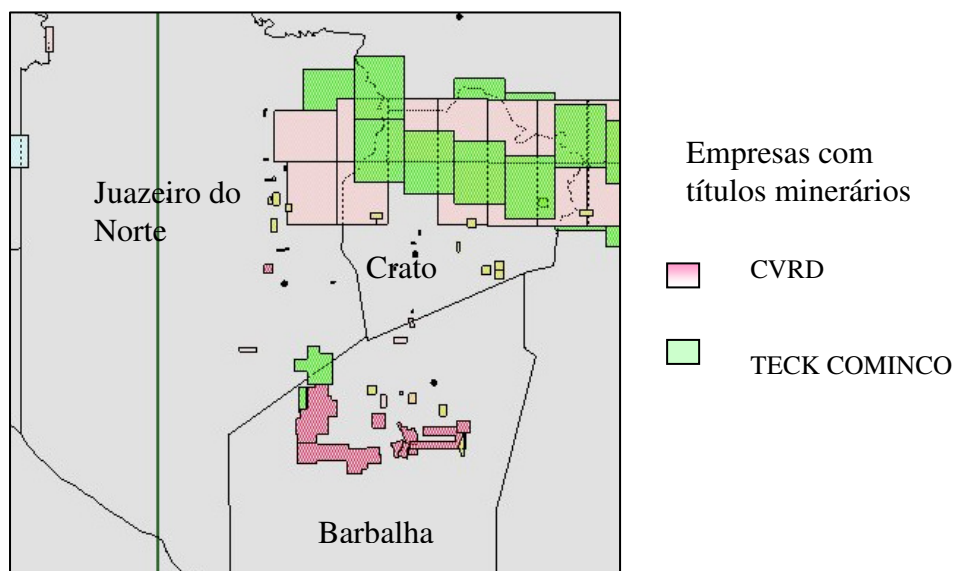


FIGURA 3.1 – Situação das áreas requeridas junto ao DNPM (jan/07)

4 – ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

Para o desenvolvimento de estudos hidrogeológicos, os aspectos climáticos, pedológicos e geológicos são fundamentais para a determinação do potencial hídrico subterrâneo, de uma dada região, e para entender as relações entre as águas superficiais e os aquíferos

A geologia, vegetação e clima têm importância nas águas superficiais e subterrâneas, porque esses agentes condicionam o estado da qualidade das águas. A água percola sobre os litotipos, incluindo e dissolvendo íons como cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos, entre outros.

4.1 – Clima

Estudos dos fatores climáticos são necessários para se estabelecer qualquer método de controle de qualidade das águas superficiais e subterrâneas de uma região.

Na região de CRAJUBAR (Vale do Cariri), o clima é semi-árido do tipo Aw' , segundo a classificação de KOPPEN, (1948 apud RADAMBRASIL, 1981), o que infere características de ser um clima tropical chuvoso, quente e úmido com chuvas de verão e máximas de 26°C no outono (Figura 4.1).

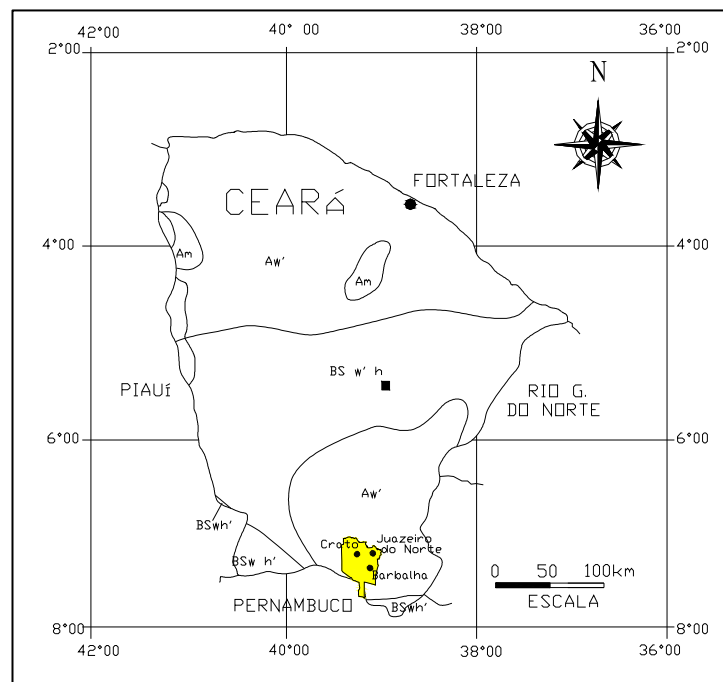


FIGURA 4.1 – Clima segundo a classificação de Köppen

4.1.1 - Precipitação

As informações sobre precipitação pluviométrica da área de estudo são apresentadas com base em dados fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME), que inclui informações de postos pluviométricos dentro da área e nas imediações. A pluviosidade média para CRAJUBAR foi de 1.147 mm/ano, Crato apresenta uma precipitação anual média de 1.245 mm; Juazeiro do Norte com 1.035 mm e Barbalha com 1.161 mm anuais, de uma série histórica de 1974-2005, ou seja, 31 anos.

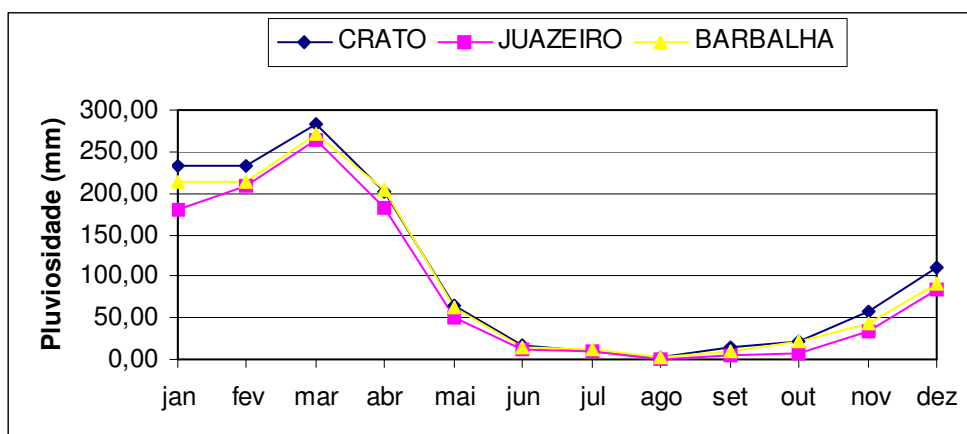
O ano de menor pluviosidade foi o de 1993 (523 mm), ano de estiagem em todo o Ceará e o mais chuvoso foi o de 1985 (1.970 mm). As figuras 4.2 e 4.3 mostram as médias pluviométricas mensais e anuais, respectivamente (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Precipitação atmosférica média anual de CRAJUBAR, Ceará no Período de 1974 – 2005

Municípios	Posto de observação	Média anual (mm)
Crato	Posto Crato	1.245
Juazeiro Do Norte	Posto Juazeiro do Norte	1.035
Barbalha	Posto Barbalha	1.161
Média	-	1.298

Fonte: FUNCEME, 2005

Em relação à distribuição da precipitação durante o ano, o mês de março com média de 272 mm representa o máximo mensal, enquanto que o mês de agosto apresenta o mínimo com uma média mensal de 1,91 mm (Figura 4.2).

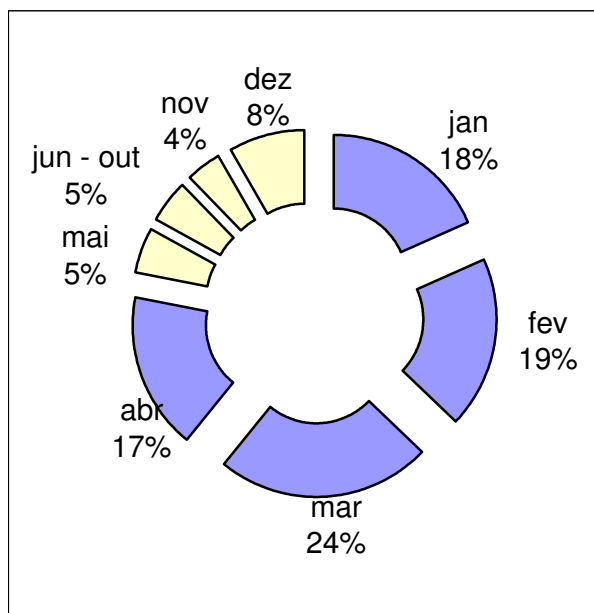


Fonte: FUNCEME, 2005

FIGURA 4.2 - Registro de pluviosidade média mensal em CRAJUBAR, Ceará (1974 –2005)

A região de CRAJUBAR possui uma estação chuvosa concentrada entre os meses de janeiro a abril (totalizando 895,12mm), ou seja, 78 % das precipitações ocorrem em apenas quatro meses do ano.

O período de estiagem ocorre entre os meses de junho a outubro, com 53,02 mm representando, juntos, apenas 5% das chuvas anuais (Figura 4.3).



Fonte: FUNCEME, 2006

FIGURA 4.3 - Porcentagem das médias mensais das chuvas no município de CRAJUBAR, Ceará (1974 – 2005)

As temperaturas são as mais amenas do sertão cearense, com média máxima de 26°C e média mínima de 24°C (FUNCEME/IPECE, 2004)

4.2 – Solos

Os solos atuam frequentemente como um “filtro”, tendo a capacidade de depuração e imobilizando grande parte das impurezas nele depositadas. No entanto, isso é limitado, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, à aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e à disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos (MOREIRA-NODERMANN, 1987).

O solo é uma mistura das fases sólida, líquida e gasosa presentes em uma matriz. Suas características dependem da rocha de origem e outros parâmetros, tais como organismos vivos e fatores climáticos que dão, com o tempo, características específicas a cada tipo de solo.

Os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha estão sobrepostos predominantemente a terrenos sedimentares, fazendo com que as áreas favoráveis à exploração agrícola sejam relativamente significativas. Segundo a EMBRAPA são identificados as seguintes classes de solos na área: latossolo vermelho-amarelo, regossolos, podzolicos vermelho-amarelo, areias quartzosas, vertisolos e solos aluviais (Figura 4.4).

4.2.1 - Latossolo Vermelho-Amarelo Álico (LV)

Solos desenvolvidos em arenitos da Formação Exu (Chapada do Araripe), com altos valores de saturação em alumínio trocável sendo, portanto, necessário para o uso agrícola adição de calcário (calagem), com o objetivo de reduzir os efeitos do alumínio nas culturas.

Observa-se na Figura 4.5 uma subdivisão dos latossolos em LVd6, LVd3 e LVd1, sendo respectivamente desenvolvidos nas formações Exu e Santana (fácies argilo-síltica e carbonática), ocorrendo nos interflúvios planos da vertente da Chapada do Araripe.

4.2.2 - Podzólicos Vermelho-Amarelo-Eutrófico (PE)

Representam solos minerais não hidromórficos dominados pelas argilas do grupo 1:1. Possuem seqüência de horizontes A, Bt e C, bem diferenciados e normalmente profundos. Possuem relevo suave ondulado formado a partir dos arenitos da Formação Missão Velha.

Nas médias e baixas vertentes da Chapada do Araripe ocorrem solos medianamente profundos, bem drenados, de textura argilosa/média e de média a alta fertilidade natural.

4.2.3 - Regossolos (RE)

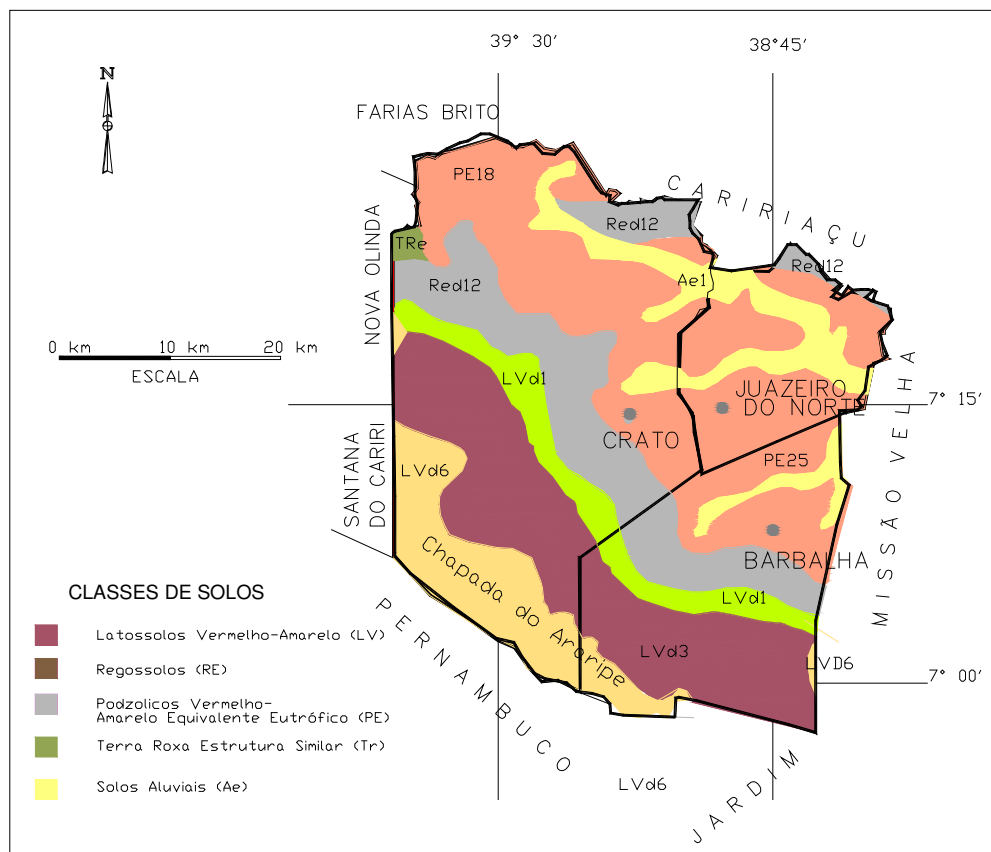
Solos formados pelo intemperismo da Formação Rio da Batateira (arenitos entremeados com fácies pelíticas). Possuem relevo forte ondulado.

4.2.4 - Solos Aluviais (AE)

São solos pouco desenvolvidos, formados a partir da deposição de sedimentos fluviais não consolidados, com natureza e granulometria bastante variadas. Nas várzeas dos rios Carás, Batateiras e Salamanca concentram-se os solos Aluviais de alta fertilidade natural, drenagem moderada a imperfeita, sem problemas de erosão, mas com riscos de inundações periódicas e de salinização, sendo intensivamente cultivados.

4.2.5 – Terra roxa estrutura similar (TR)

Ocorre sobre a Formação Santana composta por margas e folhelhos cinza, calcários, gipsita e anidrita, que aflora em uma pequena porção ao noroeste de Crato.



Fonte: Embrapa, 2000

FIGURA 4.4 – Solos de CRAJUBAR / Ceará

4.3 - Vegetação

Conforme Paschoal (1987), ao derrubar matas para instalar a agricultura, o homem remove sistemas biológicos complexos, multi-estruturados, extremamente diversificados e estáveis. Coloca em seu lugar sistemas simples e instáveis, característicos dos primeiros estágios de sucessão ecológica. Passam a existir algumas espécies onde outrora existiam centenas, ou mesmo milhares.

Reduzindo a diversidade e recobrando vastas áreas com plantas iguais ou muito semelhantes entre si (monoculturas), o homem favorece a reprodução de certos herbívoros que, enfrentando poucos competidores, tendem a constituir populações numerosas. Ocorrem flutuações drásticas em populações, com o surgimento de pragas capazes de alterar todo o ecossistema e, em muitos casos, destruir as culturas. Com isto ele passa a fazer uso de produtos químicos, o que resulta em resíduos indesejáveis de defensivos nas águas superficiais e possivelmente nas subterrâneas.

Segundo Figueiredo (1997) as unidades fitoecológicas da região de CRAJUBAR estão divididas em Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida), Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca), Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) e Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa (Cerrado)

4.3.1 - Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida)

Está localizada nas vertentes da Chapada do Araripe. A altitude e a exposição aos ventos úmidos são os principais determinantes da existência dessa floresta, haja visto que fica mais protegida de ações antrópicas. As árvores apresentam caules retilíneos, espessos, cobertos com líquens, orquídeas e samambaias. Algumas espécies mais comuns são representadas pelo Ingá, Guabiraba, Pinheiro e Erva do mato.

4.3.2 - Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca)

Ocorre nas zonas abaixo das vertentes da chapada. As espécies são da mata úmida e da caatinga arbórea, cuja faixa de amplitude ecológica permite viver nesse ambiente que reúne as espécies da mata seca. Algumas espécies mais comuns são representadas pelo Pau-d'arco-roxo, Mulungu e Timbaúba

4.3.3 - Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea)

Caatinga é um termo indígena que denomina um tipo de vegetação xerófila que ocorre no semi-árido do Nordeste do Brasil. No Ceará, associada à unidade denominada "Carrasco",

cobrem cerca de 80% do estado. Ocupa as áreas abaixo das matas secas. Os indivíduos apresentam porte da ordem de 20 m, espessura dos caules maiores e a densidade é menor que as outras caatingas (800 indivíduos/ha). Algumas espécies mais comuns são representadas pela Aroeira (*Myracrodruon*), Imbu (*S. Tuberosa*) e Jucá (*C. Ferrea*).

4.4 - Geomorfologia

A área de pesquisa está localizada morfológicamente na Zona de Pediplano, salientando-se que esta zona pertence a Bacia Sedimentar do Araripe localizada no alto sertão nordestino, com uma área total de 11.000 km² compreendida em três unidades de relevo distintas: Zona da Chapada, Zona de Talude e Zona de Pediplano (Depressão Sertaneja)

4.4.1 - Zona da Chapada do Araripe

A Chapada do Araripe ocorre na maior parte da Bacia do Araripe, apresentando-se como uma superfície tabuliforme cujo eixo principal se dispõe de leste para oeste com extensão da ordem de 170 a 180 km (Figura 4.5). De norte para sul, a largura não ultrapassa a 70 km. Os níveis altimétricos da chapada estão em torno de 850 a 900 metros. Os arenitos da Formação Exu funcionam como mantenedoras do relevo que exhibe feições planas e dissecação particularmente nula (SOUZA, 1975).

A ausência quase total de drenagem no topo da chapada está diretamente relacionada às características do solo que a recobre, arenosos e, portanto, bastante porosos e permeáveis.



Foto do autor (abril/06)

FIGURA 4.5 – Aspecto do relevo escarpado apresentado pela Chapada do Araripe foto tirada da CE-397 no sentido Mauriti – Brejo Santo

4.4.2 - Zona de Talude

Representa a parte que bordeja o sopé da Chapada, incluindo geologicamente as unidades litológicas das formações Arajara e Santana, estando a primeira representada por siltitos e arenitos argilosos e/ou caulíníticos e, a segunda constituída por margas, folhetos e calcários, contendo níveis intercalados de gipsita. O solo derivado dessa associação litológica é espesso, pouco permeável e bastante fértil, com baixa aridez, desenvolvendo-se nele uma drenagem relativamente densa e ramificada.

No contato entre as formações Exu (na base de escarpa) e Arajara, e dentro desta, existem centenas de exutórios naturais de água que deveriam ser melhor aproveitados na irrigação e/ou abastecimento humano dos municípios localizados ao sopé da chapada.

4.4.3 - Zona de Pediplano (Depressão Sertaneja)

Também conhecida como Vale do Cariri é bem representada na parte cearense da bacia constituindo uma “vasta depressão com extensão da ordem de 1.500m² emoldurada, ao sul, pelas falésias escarpadas da Chapada do Araripe e ao norte e nordeste pelas cuestas dos arenitos siluro-devonianos da Formação Mauriti” (PONTE, 1991).

Está localizada na região nordeste da Bacia e inclui os municípios do Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Abaiara, Miagres, Mauriti, Jardim, Porteiras e Brejo Santo. Possui altitudes médias de 400 metros variando localmente de 377m (Juazeiro do Norte) a 427 m (Crato) marcados por morros alongados entremeados por vales amplos de fundo plano.

Apenas uma saliência se destaca nesta morfologia plana a Serra da Mãozinha (com altitudes máximas entre 800 e 900 metros), em Missão Velha.

Os litotipos dominantes são as formações Brejo Santo e Missão Velha (Jurássico), Abaiara e Rio da Batateira (Cretáceo), tendo como camadas subjacentes os arenitos da Formação Mauriti e, por vezes, as rochas do embasamento cristalino pré-cambriano.

4.5 - Hidrografia

Á área de estudo encontra-se inserida na Sub-Bacia do rio Salgado (13.275 km²), sendo que o rio Salgado tem como principais afluentes o rio Batateiras, rio Salamanca e o riacho dos Porcos.

Esta sub-bacia hidrográfica é atípica em termos de água subterrânea no Ceará, constituindo-se na maior bacia hidrogeológica mapeada, detendo os melhores sistemas aquíferos, os poços tubulares mais profundos (até 750 m) e as maiores vazões (300 m³ no Crato).

A Sub-Bacia do Rio Salgado, é uma das cinco sub-bacias da Bacia do Rio Jaguaribe (Figura 4.6) e o rio Salgado é o principal afluente da margem direita do rio Jaguaribe, sendo formado pela junção dos riachos Batateiras e dos Porcos, cujas nascentes localizam-se no sopé da Chapada do Araripe, desembocando no Jaguaribe na altura do município de Icó, abaixo do açude Orós. Também é um dos principais responsáveis pela recarga do açude Castanhão, reservatório com capacidade de 6,7 bilhões de metros cúbicos e “caminho” das águas, no Projeto de transposição do rio São Francisco.

Os principais tributários do rio Salgado são os rios Carás, Batateiras e Salamanca. A região apresenta uma fraca disponibilidade de recursos hídricos superficiais, contando apenas com dois reservatórios de grande porte (açudes Manoel Balbino e Thomas Osterne), que por terem duração plurianual, constituem peças essenciais em períodos de estiagem, além de permitirem a perenização do vale do rio Carás, perfazendo um volume acumulado de 66 hm³. Merece destaque ainda, as nascentes da Chapada do Araripe, nos municípios de Crato e Barbalha, que juntas representam 112 fontes naturais responsáveis pela recarga dos aquíferos e pela formação da rede de drenagem da região.

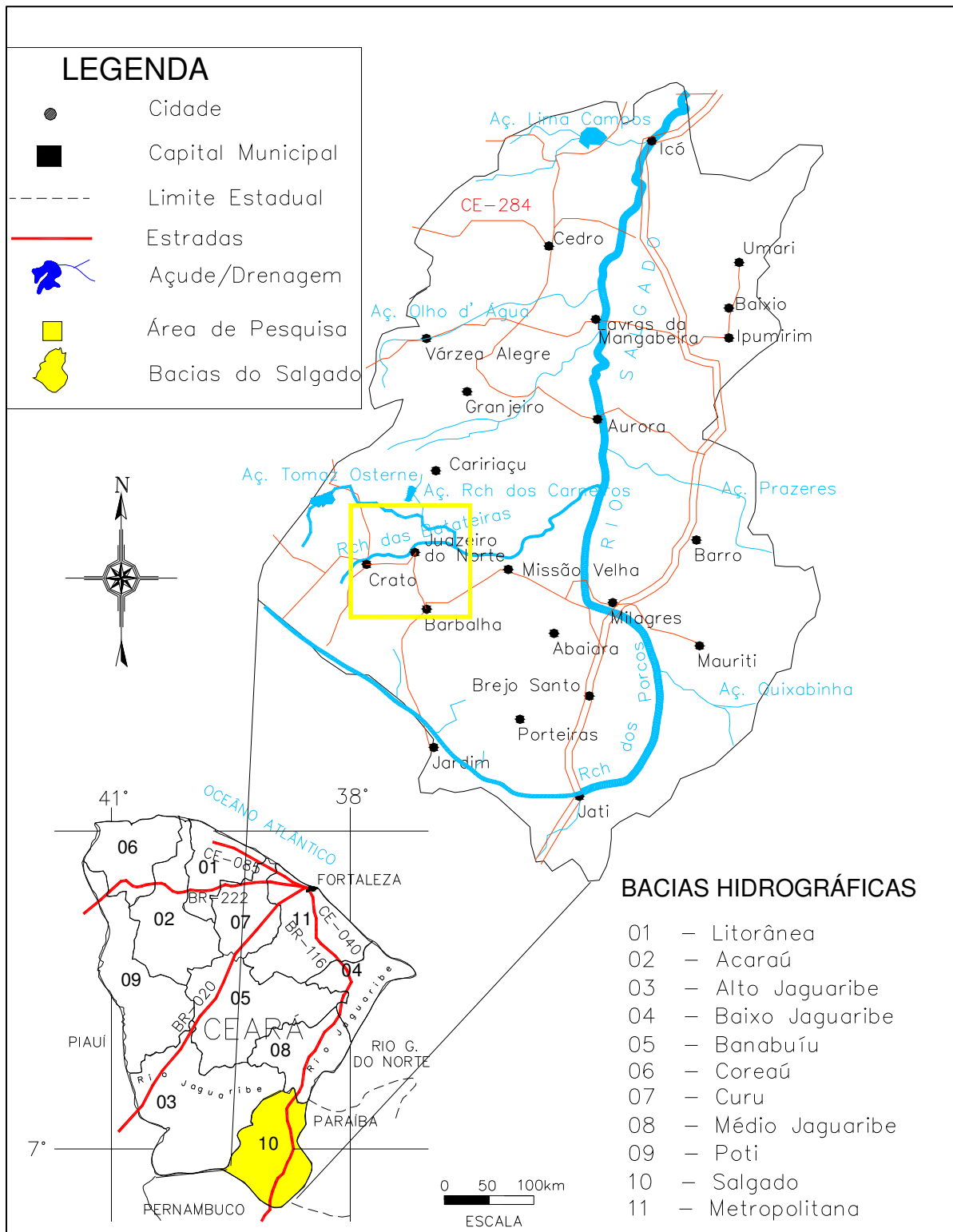


FIGURA 4.6 – Sub-Bacia do Rio Salgado, Bacia do Jaguaribe, Ceará

A bacia se desenvolve numa rede de drenagem predominantemente dendrítica, com altitude inicial de 872 m e declividades que variam de 0,044% a 0,96%, média de 0,49%, com terreno sedimentar representado pelos arenitos porosos, da Formação Exu, que possuem alta taxa de infiltração e, conseqüentemente, um baixo poder de escoamento.

Tabela 4.2 - Relação dos Açudes que ocorrem em CRAJUBAR, Ceará

Reservatório	Município	Rio ou Riacho Barrado	Capacidade máxima dos reservatórios (hm ³)	Área da Bacia (km ²)
riacho. dos Carneiros	Juazeiro do Norte	dos Carneiros	37,18	30,23
Thomas Osterne	Crato	Carás	28,79	74,64

Fonte: Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Jaguaribe, 2002

Os três principais rios da Sub-Bacia do Salgado se encontram bastante vulneráveis com relação ao desmatamento, posto que há uma intensa atividade agrícola próximas às margens.

O Riacho Batateiras é o que se apresenta em pior situação, existindo mata ciliar somente no trecho entre a cidade de Juazeiro do Norte e a confluência com o rio Salgado. No riacho dos Porcos o problema é o mesmo, pois há extensas áreas agrícolas nas margens desde a nascente até a cidade de Jati. Apesar da existência de 57% das matas ciliares ao longo do rio Salgado isto não é uma garantia de proteção eficiente ao desmatamento, pois são faixas estreitas de matas e muito descontínuas envolvidas por extensas áreas agrícolas (COGERH, 2001).

4.6 - Áreas de Proteção Ambiental

- Floresta Nacional do Araripe

É um importante parque ecológico e representa a primeira floresta tombada do país, com 38.262 hectares e criada pelo Decreto Lei 9226/46 em um ecossistema de serra úmida, denominado Floresta Nacional do Araripe-FLONA, sob a administração do IBAMA.

- APA Chapada do Araripe

A APA Chapada do Araripe, compreende além do topo, a encosta e parte do pediplano da Chapada do Araripe, abrangendo uma área de 1.050.000 ha, com seu perímetro envolvendo 11 municípios do Piauí, 12 de Pernambuco e 15 do Ceará, dentre os quais estão inclusos Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. A gestão da APA da Chapada do Araripe pelo IBAMA prevê a execução do seu Plano Diretor e Zoneamento Ecológico-econômico, estando o

referido trabalho em fase de elaboração, sob a Coordenação da URCA - Universidade Regional do Cariri. É importante ressaltar que o estado de conservação dos recursos florestais e hídricos das unidades de conservação da região, principalmente na área da APA, encontra-se relativamente comprometido pela ação antrópica, merecendo uma política de recuperação urgente.

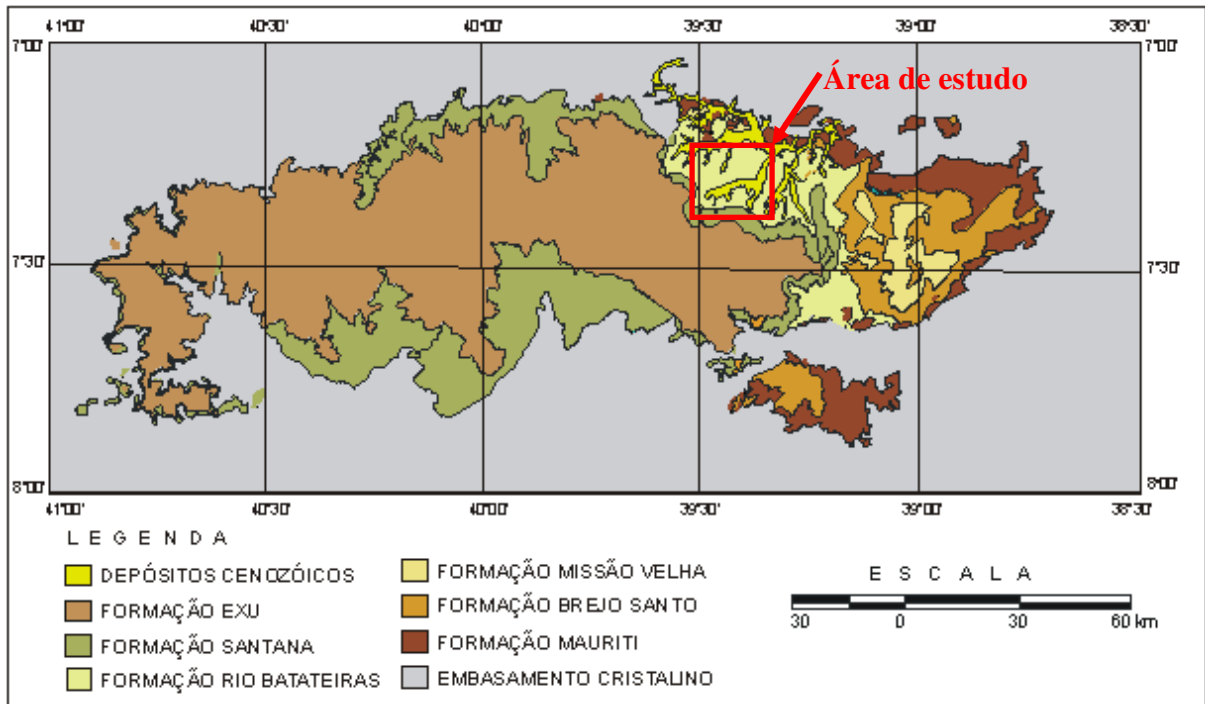
- Geopark Araripe

O Geopark é uma proposta da divisão de Ciências da Terra da Organização das Nações Unidas para a Educação (UNESCO) voltada para a promoção e proteção de áreas possuidoras de relevantes valores no estudo do patrimônio geológico-paleontológico, educacional e cultural do planeta. É uma proposta de desenvolvimento auto-sustentável, ou seja, que proporcione melhoria de vida para a população residente na área, preservando ao mesmo tempo o meio ambiente.

O Geopark do Araripe é o primeiro do continente americano e do hemisfério e foi reconhecido oficialmente pela UNESCO. Possui nove geotopes, sendo um no Crato (Geotope Batateiras, na Cascata do Lameiro); um em Juazeiro do Norte (Geotope Granito, na colina do Horto) e um em Barbalha (Geotope Arajara, no riacho do Meio).

5 – GEOLOGIA

A Bacia do Araripe (Figura 5.1) é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil, localizando-se entre os estados do Ceará, Piauí e Pernambuco. Sua área de ocorrência não se limita à Chapada do Araripe, estendendo-se também pelo Vale do Cariri num total de aproximadamente 9.000 km², com 180 km de leste-oeste e 70 km norte-sul, no seu trecho maior (ASSINE, 1992).



Fonte: modificado de Cavalcante, 2003

FIGURA 5.1 - Esboço geológico da Bacia do Araripe.

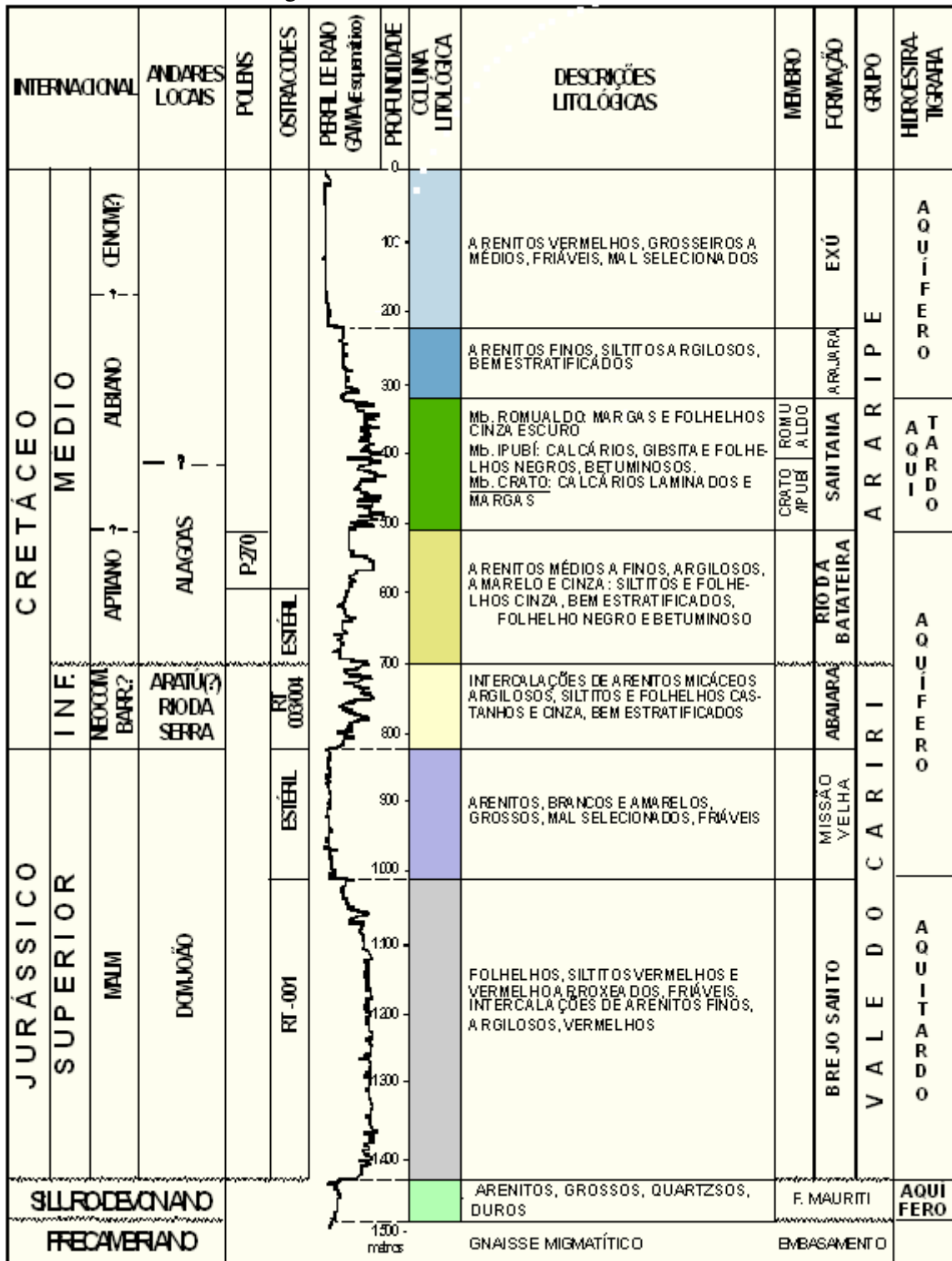
O preenchimento sedimentar da Bacia do Araripe (espessura da ordem de 1.700 metros) iniciou-se no Paleozóico, cerca de 430 milhões de anos atrás, após a estabilização do supercontinente Gondwana, formado entre o final do Proterozóico Superior e início do Fanerozóico (800-500 Ma).

5.1 - Unidades Estratigráficas

Foram adotados as terminologias e posicionamentos estratigráficos propostos por Ponte (1992) e Assine (1991), que descreveram principalmente dados de subsuperfície do poço 2-AP-I-CE. Sintetizadas por Cavalcante et al. (2003) no Mapa Geológico do Ceará individualizando do topo para base da seguinte forma: Coberturas Cenozóicas (Aluviões e Colúvios); Sedimentos Mesozóicos dos períodos Cretáceos e Jurássico representados

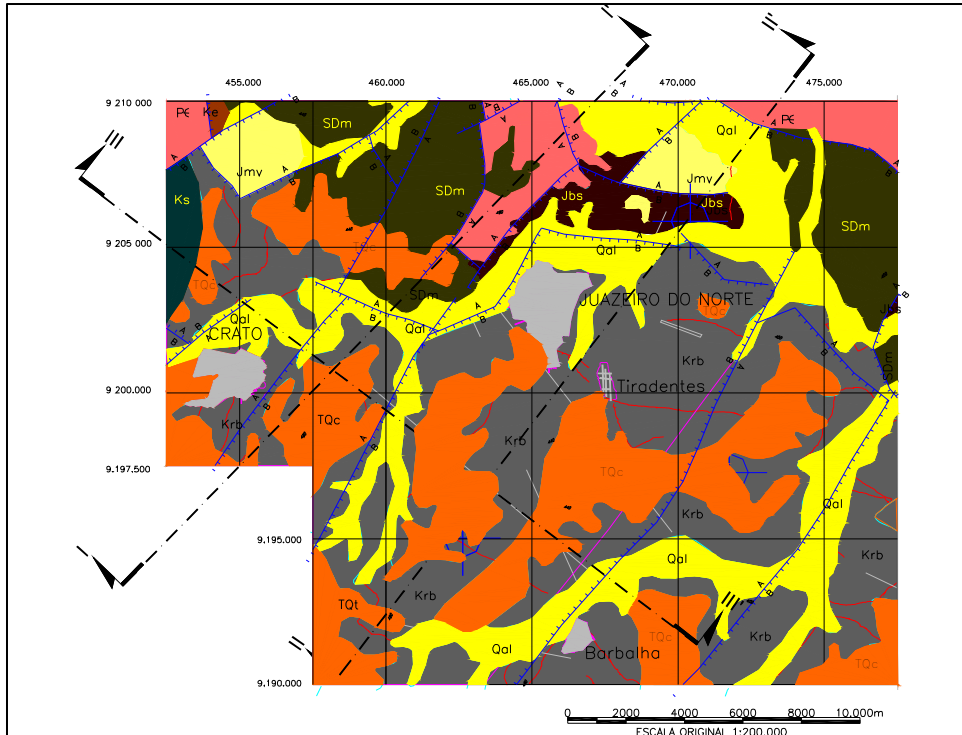
respectivamente, pelos grupos Araripe e Vale do Cariri; Sedimentos Paleozóicos da Formação Mauriti; e o Embasamento Cristalino do Pré-Cambriano (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe /Ceará com caracterização hidroestratigráfica



Fonte: Ponte & Appi (1990)

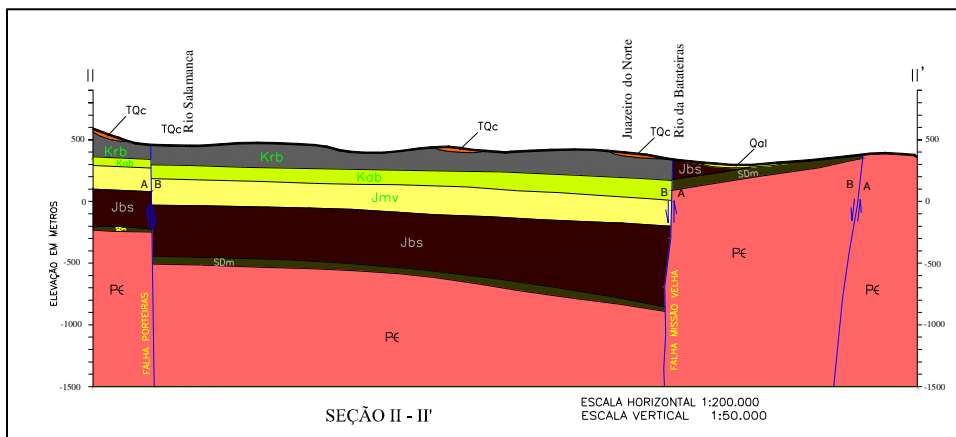
A Figura 5.2 representa um mapa geológico de CRAJUBAR mostrando a distribuição espacial dos afloramentos das rochas.



Fonte COGERH, 2002

FIGURA 5.2 – Geologia de CRAJUBAR/ Ceará

A Figura 5.3 ilustra uma seção geológica esquemática de caráter interpretativo e generalizado de CRAJUBAR, a qual se inicia no sopé da Chapada do Araripe no município de Barbalha, passando pelo rio Salamanca, atinge o leste da cidade de Juazeiro do Norte, cruza o rio Batateiras, até o limite da área de estudo.



Fonte COGERH, 2002

FIGURA 5.3-Seção geológica (II- II') esquemática de CRAJUBAR / Ceará

5.1.1 -Pré-Cambriano

Corresponde ao embasamento da Bacia, estando cronologicamente situado na Era Neoproterozóica com idades de 650 a 540 Ma.

5.1.1.1 - Supersuíte Granitóide Tardi- a Pós-Orogênica Indiferenciado (NP3 gama 3i)

Esses granitos ocorrem como um corpo isolado aflorando exclusivamente no norte da área pesquisada, mais precisamente na Serra do Horto, no município de Juazeiro do Norte, onde fica a estátua do Padre Cícero.

Possui composição granítica a granodiorítica intermediária, com mineralogia formada de plagioclásio, feldspato potássico, quartzo, hornblenda e biotita, com coloração cinza, granulometria média a grossa, por vezes porfiríticas (feldspato potássico) em partes com enclaves dioríticos (CAVALCANTE et al., 2003).

5.1.2 - Seqüências estratigráficas da Bacia do Araripe

A Bacia do Araripe é constituída por eventos tectono-sedimentares superimpostos quase que na mesma área geográfica, porém em intervalos de tempo distintos, limitadas por discordâncias.

5.1.2.1 – Seqüência Paleozóico

Depositou-se entre o Ordoviciano Superior e o Siluriano Inferior, há cerca de 430 Ma., sendo correlacionada à Formação Ipu (base do Grupo Serra Grande) como uma extensão da Bacia do Parnaíba. É delimitada na base e topo por discordâncias erosivas. É representada pela Formação Mauriti.

5.1.2.1.1 - Formação Mauriti (SDm)

Repousa discordantemente sobre rochas pré-cambrianas e faz contato por falha com a Formação Brejo Santo. Os arenitos desta formação afloram ao norte de Juazeiro do Norte. Trata-se de uma unidade afossilífera datada provavelmente do Siluro-Devoniano (435 a 410 Ma), constituindo um pacote variável com espessura de 10 a 50 metros, sobreposto discordantemente ao Embasamento Pré-cambriano e sotoposto à Formação Brejo Santo.

Litologicamente é constituído por conglomerados e arenitos de granulometria grossa, localmente silicificados, com coloração esbranquiçada, apresentando pequenas faixas

avermelhadas, correlacionável com rochas litorâneas. A sedimentação possui fácies de leque aluvial, fluvial entrelaçado e eólico.

Pela relação do tamanho, morfologia e esfericidade dos grãos de quartzo pode concluir-se que a fonte não era próxima e a energia de transporte foi moderada, pois houve tempo para a diminuição granulométrica e arredondamento dos grãos. A energia na qual auxiliou na deposição foi constante, não ocorrendo variação nas faixas de granulação.

Se distingue dois conjuntos faciológicos:

- Arenitos sub-arcoseanos a arcoseanos (mais que 25% de feldspatos), médios a muito grossos, com níveis conglomeráticos e organizados em conjuntos de estratos cruzados tabulares de médio porte, por vezes acanalados, depositados em ambientes fluvial entrelaçado, e;
- Arenitos quartzosos finos bem selecionados, com grãos arredondados, em conjuntos de estratos cruzados planares de grande porte, relacionados a dunas eólicas. As paleocorrentes fluviais orientam-se para NW.

5.1.2.2 – Seqüência Juro-neocomiana (Mesozóico)

Depositou-se entre 160 e 110 Ma, no interior do Nordeste Oriental Brasileiro, como resposta ao processo de rifteamento do Gondwana. É composta pelo Grupo Vale do Cariri. Seus sedimentos apresentam-se espacialmente em horstes e grábens, dispostos em duas sub-bacias: Cariri e Serrolândia.

5.1.2.2.1 - Grupo Vale do Cariri

Na área da dissertação não aflora a Formação Abaiara, ocorrendo somente as rochas pertencentes ao período Jurássico Inferior: Formação Brejo Santo e Missão Velha.

Seus sedimentos afloram extensivamente na porção leste da bacia, ao longo do Vale do Cariri, numa sub-bacia estruturada por falhas predominantemente distensionais, de direções nordeste e leste-oeste, que definem um arcabouço em horstes e grábens.

Esta seqüência foi a resposta sedimentar à subsidência mecânica no interior da Região Nordeste do Brasil, induzida pela transmissão no interior da placa dos esforços decorrentes dos processos de rifteamento do Gondwana.

5.1.2.2.1.1 - Formação Brejo Santo (J3vb)

É datado do período Jurássico com idade de 154 a 135 Ma. Assim como a Formação Mauriti, sua área de domínio acha-se restrita, quase que exclusivamente, à porção da bacia correspondente ao Vale do Cariri.

Corresponde aos folhelhos e siltitos de cores variadas e com intercalações de arenitos finos, argilosos, vermelhos / lacustre raso, com influência fluvial e, secundariamente, eólica.

Ocorre na base da seqüência com espessura de 450 metros. Constituída, na base, por uma alternância bem estratificada de arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos, contendo, localmente, intercalações de arenitos vermelhos.

No topo ocorrem argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons escuro sílticos, calcíferos, localmente listrados ou manchados de verde claro.

O registro de formas exclusivamente não-marinhas indica sedimentação continental, em depressões amplas e rasas, onde se desenvolveram sistemas aluviais/lacustres caracterizados por condições oxidantes, ambientes propícios à formação de camadas vermelhas (*red beds*) (ASSINE, 1992).

5.1.2.2.1.2 - Formação Missão Velha (J3k1vm)

Ocorre imediatamente sobreposto a Formação Brejo Santo; o contato entre as duas unidades é concordante, gradacional materializado por uma passagem gradual de fácies pelíticas avermelhadas para fácies psamíticas sobrepostas que apresentam pouca variação granulométrica na vertical.

Esta formação aflora única e exclusivamente no Vale do Cariri sendo constituída de arenitos grosseiros, mal selecionados, de coloração esbranquiçada ou amarelada, mostrando estratificação cruzada e leitos conglomeráticos.

Alguns autores estimam uma espessura de 190 metros para o conjunto Brejo Santo (50m) e Missão Velha (140m) porém os dados de sub-superfície obtidos do poço 2-AP-1-CE revelaram para esta formação uma espessura de 187 metros que, segundo Assine (1992) apresentam-se constante ao longo da bacia.

São arenitos quartzosos ligeiramente feldspáticos e/ou cauliniticos às vezes conglomeráticos de coloração esbranquiçada e amarelada, grossos, mal selecionados, friáveis e contendo

madeira fóssil com troncos e fragmentos de madeira silicificada, de ambiente fluvial torrencial.

Organizam-se em conjuntos de estratos cruzados cuneiformes e acanalados de médio porte. Intercalam-se também níveis descontínuos, decimétricos a métricos, de siltitos arroxeados.

O perfil estratigráfico vertical mostrando granocrescência ascendente gradual dos pelitos avermelhados da Formação Brejo Santo para os arenitos da Formação Missão Velha permite interpretar um empilhamento sedimentar progradante, onde lagos rasos e/ou planícies aluviais distais úmidas foram colmatadas (preenchidas) por sistemas flúvio-deltáico de pequeno a médio porte, mas de alta energia a julgar pelas litotipos e dimensões dos sets.

5.1.2.2.1 - Formação Abaiara (K1va)

Possui contato brusco com a Formação Missão Velha, enquanto que uma discordância erosiva de caráter regional a separa da Formação Rio da Batateira. Sua espessura estimada é de 115 metros (poço 2-AP-1-CE), sendo composto por arenitos micáceos, argilosos, intercalados com siltitos e folhelhos castanhos, cinzentos e esverdeados, bem estratificados / ambiente lacustre raso e fluvial.

É formada de uma variedade litológica que inclui na *base*, folhelhos e siltitos vermelhos a verdes intercalados com estratos decimétricos e descontínuos de arenitos finos e lâminas de carbonatos argilosos. A *seção mediana* é composta por folhelhos siltíticos esverdeados intercalados com lentes métricas de arenitos quartzosos finos a muito grossos com níveis conglomeráticos e fragmentos de madeira silicificada.

No *topo* ocorrem arenitos finos a médios, subarredondados, organizados em conjuntos (sets) decimétricos a métricos de estratos cruzados tabulares tangenciais na base. Intercalam-se neste nível algumas camadas decimétricas a métricas de folhelhos esverdeados que são interpretados como registro de lagos efêmeros adjacentes aos canais, originados nas várzeas, com conseqüência de inundações. Portanto, a unidade depositou-se em ambiente flúvio-lacustrino.

5.1.2.3 – Seqüência Aptiano-Albiana

Depositou-se por volta de 110 Ma.; assenta-se sobre as duas inferiores em discordância angular, iniciando-se com os arenitos fluviais da Formação Rio da Batateira, aos quais se sobrepõe a seção pelítico-evaporítico-carbonática da Formação Santana. Constitui um ciclo

transgressivo-regressivo com ingressão (transgressão) marinha de curta duração e consequência dos eventos eustáticos globais de elevação do nível do mar no Cretáceo, cujo máximo somente foi atingido no Turoniano.

5.1.2.3.1 - Grupo Araripe

Estratigraficamente o Grupo Araripe repousa discordantemente ora sobre o Grupo Vale do Cariri (porção oriental), ora sobre rochas pré-cambrianas (porção ocidental). Os contatos entre suas unidades são transicionais, com passagens bruscas marcadas localmente por diastemas.

As Formações Rio da Batateira (Barbalha) e Santana ocorrem em quase toda a extensão da Chapada do Araripe e, descontinuamente, ao longo do Vale do Cariri. Distingue-se estrutural e estratigraficamente das duas seqüências sotopostas, sobre as quais assenta-se em discordância angular. Na porção ocidental da bacia, é comum repousar diretamente sobre o embasamento pré-cambriano/eopaleozóico. Na área de estudo está representado pela Formação Rio da Batateira.

5.1.2.3.1.1 - Formação Rio da Batateira (K1arb)

A Formação Rio da Batateira (PONTE & APPI, 1990) é equivalente a Formação Barbalha, de Assine (1990), e representa o estágio inicial da tectono-sequência Pós-rifte da Bacia do Araripe. Apresenta uma espessura de aproximadamente 200 metros e está constituída por dois ambientes deposicionais (fácies) distintos:

- na base, uma associação fluvial, representados por arenitos grossos a médios;
- no topo, uma associação lacustre-deltáica, representados de arenitos médios a finos.

Ocorre na base da seqüência, compondo-se predominantemente por arenitos finos a médios, subarredondados a subangulares, bastante friáveis, argilosos e micáceos, por vezes portadores de seixos e feldspatos caulinizados e bolas de argila. A estratificação é cruzada, de médio a pequeno porte, tabular planar ou tangencial na base, comparecendo também feições sigmoidais. Intercalam-se lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados.

Verifica-se no meio da seção uma intercalação de folhelhos carbonosos (Camada Batateira) ricos em laminações carbonáticas. As fácies organizam-se em ciclos granodecrescentes ascendentes que culminam em intervalos pelíticos, indicando ambiente deposicional fluvial com primeiro registros de amplo sistema lacustre na seqüência.

As "Camadas Batateira" representam o final de um evento de redução paulatina da energia do ambiente fluvial, constituindo o primeiro registro de um amplo sistema lacustre na seqüência.

Inicialmente restrito e caracterizado por águas rasas e pouco oxigenadas (Eh redutor), constituiu o ambiente propício à fixação de íons metálicos (Pb, Zn e Cu) sob a forma de sulfetos, cuja precipitação foi favorecida pela alta porosidade das brechas carbonáticas.

Litologicamente esta formação é composta por bancos de arenitos fluviais médios a grosseiros gradando, ascendentemente, para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e se encerra com uma seção de folhelhos negros, orgânicos, fossilíferos, denominada de "Camadas Batateira".

Mesmo que macroscopicamente semelhantes aos arenitos das formações Missão Velha e Abaiara, a existência de intercalações de folhelhos cinza-escuros a pretos e o caráter mais friável dos arenitos da Formação Rio da Batateira (Barbalha), são critérios que permitem distinguir estes sedimentos daqueles. Critérios estruturais constituem elementos adicionais na identificação da Formação Rio Batateira (Barbalha), que pode ser reconhecida dentro do próprio Vale do Cariri, onde ocorre sob a forma de tabuleiros subhorizontalizados recobrendo sedimentos juro-neocomianos, sendo estes, na maioria das vezes, também arenosos, mas freqüentemente estruturados tectonicamente em blocos basculados. A seqüência Albiano-Cenomaniana, representado pela Formação Exu, não ocorre na área de estudo.

5.1.2.3.1.2 - Formação Santana (K1as)

Seguindo o esquema proposto por Beurlen (1971), Ponte (1992) considera essa formação subdividida nos membros Crato, Ipubí e Romualdo. Seu contato com a Formação Rio da Batateira (Barbalha) é concordante gradacional e sua espessura chega a 250 metros.

Ocorre como uma franja na borda da chapada e, no geral, é caracterizada por arenitos avermelhados de granulometria fina a média, com intercalações de siltitos e folhelhos, calcarenitos e calcários brechóides na base. Tem origem fluvial. Apresenta calcários de cor creme, localmente cinza, com intercalações de folhelhos silticos, calcíferos e fossilíferos, calcários laminados e calcários argilosos (margas) com níveis descontínuos com concreções, além de gipsita, siltitos, arenitos finos e calcarenitos no topo. O ambiente de sedimentação é de origem marinha.

5.1.2.3.1.3 - Formação Arajara (K1aa)

Corresponde a uma associação com até 100 metros de espessura (poço2-AP-1-CE) constituindo-se de siltitos, argilitos, arenitos finos argilosos, bem estratificados, exibindo marcas de ondulações, estratos cruzados e acanalados de pequeno a médio porte e coloração variegada, predominando as tonalidades vermelha e amarela sobre as demais.

5.1.2.4 – Seqüência Aptiano-Cenomaniana

Depositou-se por volta de 100 Ma, sendo delimitado na base e topo por discordâncias erosivas, sendo composta pela Formação Exu.

5.1.2.4.1 - Formação Exu (K2ae)

Trata-se da unidade estratigráfica que encerra a seqüência paleo-mesozóica da Bacia Sedimentar do Araripe, constituindo uma capa contínua em toda extensão da chapada, representada por uma seqüência monótona de arenitos vermelhos friáveis, argilosos, em geral caulínicos, de granulometria variável, contendo leitos intercalados de arenitos grosseiros a conglomeráticos.

As espessuras aflorantes desta formação são variáveis, atingindo valores máximos (150 a 200 metros) na parte leste da chapada e valor mínimo, em torno de 100 metros, na extremidade oeste.

5.1.2.5 – Depósitos sedimentares

É aqui representado por depósitos de Talus e Cólvios, bem como os sedimentos aluviais.

5.1.2.5.1 - Depósitos de Talus (NQt)

Localmente, são representados pelos sedimentos arenosos e depósitos de tálus arenosos com blocos de tamanhos variados que ocorrem no sopé das encostas, e os depósitos arenosos, conglomeráticos ou não, que se associam às planícies aluvionares, algumas até extensas. São relacionados, predominantemente, às formações Santana e Arajara.

5.1.2.5.2 - Depósitos de Coluvios (NQc)

Ocorrem em manchas isoladas na extremidade norte da área, formam sedimentos argilo-arenosos, de tons alaranjado, avermelhado e amarelado; localmente cascalhosos, e

É dividida em duas sub-bacias: a sub-bacia leste (Cariri) e a sub-bacia oeste (Feira Nova ou Feitoria), separadas pelo auto estrutural Horst de Dom Leme (PONTE, 1991).

5.2.1 - Evolução Tectônica

Segundo Ponte (1991), a Bacia do Araripe é estruturalmente formada por dois compartimentos distintos: os Riftes Neocomianos-Cretáceo Inferior e Coberturas Tabulares Meso-Cretácicas. Quanto à evolução tectônica esta dividida em um Ciclo tectono-Sedimentar Paleozóico e quatro estágios Tectono Sedimentar Mesozóico.

5.2.1.1 - Ciclo Tectono-Sedimentar Paleozóico

- Ciclo Gama (Siluriano Superior-Carbonífero Inferior)

Fase de estabilização (calmaria tectônica) da plataforma brasileira onde foi depositado a Formação Mauriti.

5.2.1.2 - Estágios Tectono Sedimentar Mesozóico

Os sedimentos mesozóicos estão separados em três estágios bem definidos: Pré-Rifte, Rifte ou Sintectônico e Pós-Rifte.

- Estágio Pré-Rifte (Jurássico Superior?)

Iniciou-se no Neo-Permiano com o processo de soergimento da crosta que perdurou até o final do Jurássico, ocasião em que um tectonismo incipiente provocado por forças tensionais promoveu o estiramento, o adelgaçamento e uma posterior subsidência da parte axial da área soerguida, dando origem a uma ampla e rasa depressão bacial, alongada no sentido N-S, com deposição dos sedimentos flúvio-eólico-lacustrinos, composta por folhelhos vermelhos, na base (Formação Brejo Santo) e arenitos grosseiros (Formação Missão Velha), no topo.

- Estágio Rifte (Mesozóicos)

O processo de rifteamento intracontinental culminou na ruptura do paleocontinente Gondwana separando as placas continentais Sul-Americana e Africana e formando entre elas o Oceano Atlântico Sul.

Essa fragmentação provocou a reativação das zonas de cisalhamento (de idade neoproterozóica) dos domínios estruturais da Província Borborema, que condicionou a estruturação da Bacia do Araripe em um sistema de riftes assimétricos, alongados segundo a direção NE-SW e compartimentados em “grabens”, “semi-grabens” e blocos escalonados que foram preenchidos por sedimentos terrígenos.

- Estágio Pós-Rifte

Cessada a fase de intensa atividade tectônica, ocorreu a deposição e compactação dos sedimentos. Inicialmente houve a deposição dos sedimentos flúvio-lacustre-carbonáticos (Aptiano-Albiano) que compõem a Formação Rio da Batateira e o Membro Crato (base da Formação Santana).

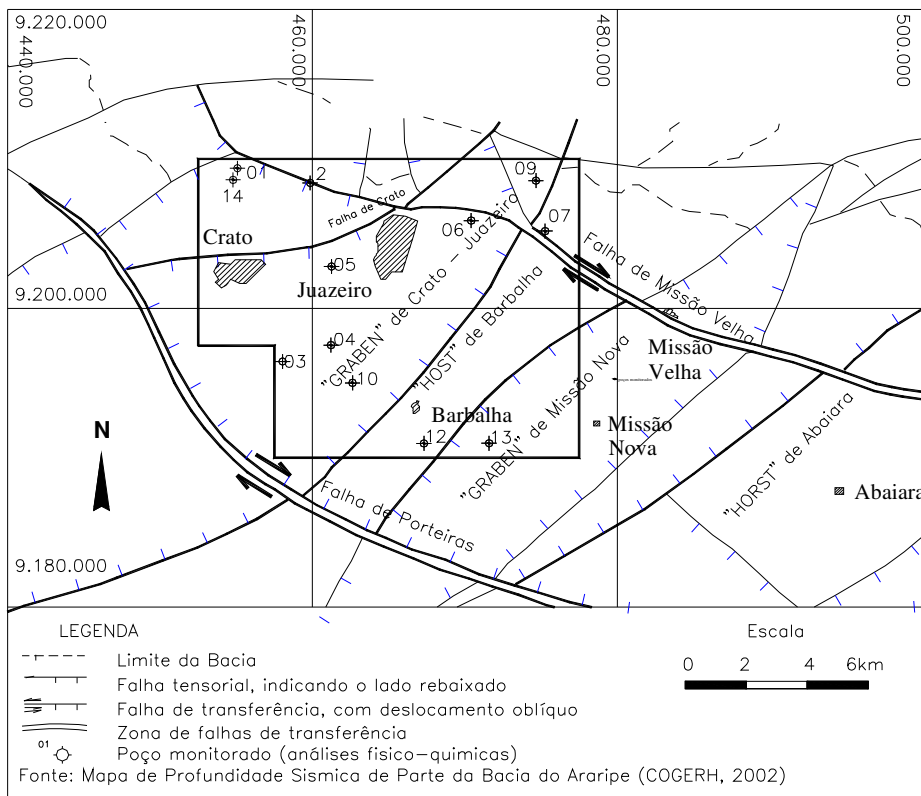
5.2.2 – Estrutural da Sub-Bacia do Cariri

Estruturalmente, a sub-bacia do Cariri é formada por quatro “Grabens” (Crato-Juazeiro, Missão Nova, Jenipapeiro e Serrote das Cacimbas-Palestina), colaterais, assimétricos, com orientações que variam de N40°-55°E e mergulhos de polaridades similares, para NW, separados por três “horsts” (Barbalha, Abaiara e Brejo Santo- Mauriti) que formam cristas intrabaciais, limitadas por falhas tensionais, planares.

As maiores profundidades (1.400 metros, cerca de 1.000 metros acima do nível do mar) foram estimadas pela gravimetria e estão no “Graben” Crato-Juazeiro (PONTE & PONTE, 1996).

O Graben do Crato-Juazeiro de orientação NE/SW é formado por falhas normais planares com mergulho para noroeste, obedecem à orientação principal da trama estrutural do embasamento é limitado ao norte pelo Lineamento da Paraíba, à leste pelo Horst de Barbalha, ao sul pela falha de Sítio dos Moreiras e a oeste pela falha do Crato (Alto de Dom Leme).

A área de estudo está localizada na faixa média do “Graben” Crato-Juazeiro, limitado ao norte pela falha de Missão Velha, à leste pelo Horst de Barbalha, ao sul pela falha de Porteiras e a oeste pela falha do Crato (Alto de Dom Leme) (Figura 5.5).

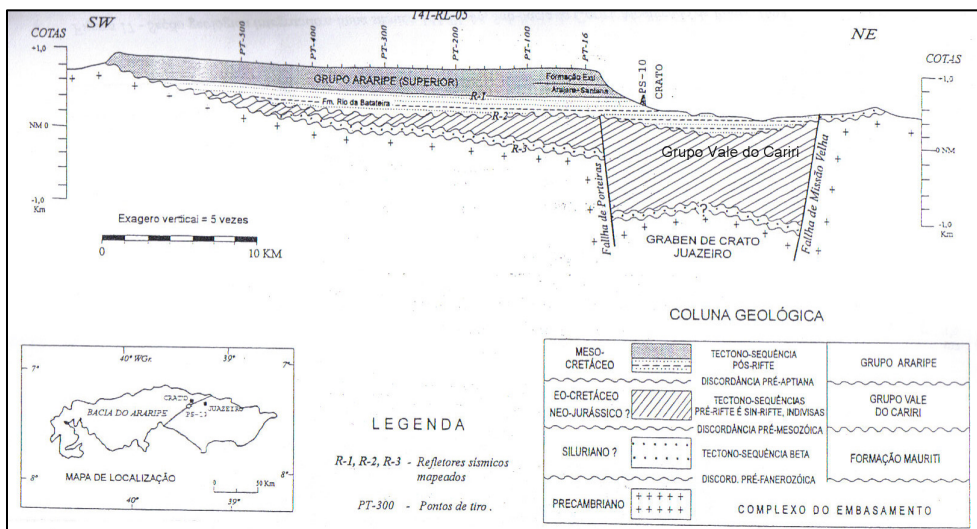


Fonte: modificada de COGERH 1996.

FIGURA 5.5 – “Graben” Crato-Juazeiro – Arcabouço estrutural da Sub-Bacia do Cariri - Bacia do Araripe/CE.(COGERH 1996).

A Sub-Bacia do Cariri é composta por três discordâncias (Figura 5.6):

- Discordância Pré-Aptiana: No Vale do Cariri, ela é marcada no contato basal da Formação Rio da Batateira, sobre Formações do Grupo do Vale do Cariri.
- Discordância Pré-Mesozóica: separa o Grupo Vale do Cariri da Formação Mauriti), e;
- Discordância Pré-Fanerozóica: Marca o contato entre a Formação Mauriti e o Embasamento cristalino).



Fonte: MONT' ALVERNE et al., 1996 apud PONTE, 1992

FIGURA 5.6 – Seção geológica da Sub-Bacia do Cariri

6 – A PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA LEGISLAÇÃO

No aspecto legal apresenta-se a seguir uma compilação de alguns pontos considerados importantes para o entendimento do processo de proteção da qualidade das águas subterrâneas.

Dois conceitos importantes para a proteção das águas são a degradação e impacto ambiental. A degradação é representada por todos os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais, segundo dispõe o art. 2º do Decreto nº 97.632.

Impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais, conforme o art. 1º da Resolução CONAMA nº 01 de 23/01/1986.

6.1 – Legislação Federal

O Código das Águas (Decreto Federal Nº 24.643 de 1934) reúne a legislação sobre a matéria do direito das águas e regulamenta o uso das águas públicas como um direito de todos.

A Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Política Nacional do Meio Ambiente), conceituou as águas interiores, as superficiais e as subterrâneas como um recurso ambiental.

É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, conforme o art. 23 da Constituição Federal.

A Constituição Federal (CF) de 1988 conforme art. 26, muda o domínio dos recursos hídricos de particular para o estado. Em seu artigo 200, inciso VI, dá competência ao Sistema Único de Saúde (SUS) a fiscalizar e inspecionar alimentos, compreendido o controle de seu teor nutricional, bem como bebidas e águas para consumo humano.

O art. 225 da CF garante que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

6.2 - Legislação Estadual

A constituição do Estado do Ceará de 1989 protege as águas superficiais com a proibição das indústrias, comércio, hospitais e residência de despejarem nos mangues, lagos e rios do estado, resíduos químicos e orgânicos não tratados, bem como o uso indiscriminado de agrotóxicos de qualquer espécie nas lavouras, salvo produtos liberados por órgãos competentes. Essa proibição limita-se as águas superficiais mas, no entanto, acaba protegendo as águas subterrâneas pois elas interagem.

A Lei nº 11.411 de 28 de dezembro de 1987 institui a Política Estadual do Meio Ambiente, estabelece padrões estaduais de qualidade ambiental e adota as necessárias medidas de preservação de recursos ambientais. Exerce o controle das fontes de poluição, de forma a garantir o cumprimento dos padrões de emissão estabelecido; as pessoas físicas ou jurídicas que causarem poluição das águas (...), ficando sujeitas às penalidades previstas no art 14 da Lei Federal Nº 6.938, de 30 de agosto de 1981.

A Lei nº 11.996 de 24 de julho de 1992 institui a Política Estadual de recursos hídricos e no seu art. 2º alerta para a realização de campanhas educativas para o uso correto da água visando a sua conservação. O seu art 3º determina a realização de cadastro de poços, inventário de mananciais e de usuários, com vistas à racionalização do uso da água subterrânea.

O art. 5º por sua vez, diz que constitui infração às normas de utilização de Recursos Hídricos subterrâneos a perfuração de poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização.

A Lei estadual nº 12.522, de 15 de dezembro de 1995, define como áreas especialmente protegidas as nascentes e olhos d'água e vegetação natural existente em seu entorno, necessária à manutenção da sua recarga, sendo determinado um perímetro denominado Perímetro de Conservação de Nascentes e Olhos d'água, no qual é proibida a derrubada de árvores e qualquer outra forma de desmatamento.

6.3 – Legislação Referente às Penalidades

O povo deve se defender de uma empresa que polui as águas e que viola o seu direito de obter uma água não poluída por meio de uma ação civil publica, proposta ao Ministério Público.

Esse procedimento é possível porque a Constituição Federal estabelece em seu art. 225 que "todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo" atribuiu ao povo a titularidade do direito à qualidade e preservação do meio ambiente. Esse direito, que atinge um número indeterminado de pessoas, e que é um direito de todos (e, ao mesmo tempo, de ninguém individualmente) chama-se direito "difuso". Por sua vez, a Lei de Ação Civil Pública (Lei n.º 7.347 de 24 de julho de 1985) criou instrumento de defesa desses direitos difusos, e atribuiu ao Ministério Público a legitimidade para propor ação de responsabilidade pelos danos morais e patrimoniais causados ao meio ambiente (CLEMENTINO, 2001).

O Decreto N° 88.351, de 1º de Junho de 1983, indica a imposição de multa, nas seguintes condições: contribuição que um corpo d'água fique em categoria de qualidade inferior a prevista na classificação oficial por emissão ou despejos de efluentes ou resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, bem como causar poluição de qualquer natureza que possa trazer danos a saúde ou ameaçar o bem-estar.

A Lei das Águas (Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997) instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e definiu as infrações e penalidades.

Como infração tem-se a perfuração de poços para extração de água subterrânea e/ou operação sem a devida autorização; impedir ou dificultar a ação fiscalizadora das autoridades competentes no exercício de suas funções conforme o art 49.

As penalidades variam de advertência por escrito, multa (variando de R\$ 100,00 até R\$10.000,00) ou o embargo definitivo da obra (com tamponamento do poço), segundo o seu art. 50.

A punição dos responsáveis pela poluição dos corpos de água, inclusive dos aquíferos, veio a ter mais sanções após a Lei de Crimes Ambientais (Lei n° 9.605, de 13 de fevereiro de 1998), que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências, em seu art. 54 indica que causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, (...), tem como pena a reclusão de um a quatro anos, e multa.

Vale ressaltar que toda empresa que execute construção de poço tubular profundo deverá ser cadastrada junto aos Conselhos Regionais de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA) e órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos e apresentar as informações técnicas

necessárias, semestralmente e sempre que solicitado conforme o art. 9º da Resolução CNRH n.º 15 de janeiro de 2001.

Por outro lado, os poços abandonados, temporária ou definitivamente, e as perfurações realizadas para outros fins deverão ser adequadamente tamponados por seus responsáveis para evitar a poluição dos aquíferos, ainda segundo o art. 11 da Resolução CNRH n.º 15.

6.4 – Legislação referente aos padrões de qualidade das águas

Em 2004 é sancionada a Portaria n.º 518 do Ministério da Saúde. Ela estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância, construindo a norma de qualidade da água para consumo humano, sendo indiscutível a importância, pois indica os padrões de potabilidade adequados para a saúde pública, define os valores máximos permissíveis (VMP) para as características bacteriológicas, organolépticas, físicas e químicas da água potável. Definiu em seu art. 4º água potável, como a água própria para consumo humano, cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radiativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde.

Fez as seguintes recomendações para as águas do sistema de distribuição entre outros os valores de pH de 6,0 a 9,5; cloreto 250 mg/l; dureza 500 mg/l; ferro 0,3 mg/l; nitrato 10 mg/L N-NO₃; nitrito 1,0 mg/L; amônia 1,5 mg/l e STD 1.000 mg/l.

O Decreto n.º 5.440, de 4 de maio de 2005, estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano.

A resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Água de classe especial é aquela de uso ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção e com os seguintes parâmetros: pH de 6,0 a 9,0, cloreto total 250 mg/l, ferro dissolvido 0,3 mg/l, sulfato total 250 mg/l, nitrato 10 mg/L N-NO₃ nitrito 1,0 mg/L, STD 500 mg/L.

7 – HIDROGEOLOGIA

As águas subterrâneas encontram-se armazenadas nos aquíferos, que são as formações geológicas capazes de armazenar e transmitir águas. Poços e outras obras são formas artificiais de captar água desse reservatório natural subterrâneo.

7.1 – Uso e Gestão das Águas Subterrâneas

Água subterrânea é a água que ocupa a zona saturada do subsolo ou, num sentido mais amplo, toda a água situada abaixo da superfície do solo, na litosfera (ABNT, 1993).

A gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, na área de uma unidade hidrográfica, deve manter o equilíbrio do regime hidrológico e a qualidade das águas. A boa gestão da água deve ser objeto de um plano que contemple os múltiplos usos desse recurso, desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas de utilização, tratamento e recuperação de nossos mananciais.

Vale mencionar que, de acordo com a *International Water Resources Association* (IWRA), entre 8 milhões e 11 milhões de pessoas morrem anualmente no mundo por causa de problemas relacionados ao controle da qualidade da água (doenças provenientes da contaminação) ou da quantidade (inundações e secas).

7.1.1- A importância das águas subterrâneas

As águas subterrâneas são de grande importância para humanidade pois apresentam a maior reserva de água doce do planeta (98%) e, no geral, de qualidade superior as superficiais. Algumas vantagens das águas subterrâneas podem ser enumeradas, a exemplo de:

- Não ocupam espaço em superfície (ao contrário de açudes);
- Extração perto do local de uso;
- Sofrem menor influência de variações climáticas;
- Maior volume de reservas;
- Melhor qualidade (física, química e biológica); e,
- Proteção natural contra agentes poluidores, entre outras.

7.1.2- Águas subterrâneas e sua distribuição no mundo

Existe um volume de água sobre o nosso planeta, da ordem de 1 bilhão e 370 milhões de km³. Entretanto, 97,2% de toda essa água não é aproveitada para o consumo humano, pois 95,1% é água salgada (oceanos) e 2,1% está presente como neve ou gelo, sendo a água doce (subterrânea e superficial) apenas 0,6% do total e o restante da água apresenta-se na forma de vapor atmosférico (SETTI, 1994) (Figura 7.1).

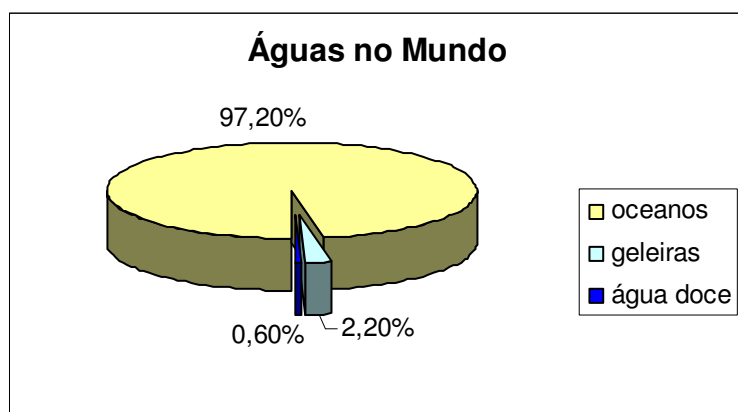


FIGURA 7.1 – Distribuição das águas no mundo

As águas doces, portanto, tem reservas estimadas em 8,2 milhões de km³, sendo que desse total somente 1,2% (98.400 km³) apresenta-se em rios e lagos, e os restantes 98,8% constituem águas subterrâneas. (SETTI, 1994).

7.1.2.1- Os recursos hídricos no mundo

Os continentes mais favorecidos em reservas de água doce são a Ásia, a América do Norte e a América do Sul. Os dois países com as maiores reservas de água doce são o Canadá e o Brasil.

Em países como a Arábia Saudita, a Dinamarca e Malta, as águas subterrâneas são o único recurso hídrico disponível. Em outros, como a Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Holanda, Marrocos, Rússia e Suíça, mais de 70% da demanda são atendidos pelo manancial subterrâneo (BANCO MUNDIAL, 1994).

Este grande predomínio das águas subterrâneas sobre as superficiais para abastecimento humano se deve a diversas causas, destacando-se o menor custo, pois não necessita de

tratamento avançado devido a sua melhor qualidade pois está mais protegida da contaminação.

Os conflitos entre países usuários de uma mesma bacia, que envolvem cerca de 40% da população mundial, costumam ser resolvidos através de tratados internacionais. Existem mais de 200 bacias hidrográficas comuns a dois ou mais países, correspondendo a cerca de 60% da superfície mundial (BANCO MUNDIAL, 1994).

A tabela abaixo mostra a disponibilidade anual de água pela distribuição em m³ por habitante no Planeta Terra.

Tabela 7.1 – Disponibilidade de água nas regiões do planeta

Regiões	Disponibilidade anual	
	Trilhões m ³	m ³ /hab
PLANETA TERRA	42,0	6.400
África	4,2	5.150
América do Norte	5,4	17.450
América Central	1,1	8.050
Ásia	13,2	3.650
Europa	6,3	8.550
Oceania	1,7	54.800
BRASIL	5,76	30.400

Fonte : ANA, 2002

7.1.2.2 - Os recursos hídricos no Brasil

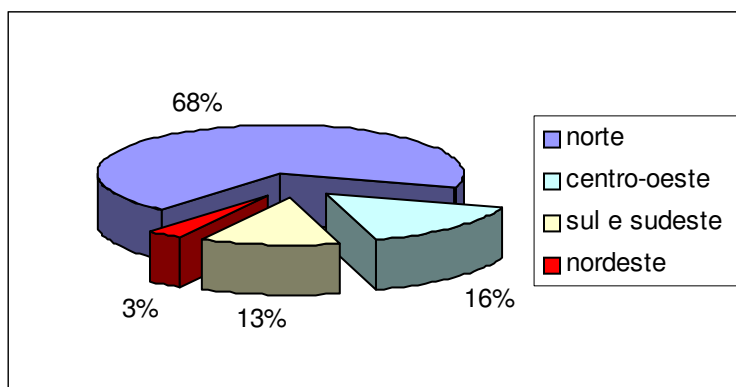
O Brasil é um país privilegiado porque possui 12% das reservas mundiais de água doce e 53% das reservas da América do Sul, apresentando uma disponibilidade hídrica de 40.732 m³/hab/ano, sendo que aproximadamente 80% das águas brasileiras estão na Bacia Amazônica (ANA, 2002).

O Brasil detém, ainda, dois terços de um manancial subterrâneo que passa pelos países do Mercosul, o Aquífero Guarani, com extensão superior à Inglaterra, França e Espanha juntas.

Mais da metade da água de abastecimento público no Brasil provém das reservas subterrâneas (ANA, 2002).

Apesar da grande quantidade de água existente no Brasil, a distribuição dos recursos hídricos é totalmente desigual. Segundo dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, se compararmos, em termos percentuais, a quantidade de água com a superfície das diversas regiões do país e a sua população, teremos os seguintes números:

A distribuição regional dos recursos hídricos é de 68,5% para a região Norte, 15,7% para a Centro-Oeste, 12,5% para as regiões Sul e Sudeste, que apresentam o maior consumo de água, e 3% para a Nordeste. Essa região, além da carência de recursos hídricos, tem sua situação agravada por um regime pluviométrico irregular e pela baixa permeabilidade do terreno cristalino.



Fonte: FNUCUT, 2006

FIGURA 7.2– Distribuição regional dos recursos hídricos no Brasil

A escassez de água no Brasil está associada às baixas disponibilidades específicas no Nordeste e a altas densidades demográficas nas regiões Sudeste e Sul. Os conflitos estão situados em áreas de grande densidade demográfica e intensa concentração industrial - regiões Sudeste e Sul, gerando a poluição dos recursos hídricos, aumentando significativamente os custos para tratamento da água. A escassez de recursos hídricos também aumenta os custos de captação de água, pois os mananciais estão cada vez mais distantes dos centros urbanos, ou é necessária a exploração de fontes alternativas.

A maior parte das águas subterrâneas utilizadas no Brasil é para o abastecimento de indústrias. Somente nas últimas décadas vem-se verificando a tendência para o abastecimento público com águas subterrâneas. O Estado de São Paulo é o maior usuário das águas subterrâneas no Brasil.

7.1.2.2 - Os recursos hídricos no Cariri

A região do Cariri apresenta os melhores e maiores aquíferos do estado do Ceará, a área é constituída em quase toda sua totalidade (95%) por rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Araripe. Litologicamente caracteriza-se por uma seqüência alternada de siltitos, arenitos finos a grosseiros, calcários, argilitos e folhelhos, e uma pequena área de cristalino (2%) ao

norte de Juazeiro do Norte. Possuindo as maiores vazões e profundidades de poços, podendo chegar a 300 m³/h e a 300 metros, respectivamente. O potencial aquífero é representado pelas formações aflorantes Rio da Batateira e Mauriti e não aflorantes Missão Velha e Abaiara. As demais formações, Brejo Santo, Santana, Arajara e Exu apresentam pequena vocação hidrogeológica, bem como as aluviões e coberturas (VERISSIMO, 1999).

7.2 –Hidrogeologia do Cariri

A Bacia do Araripe foi formada durante o rifteamento que provocou a ruptura do antigo continente Gondwana, provocando o estiramento crustal, e deposição dos sedimentos.

A Bacia do Araripe está localizada no extremo sul do Ceará, inserida na Sub-Bacia Hidrográfica do rio Salgado, estando parcialmente nos estados do Piauí e Pernambuco e possuindo uma área total de aproximadamente 11.000 km². Sua altitude oscila até cerca de 1.000 metros e recebe uma precipitação pluviométrica entre 700 e 1.000 mm/ano.

Nesta bacia estão os melhores aquíferos do Ceará representados, particularmente, pelas formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha (Sistema Aquífero Médio) e Mauriti (Sistema Aquífero Inferior), das quais são exploradas centenas de milhares de metros cúbicos de águas subterrâneas para abastecimentos diversos.

Na Bacia do Araripe estão os poços tubulares mais profundos do Ceará, atingindo 750 metros e com as maiores vazões alcançando 300 m³/h. O Sistema Aquífero Médio é o mais explorado.

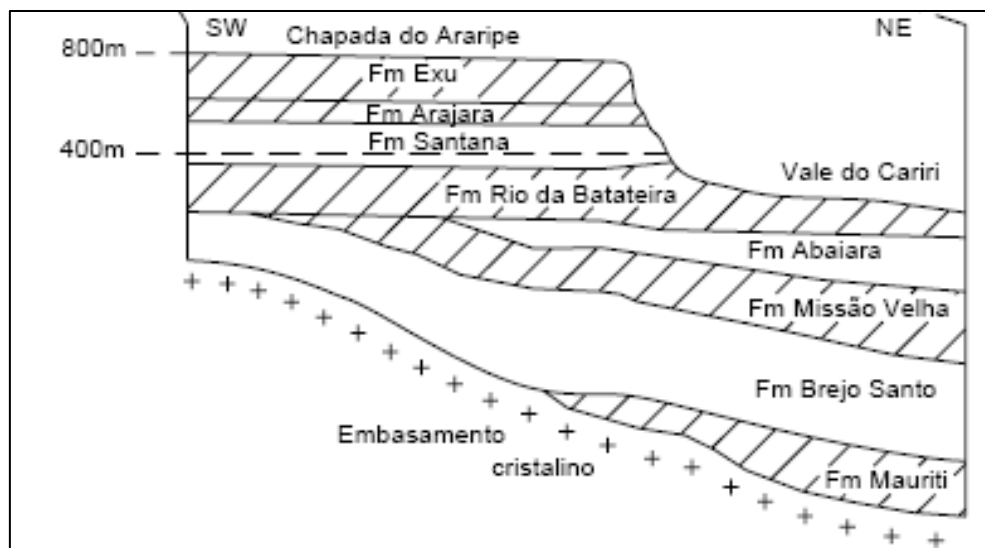
Em termos qualitativos, estas águas subterrâneas são de excelente qualidade, não possuindo nenhuma restrição ao uso generalizado em termos gerais.

Segundo Santiago et al. (1990), as idades das águas subterrâneas determinadas através da de Carbono 14, mostram idades variando entre 152 a 9.195 anos nas cidades de Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha.

7.2.1 – Sistemas Aquíferos

A compartimentação hidrogeológica, bem como os parâmetros hidrodinâmicos aqui adotados, são as de Mont'Alverne et al. (1996) que consideraram as características hidrogeológicas, a imprecisão na descrição de grande parte dos perfis litológicos dos poços e a pequena profundidade alcançada pelos mesmos (78 a 250 m), propondo a seguinte divisão hidrogeológica (Figura 7.3):

- Sistema Aquífero Superior (formações Exu e Arajara), com aproximadamente 320 m de espessura;
- Aquicluda Santana, com mais ou menos 180 m de espessura;
- Sistema Aquífero Médio (formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha), possuindo em torno de 500 m de espessura;
- Aquicluda Brejo Santo, com aproximadamente 400 m de espessura, e;
- Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Brejo Santo), possuindo de 60 a 110 m de espessura.



Fonte: Mont et al, 1996

FIGURA 7.3 - Perfil hidrogeológico da Bacia Sedimentar do Araripe

7.3 - Hidrogeologia Local

O Sistema Hidrogeológico Cristalino não foi avaliado neste estudo por não fazer parte do contexto da Bacia Sedimentar do Araripe, ocorrendo restrito ao norte da área.

O Sistema Aquífero Inferior (SAI) aflora em pequenas faixas irregulares sobre o embasamento cristalino, sendo confinado em sua maior parte pelos pelitos da Formação Brejo Santo, e é representado pela Formação Mauriti e pelo topo da Formação Brejo Santo, possuindo espessura de 60 a 110 metros (MONT'ALVERNE et al., 1996).

O Aquicludo Brejo Santo (ABJ) ocorre subjacente ao Aquífero Médio, aflorando somente em pequenas faixas descontínuas ao norte de Crato e Juazeiro do Norte. Funciona como camada selante do Sistema Aquífero Inferior e, devido a falta de dados locais, admite-se espessuras de 400 metros (MONT'ALVERNE op Cit.)

O Sistema Aquífero Médio (SAM) ocorre em superfície pelo Vale do Cariri e é representado pelas formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha, possuindo em torno de 130 metros de espessura de acordo com perfis estratigráficos observados.

Pode-se dizer que nas áreas de afloramento, a recarga dos aquíferos é direta. Por isso, nessas áreas, a vulnerabilidade ao risco de poluição é maior.

7.3.1 - Sistema Aquífero Médio (SAM)

O Sistema Aquífero Médio (Figura 7.4) possui 330.930 km². Está limitado ao sul e ao oeste pela Formação Santana no sopé da Chapada do Araripe, ao norte pelo rio Batateiras, e a leste ultrapassa os limites da área de estudo.

A sedimentação deste sistema aquífero no Vale do Cariri ocorreu em três estágios tectono-sedimentar mesozóico distintos. O primeiro no estágio pré-rifte, onde foram depositados os sedimentos flúvio-eólicos, composto por arenitos grosseiros da Formação Missão Velha; o segundo no estágio rifte, que culminou com a fragmentação do Gondwana, e deposição em ambiente lacustre raso e fluvial da Formação Abaiara e, finalmente, no estágio pós-rifte que ocorreu após a fase de intensa atividade tectônica, ocorrendo a sedimentação e compactação dos sedimentos flúvio-lacustre-carbonáticos (Aptiano-Albiano) que compõem a Formação Rio da Batateira.

As formações do SAM representam aquíferos livres e localmente confinados (Tabela 7.5), tendo potenciais hidrogeológicos elevados, sendo considerado o mais importante sistema

aquífero da região do Cariri em termos de potencial para exploração, responsável pelo suprimento de diversos núcleos urbanos.

É constituído, da base para o topo, pelos arenitos das formações Missão Velha e Abaiara e pela formação aflorante Rio da Batateira; os sedimentos aluviais e as coberturas, apesar de aflorarem neste sistema, possuem pequena vocação hidrogeológica.

Tabela 7.5 – Características gerais do Sistema Aquífero Médio

Formação	Período	Tectono Seqüência	Litótipos	Ambiente de sedimentação
Rio da Batateira	Cretácea	Pos-rifte	Arenitos finos a médios, argilosos, amarelados e cinzentos, siltitos e folhelhos cinzentos, bem estratificados.	Fluvial e lacustre que preencheram as rasas depressões formadas sobre os riftes.
Abaiara	Neo-jurrásica a eo-cretácica	Sin-rifte	Arenitos micáceos, argilosos, intercalados com siltitos e folhelhos castanhos, cinzentos e esverdeados, bem estratificados.	Fluvial-lacustre.
Missão Velha	Jurássico inferior	Pré-rifte	Arenitos grosseiros, mal selecionados, quartzosos ligeiramente feldspáticos e/ou cauliniticos de coloração esbranquiçada e amarelada, friáveis e contendo madeira fóssil.	Fluvial torrencial.

Fonte: MONTE ALVERNE et al., 1996

Características do Sistema Aquífero Médio:

- Área 330.930 km²
- Espessura média (livre) de 295 m;
- Coeficiente de armazenamento (confinado) de 2×10^{-4} ;
- Tramissividade de $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Condutividade hidráulica de $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Porosidade efetiva (livre) de 0,1 (10%).

A recarga (alimentação) deste sistema ocorre basicamente pela infiltração direta pelas águas das chuvas. Segundo Santiago et al. (1996), a alimentação também pode ser efetuada por infiltrações em falhas à partir de percolação vertical do Sistema Superior através dos sedimentos da Formação Santana.

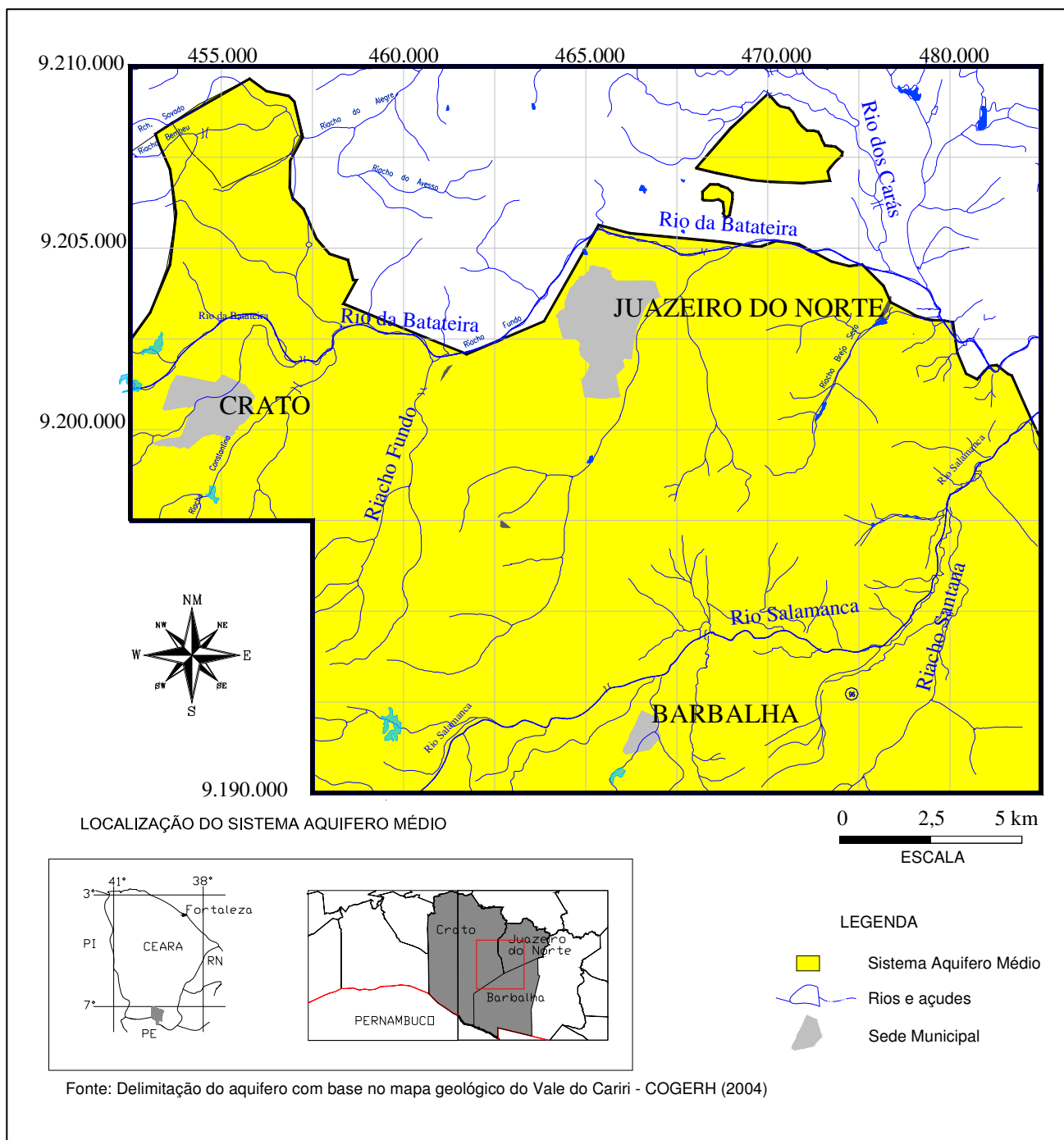


FIGURA 7.4 – Sistema Aquífero Médio (SAM) em CRAJUBAR, Ceará

7.3.2 - Aquiclude Brejo Santo (ABJ)

A Formação Brejo Santo funciona como um aquiclude e segundo Beurlen (1962 apud MONT'ALVERNE et al., 1996) possui idade Jurássica aflora ao norte das cidades de Crato e Juazeiro do Norte; entretanto, sua maior parte encontra-se confinada pelo Sistema Aquífero Médio.

7.3.3 - Sistema Aquífero Inferior (SAI)

Este sistema é representado pela Formação Mauriti e pela base da Formação Brejo Santo, encontrando-se em sua maior parte recoberto pelos sedimentos pelíticos do Aquiclude Brejo Santo. É um arenito de idade Silúrio-Devoniano, com uma espessura que varia de 10 a 50 metros (BEURLEN,1963; VEIGA,1966).

Devido o seu alto grau de litificação, apresenta uma porosidade secundária, porém ocorre também friável com porosidade primária.

Ocorre aflorando em duas manchas ao norte dos municípios de Crato e Juazeiro do Norte (Figura 7.5), sobreposto ou bordejando o embasamento cristalino, totalizando 78.180 km². É recoberto em parte pelas aluviões do rio Batateiras, ocorrendo confinado pelo restante da área de estudo pelos pelitos da Aquiclude Brejo Santo, com 359.240 km²; o seu uso é restrito, pois sua maior parte encontra-se confinada em uma profundidade de aproximadamente de 450 metros.

As características do Sistema Aquífero Inferior estão abaixo relacionadas:

- Área confinada 359.240 km² ;
- Área livre 78.180 km² ;
- Espessura média (confinado): 66 m;
- Espessura média (livre): 100 m;
- Coeficiente de armazenamento (confinado): 10⁻⁵;
- Porosidade efetiva (livre): 0,02 (2%).

Geralmente são silicificados, principalmente em áreas próximas às falhas e no topo da unidade. O grau de litificação é um importante limitador da capacidade de acumulação de água subterrânea nesta unidade, sendo esta a razão pela qual é encontrada sobretudo nas fraturas, mostrando um comportamento semelhante ao do embasamento pré-cambriano, tratando-se, portanto, de um aquífero fissural. Quando friáveis, mostra-se com boa permo-porosidade.

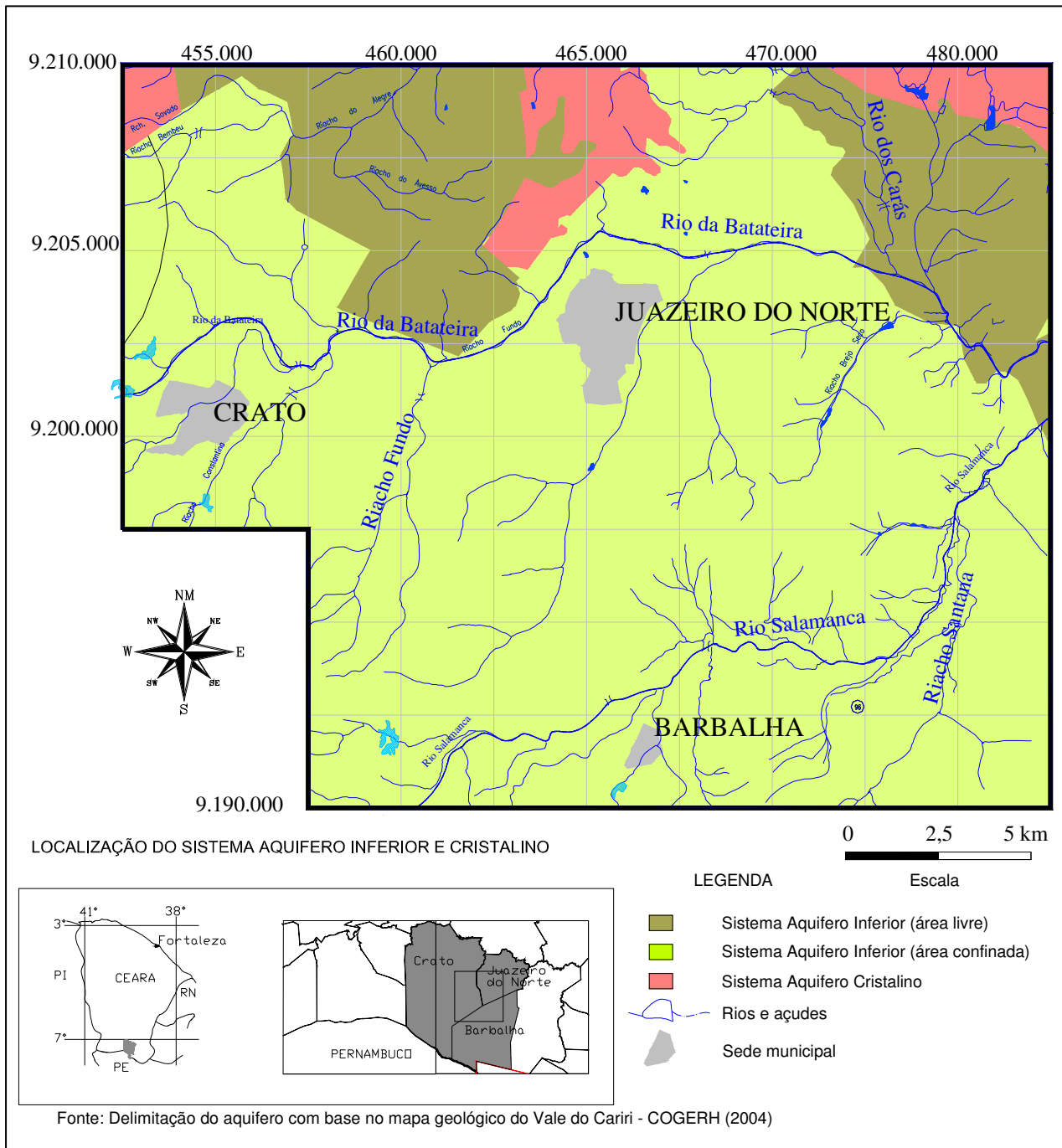


FIGURA 7.5 – Sistema Aquífero Inferior (SAI) em CRAJUBAR, Ceará

7.4 - Situação da Exploração das Águas Subterrâneas

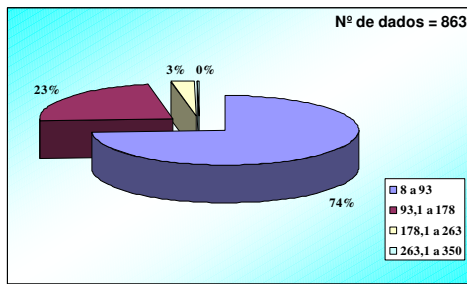
No levantamento realizado pela COGERH (2003) durante projeto “Implantação dos Sistemas de Monitoramento e Gestão de uma Área Piloto do Aquífero Missão Velha, na Bacia Sedimentar do Cariri” foram cadastrados na área de estudo, 1.144 poços.

Quanto ao diagnóstico da situação dos poços, foi possível identificar no Cadastro Geral de Poços a seguinte situação: 796 em operação, 107 desativados, 64 abandonados e 23 não instalados. Pode-se constatar que a predominância é para os poços em operação (81%), com um número pequeno de poços desativados (11%), abandonados (6%) e não instalados (2%).

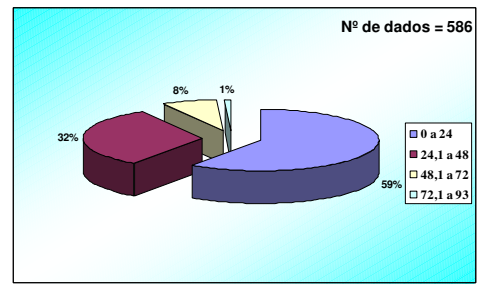
Como distribuição temporal dos poços, tem-se que o primeiro poço construído da área data de 1921, na localidade de Santa Rosa município de Crato (poço nº 415). Apenas 38% (708) dos poços possuem informação de data de construção, sendo que 62% (436) deles vieram a ser construídos a partir da década de 80, tendo seu ápice nos anos de 1986 a 1996, devido a períodos de escassez.

A maioria dos poços foram construídos a partir de 1982, sendo que 72% do total dos poços são de particulares e 6% do total esta abandonado e 11% desativados.

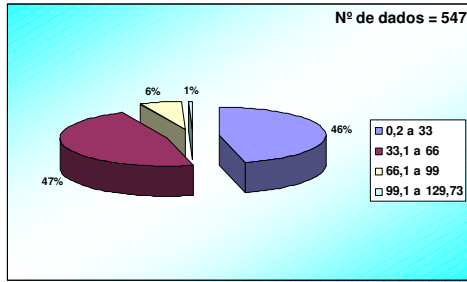
Na Figura 7.6 são mostradas as características de um banco de dados dos poços tubulares da área estudada, através de gráficos. As profundidades variam de 8 a 280 metros com média de 80,84. O nível estático, situa-se em média em torno de 24,78 metros, as vazões podem chegar até 180 m³, e mantem uma média de 26,51 m³.



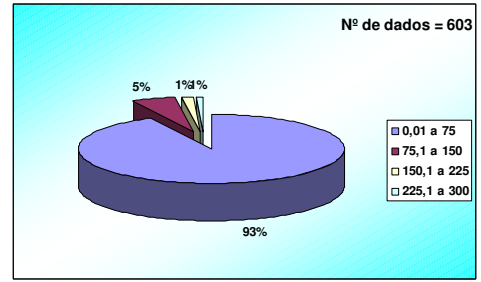
A – Profundidade (m)



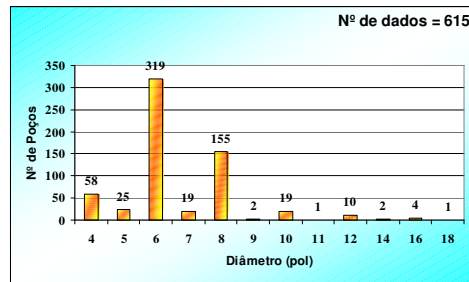
B – Nível Estático (m)



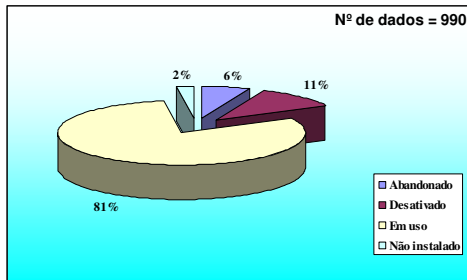
C – Nível Dinâmico (m)



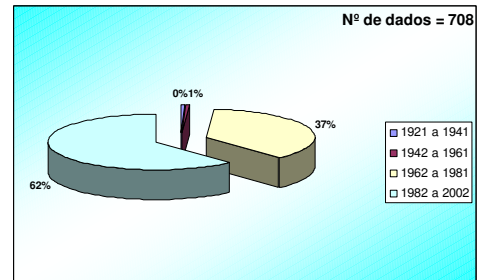
D- Vazão (m³/h)



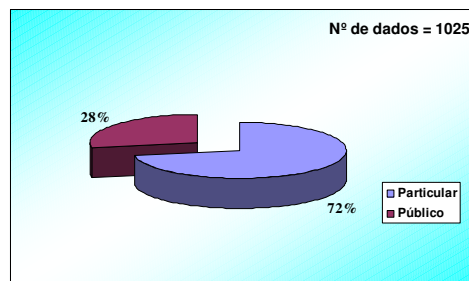
E – Diâmetro (pol)



F– Uso Atual



G – Variação Temporal



H – Tipo de proprietário

FIGURA 7.6 – Parâmetros hidrogeológicos – dados construtivos dos poços em CRAJUBAR/CE.

8 – ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS

As autoridades (Prefeituras) e a população em geral, quando vão construir uma obra de captação de água (poço tubular) tem a maior preocupação em obter água doce (STD menor que 1.000 mg/L) e, em segundo lugar, obter o maior volume de vazão; entretanto, é esquecida a qualidade bacteriológica.

As doenças que a água tem transmitido sob forma epidêmica são, em geral, exclusivamente de fezes humanas contaminadas por bactérias e vírus: febre tifóide, febres paratifóides, as disenterias bacilares, a hepatite A e, sob reserva, a poliomielite.

As bactérias são seres vivos monocelulares, cuja posição sistemática esta entre as plantas e os animais. Uma característica das bactérias é a ausência de um núcleo celular definido. As funções do núcleo são desempenhadas por uma substância difusa, que contém as informações genéticas.

O vírus, ao contrário, é um protófito extremamente pequeno que prolifera somente dentro de células vivas. A detecção do vírus faz parte de uma análise hidrobiológica completa, porém a realização é muitas vezes difícil porque as técnicas analíticas são mais especializadas.

Não é prático se fazer a pesquisa de bacilos específicos em exames bacteriológicos de rotina, como bacilo tifico, ou da tuberculose, visto que a pesquisa destes germes se tornará demorada e cara e somente em casos de epidemias deve ser feito.

A determinação da concentração dos Coliformes Totais e Temotolerantes (Fecais) assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

A contaminação do sistema público de abastecimento de água, bem como das águas de poços particulares, por esgotos, geralmente é detectada pela presença de “coliformes”, que representa um grupo de bactérias pertencente à família *Enterobacteriaceae*, que representa a maior e mais heterogênea coleção de bacilos gran-negativos de importância clínica.

8.1 - Resultados das análises bacteriológicas na área estudada

Não é permitida a presença de Coliformes termotolerantes (coliformes fecais) em 100 ml da água; tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de Escherichia Coli/ou coliformes termotolerantes, devendo ser investigada a origem da ocorrência e tomadas providências imediatas de caráter corretivo, preventivo e realizada nova análise (Portaria 518/04).

Foram analisadas 8 amostras de águas em julho de 2006 em CRAJUBAR e destas apenas 3 (poços Cirolândia, Baixio e Pau Seco) apresentaram-se como potáveis, e 5 como não potáveis.

Foi encontrado um elevado percentual (62%) de amostras com presença de coliformes, indicando água imprópria para consumo humano. A presença de coliformes fecais indica a possibilidade de contaminação por fezes e, conseqüentemente, de microorganismos patogênicos existentes nas mesmas, que por serem mais raros e mais frágeis às condições ambientais, tornam-se difíceis de serem evidenciados.

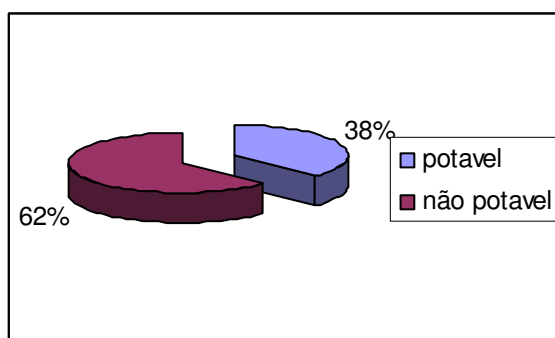


FIGURA 8.1 – Potabilidade das águas subterrâneas em CRAJUBAR/ Ceará

Na área de estudo, as análises bacteriológicas revelaram que a grande maioria dos poços (62%) possuem águas contaminadas por coliformes Totais e Termotolerantes (Tabela 9.1), apresentando, respectivamente, valores de 16,0 a 2.419,6 e de 5,2 a máximo de 197,7.

Somente o poço nº 12 (Cirolândia) localizado na cidade de Barbalha apresenta ausência de coliformes, o qual é operado pela CAGEGE na distribuição de água para a população (ver Figura 8.6 C).

Portanto, o consumo direto destas águas, sem um prévio tratamento, pode ocasionar diversas doenças de veiculação hídrica, tais como: febre tifóide, febre paratífóide, disenteria bacilar e cólera, hepatite, giardíase e diarreias agudas.

Tabela 8.1– Resultado das análises bacteriológicas das águas (jul/06) de CRAJUBAR / Ceará

Nº do poço	Município	C. Totais (NMP)	C. Termotolerantes (NMP)
01 – São Francisco	Crato	> 2.419,6	5,2
02 -Serraria		1.299,7	185,8
03 - Baixio		31,3	<1,0
05 -Pau Seco	Juazeiro do Norte	16,0	<1,0
07- Cachoeira		1.299,7	110,6
09 -Moleque		> 2.419,6	194,7
12 - Cirolândia	Barbalha	<1,0	<1,0
13 -Cabeludo		49,6	2,0

Obs: NMP – numero mais provável

As águas subterrâneas do poço 01 (São Francisco - Crato) e poço 09 (Moleque – Juazeiro do Norte) apresentam um grande NMP, ambos com 2.419,6, isto pode ser explicado devido o seu pequeno nível estático 8,10 m e 7,0 m respectivamente e porque ambos estão localizados no Sistema Aquífero Inferior, composto por arenitos silicificados, não tendo uma boa proteção natural das águas (filtração) como ocorre nos arenitos do Sistema Aquífero Médios.

8.1.1- Coliformes Totais

A Portaria 518/04 MS no seu art. 4º VI dá a seguinte definição para Coliformes Totais (bactérias do grupo coliforme): bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros Escherichia, Citrobacter, Klebsiella e Enterobacter, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

Inclui bactérias que ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e também em cereais, em solos e em águas e efluentes contendo matéria orgânica não necessariamente contaminadas por fezes e por isso, não são indicadores adequados da qualidade sanitária de águas in natura.

A simples presença de coliformes totais no sistema de distribuição serve como alerta para o desencadeamento de medidas corretivas e indica falhas ou possível contaminação após o tratamento. Os valores de coliformes totais foram mais elevados nas águas dos poços das cidades de Juazeiro do Norte e Crato.

No município de Crato, os Coliformes Totais (NMP/ 100 mL) apresentaram concentração superiores a 2.419,6 no poço 02 (Serraria) e mínima de 31,3 no poço 03 (Baixio).

No município de Juazeiro do Norte a variável Coliformes Totais (NMP/100 mL) apresentou concentração máxima de > 2.419,6 no poço 09 (Moleque) e mínima de 16,0 no poço 05 (Pau Seco). Observa-se que a água do poço 09 apresentou as maiores concentrações devido a sua localização, visto que o mesmo foi locado em cota topográfica baixa, região onde se concentra o fluxo das águas subterrâneas.

No município de Barbalha, os Coliformes Totais (NMP/100 mL) apresentaram concentração máxima de 49,6 (poço 13 - Cabeludo) e mínima de 1,0 (poço 12 - Cirolândia). Isso reflete as excelentes qualidades das águas da região.

8.1.2 - Coliformes Termotolerantes (Coliformes fecais)

Segundo a Portaria 518/04 MS (art. 4º VII), coliformes termotolerantes são um subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos;

O gênero *Escherichia* consiste em cinco espécies e a *Escherichia coli* é a mais comum e clinicamente, por se tratar de uma bactéria termotolerante, de origem exclusivamente fecal, restrita ao trato intestinal de animais de sangue quente, é utilizada como um indicador de contaminação da água por fezes de animais.

O uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme "total", porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.

Apesar da *Escherichia coli* não ser potencialmente patogênica, é um dos indicadores ambientais mais específicos da contaminação fecal, e a sua presença nas fezes não é um indicador de saúde, visto que a mesma faz parte da microbiota intestinal normal. Para a

utilização desta bactéria como indicador de saúde deve ser identificadas cepas patogênicas de *Escherichia coli* como *Escherichia coli* entero-hemorrágica, *Escherichia coli* enterotoxigênica entre outras.

No município do Crato, os Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) apresentaram concentração com máxima de 185,8 (poço 02- Serraria) e mínima de 1,0 (poço 03 -Baixio).

No município de Juazeiro do Norte a variável Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) apresentou concentração máxima de 194,7 no poço 09 (Moleque) e mínima de 16,0 no poço 05 (Pau Seco). Observa-se que a água do poço 09 apresentou as maiores concentrações, como já mencionado antes por estarem localizados cota topográfica baixa, região onde se concentra o fluxo das águas subterrâneas.

No município de Barbalha, os Coliformes Termotolerantes (NMP / 100 mL) apresentaram concentração máxima de 2,0 (poço 13 Cabeludo) e mínima de < 1,0 (poço 12 - Cirolândia).

9 - HIDROQUÍMICA

A composição físico-química, ou seja, a mineralização das águas subterrâneas, dependem, inicialmente, da composição das águas de recarga (pluviometria, águas superficiais) e, em seguida, de suas evoluções químicas, influenciadas diretamente pela interação água-rocha representada pela percolação da água através dos poros e/ou fraturas das camadas geológicas.

O teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas vai aumentando à medida que prossegue o seu movimento. As variações naturais de qualidade das águas subterrâneas normalmente são pequenas entretanto, características extremas ou diferentes daquelas esperadas indicam a presença de situações anômalas a exemplo de corpos de minério, metamorfismo de rochas e, principalmente, ação antrópica.

Dentro deste contexto, há necessidade de se saber quais são os parâmetros químicos de uma determinada formação aquífera que podem ser considerados naturais ou provenientes de fontes antrópicas.

A qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química e bacteriológica.

9.1 - Caracterização hidroquímica

Para realizar a caracterização hidroquímica foi realizado o monitoramento em quatro campanhas em 11 poços tubulares (Figura 8.2), totalizando 42 amostras d'água; (Quadro 8.1) vale ressaltar que devido a problemas logísticos, tais como caminhos alagados provocados por chuvas intensas, ausência da pessoa responsável pelo poço, entre outras eventualidades, foi deixado de coletar, na primeira campanha (outubro /05), dois poços: o São Francisco 2 (Crato) e o Santo Antônio (Juazeiro do Norte), e na quarta campanha (outubro /06), o poço Pau Seco (Juazeiro do Norte).

Tabela 9.1 – Períodos das campanhas realizadas e números de amostras coletadas em CRAJUBAR / Ceará

Campanha	Mês / ano	Época	Nº de amostras
1º	outubro / 2005	estiagem	10
2º	dezembro / 2005	estiagem	12
3º	abril / 2006	chuva	12
4º	julho /06	estiagem	12
total			46

A caracterização bacteriológica foi realizada nos poços: 1, 2, 3, 5, 7, 9, 12 e 13 (Figura 9.1) durante apenas uma campanha (julho/06). Todos os poços amostrados estão distribuídos em áreas rurais de modo a caracterizar os sistemas aquíferos sem a influência do meio antrópico.

As análises das águas foram realizadas pelos Laboratórios de Hidroquímica do Grupo de Física Isotópica do Departamento de Física e no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Geologia, ambos da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Foram analisadas *in situ* as características de pH, condutividade elétrica e temperatura, com o kit de fabricação alemã modelo “MULTI 340i/SET” marca WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten" (Figura 8.1 - C) e em laboratório analisados, os cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{++} e Mg^{++}) e dos ânions (Cl^- , SO_4^- e HCO_3^-), assim como alcalinidade total, dureza total, condutividade elétrica, pH, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD), foram ainda coleta de água (Figura 8.1 - A) e medido o nível estático (Figura 9.1 - B).



A = Realização de coleta d'água em Crato/Ceará



B = Medição do nível estático em poço tubular - Juazeiro do Norte/CE



C = Kit de fabricação alemã utilizado em campo para medida de pH, temperatura e condutividade elétrica (modelo MULTI 340i/SET marca WTW Wissenschaftlich-Technische Werkstätten)

FIGURA 9.1 – Atividades de campo desenvolvidas em CRAJUBAR /Ceará (abril de 2006)

As amostras foram coletadas de dois diferentes tipos de armazenamento (sistemas aquíferos), identificado pelos perfis litológicos dos poços como sendo o Sistema Aquífero Médio (poços nº 3,4,5,6, 10, 12 e 13) e o Sistema Aquífero Inferior (poços nº 1, 2, 7 e 9).

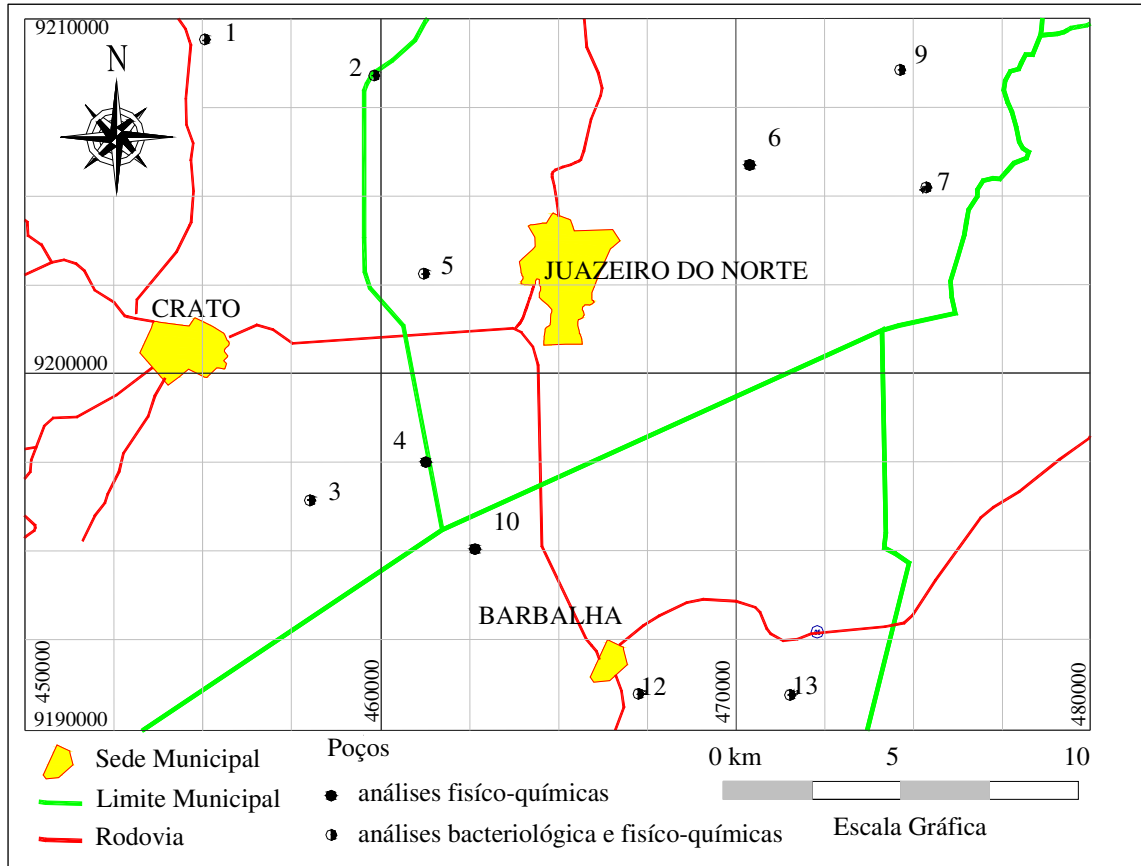


FIGURA 9.2 - Localização dos poços tubulares para amostragem de água para análises físico-químicas e bacteriológica em CRAJUBAR / Ceará

Na observação dos perfis litológicos, verificou-se que o poço nº 02 – Serraria (Crato) apresenta o topo do filtro com 9,0 metros acima do nível estático (NE), isso ocorreu por um erro na colocação do filtro ou ainda devido a um rebaixamento do NE. (Tabela 9.2).

Tabela 9.2 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água com perfis construtivos e litológico em CRAJUBAR/ Ceará

Nº	Local	M	Observação	Filtro	Topo dos filtros (m)	NE (m)	Sistema Aquífero
01a	São Fco II	Crato	-	-		8,10	Inferior
02a	Serraria		-	Arenito e folhelho	28,00	37,00	Inferior
03a	Baixio do Muquem		Não instalado	-		56,22	Médio
04	Santa Rosa		-	Arenito fino a médio	43,50	48,70	Médio
05a	Pau Seco	Juazeiro do Norte	Não instalado	Arenito fino	29,00	10,80	Médio
06	Sto. Antônio		Contaminado	-		10,44	Médio
07	Cachoeira		-	Arenito médio	56,00	22,50	Inferior
09a	Moleque		-	Arenito silicificado	42,00	7,00	Inferior
10	Mata DI	Barbalha	-	-		38,62	Médio
12a	Cirolândia CG-pt07		-	Arenito médio e fino	34,00	-	Médio
13a	Santana / Cabeludo		-	Arenito médio	45,15	12,30	Médio

Nota: Sinais convencionais utilizados

a – águas com análise físico-química e bacteriológica; M – municípios

A seguir os perfis litológicos/constitutivos dos poços onde foram realizadas as campanhas que são os poços 2, 4, 5, 7, 9, 12 e 13 (Figuras 9.3 e 9.4).

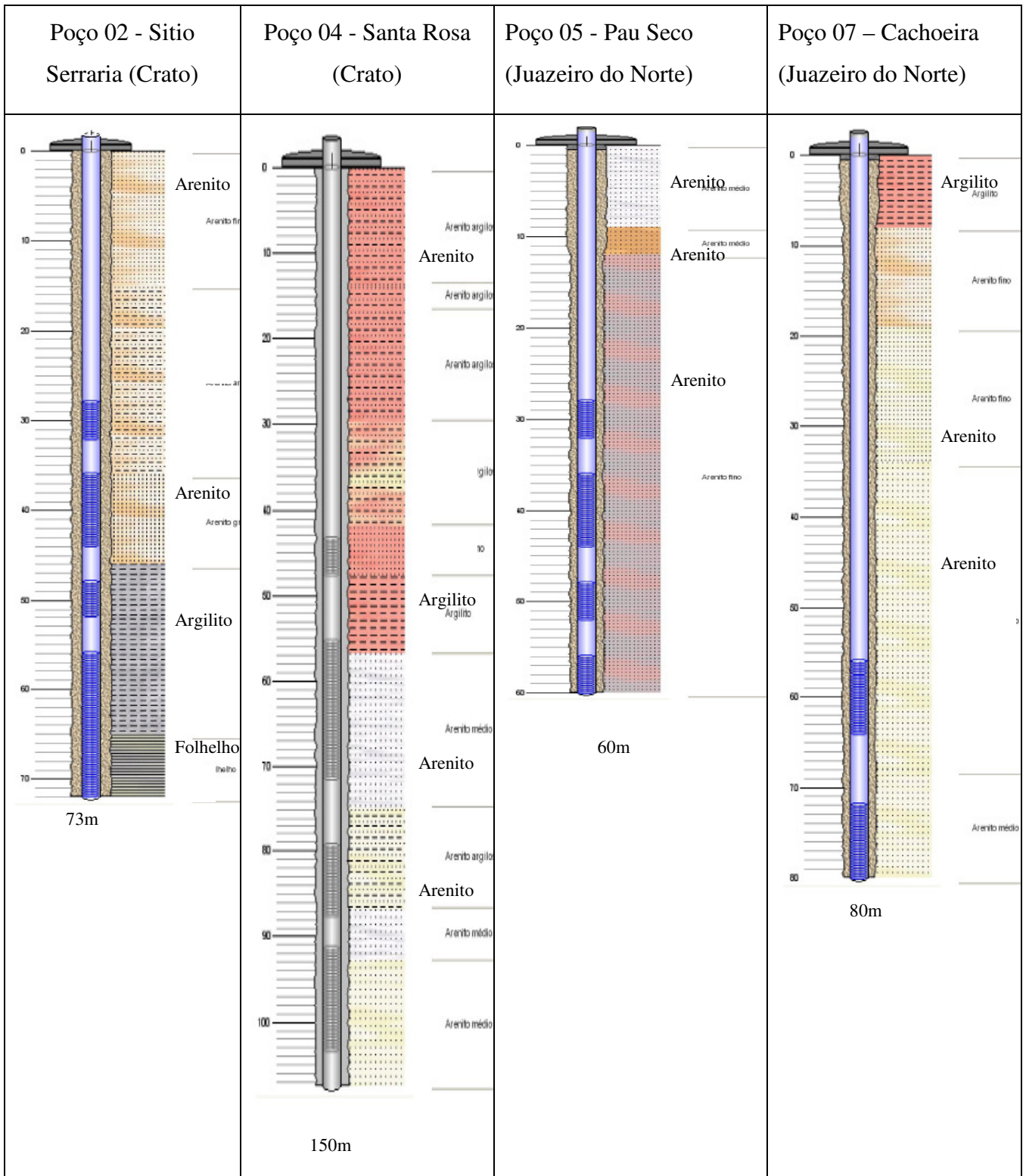


FIGURA 9.3 – Perfis litológico dos poços 2,4,5 e 7 monitorados em CRAJUBAR / Ceará (Fonte: CPRM, 2007)

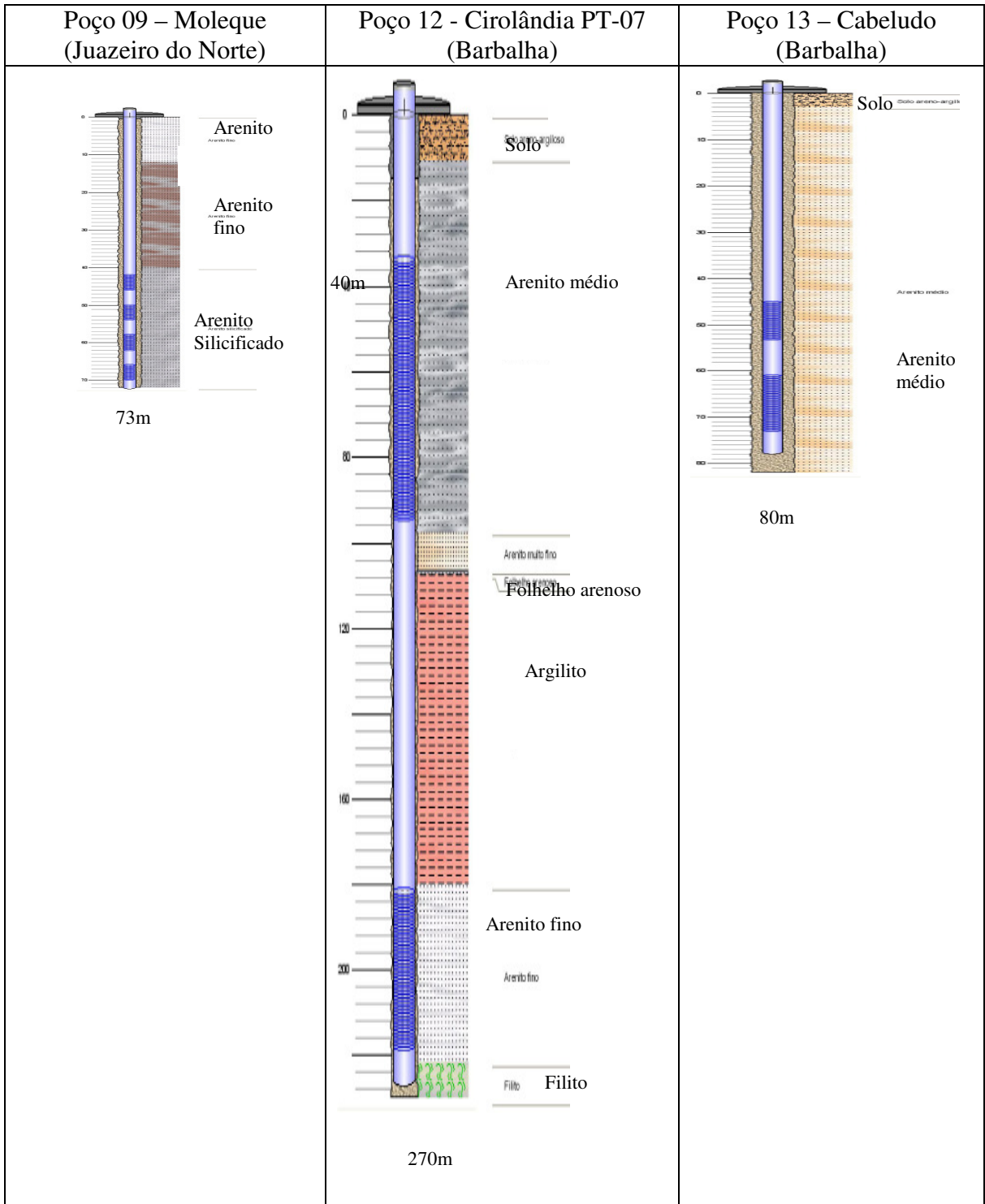


FIGURA 9.4 - Perfis litológicos dos poços 9, 12 e 13 monitorados em CRAJUBAR/Ceará
(Fonte: CPRM, 2007)

As Figuras 9.5 e 9.6 mostram os poços monitorados em CRAJUBAR, observou-se que os poços 03 e 05 estão não instalados, porém tamponados; o poço 06 (Santo Antônio), apesar de apresentar casa de proteção, sofre contaminação por efluentes líquidos domésticos.



A = Poço n° 02- Serraria – Crato – equipado com bomba.



B = Poço n°: 03 – Muquem – Crato – não instalado e tamponado



C = Poço n°: 04 - Pau Seco – Juazeiro do Norte – não instalado e tamponado

FIGURA 9.5 – Relação de fotos dos poços monitorados (abril/06)

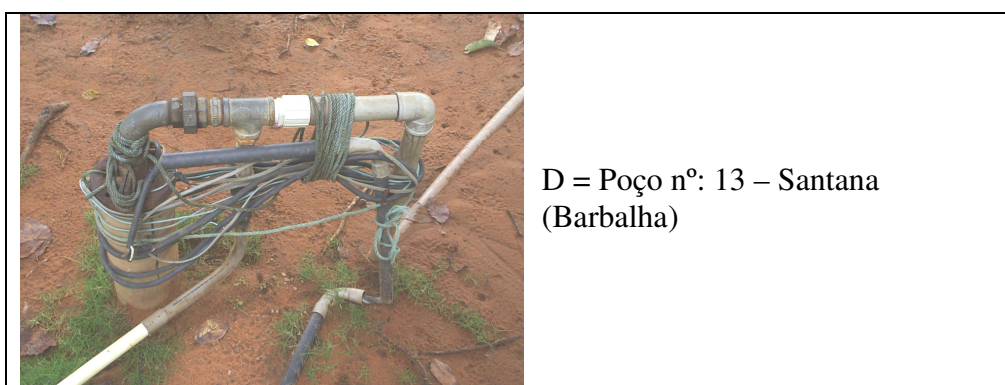
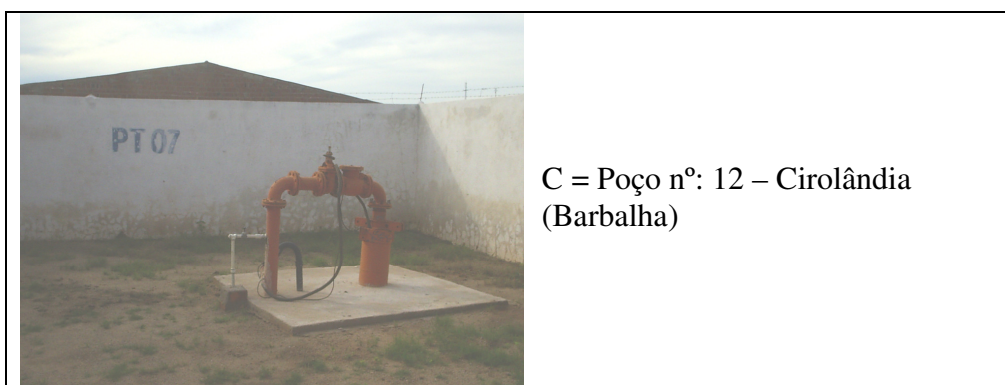


FIGURA 9.6 – Relação de fotos dos poços monitorados em CRAJUBAR/Ceará (abril/06)

Além dos perfis litológicos/ construtivos dos poços monitorados, foram também analisados outros perfis a partir das fichas litológicas de 15 poços operados pela CAGEGE em Juazeiro do Norte, observando-se que existe na região uma alternância de camadas de conglomerados, areias, folhelhos e argilas (Figura 8.7).

Devido à falta de descrições detalhadas (microscopia) não é possível a separação das formações arenosas referentes a Rio da Batateiras, Abaiara e Missão Velha sendo, portanto, adotado o termo já Monte Alverne (1998) de Aquífero Médio para essas formações.

O aquífero Brejo Santo foi bem delimitado pois, sua composição pelítica o diferencia bem das camadas arenosas.

Ao longo das aluviões, por vezes ocorre uma camada com cerca de 50 metros de espessura de conglomerado com seixos angulosos de quartzo e feldspato, sugerindo uma origem vinculada a um paleocanal de forte gradiente hidráulico. Esta camada ocorre acima das areias amareladas da Formação Batateira sendo que, em alguns poços foram colocados filtros nesta camada conglomerática.

As areias variam das cores amarelada, esbranquiçada a avermelhada, por vezes com seixos de quartzo, média a grossa, por vezes intercaladas com pequenas lentes de argilas (10 metros) possuindo espessuras médias de 130 metros.

A Formação Brejo Santo, representada pelos folhelhos, ocorre logo abaixo das areias da Formação Rio da Batateira em uma profundidade média de 130 metros, com espessura média de 40 metros e, logo abaixo, ocorre argila amarelada em um pacote de até 100 metros.

Quanto aos aspectos construtivos, observa-se um cuidado com a proteção sanitária com os poços no geral com cimentação até a proximidade do nível estático (cerca de 15 metros)

Em Barbalha ocorrem arenitos de coloração, variando do topo para base, avermelhada (por vezes com seixos), amarelada, acizentada e esbranquiçada, do mesmo modo que em Juazeiro do Norte, com espessura média de 130 metros.

Os dados das análises hidroquímicas das amostras coletadas durante as quatro campanhas estão nos anexos III e IV.

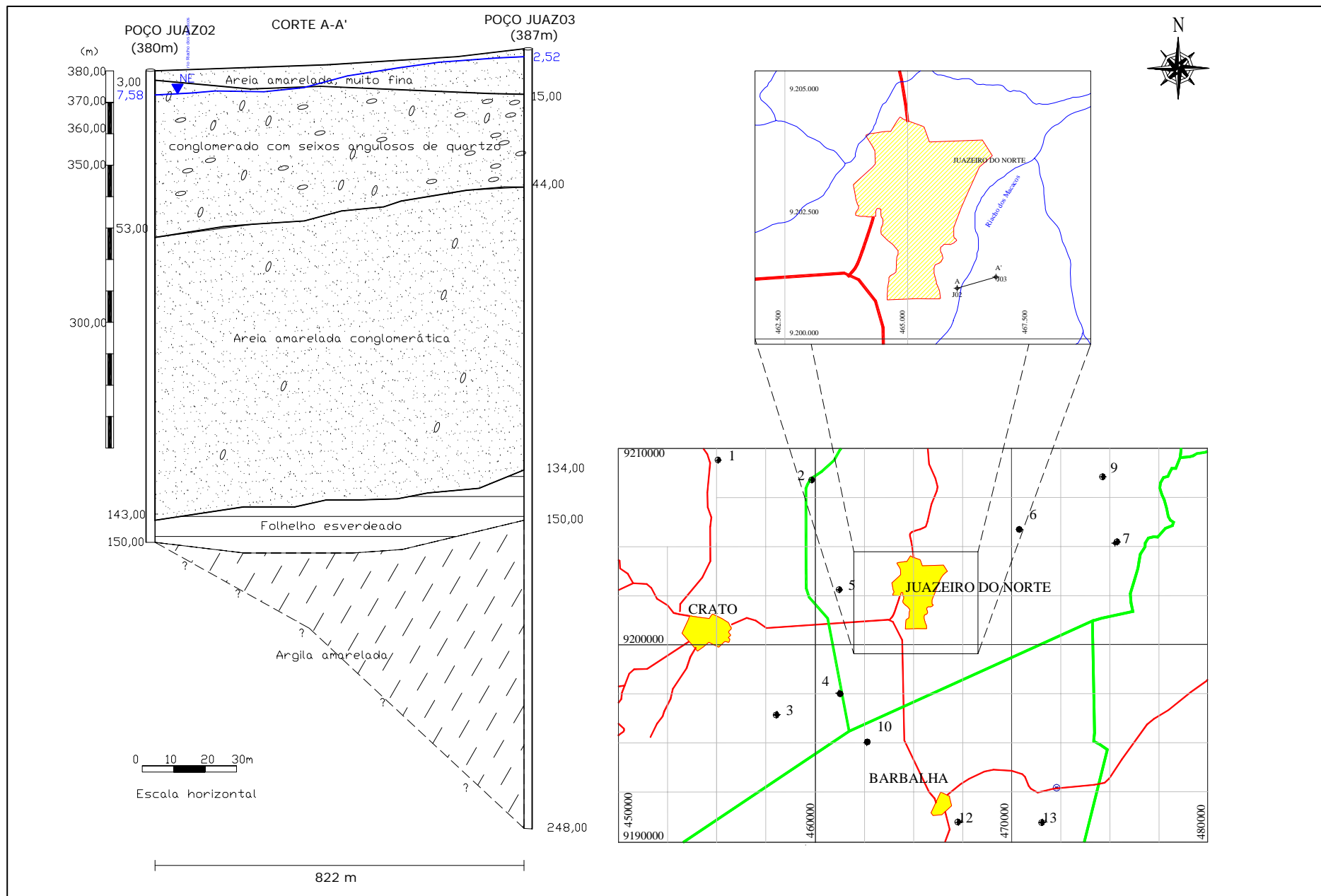


FIGURA 9.7 – Perfil litológico dos poços 02 e 03 na localidade de Riacho dos Macacos – Juazeiro do Norte/Ceará

9.1.1- Parâmetros Físico e químicos

Foram observados os parâmetros de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e pH. A tabela com os valores encontram-se em anexo.

9.1.1.1 - Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica é uma grandeza diretamente proporcional à concentração iônica na água, independente do tipo de íons presentes, e varia em função da temperatura.

A “condutividade” fornece informações sobre as condições do sistema desde a disponibilidade de nutrientes minerais e orgânicos, até de possíveis fontes poluidoras, nesta última, quando com valores altos indicando grau de decomposição elevada e em valores reduzidos indica acentuada produção primária

No período de estiagem (2º campanha), a região de CRAJUBAR obteve um mínimo de 151 (poço nº 1) e máximo de 401µS/cm (Poço nº3), com valor médio de 307,4 µS/cm.

No período chuvoso (3º campanha) a percolação das águas pelo perfil do solo faz com que a CE tenha um ligeiro aumento devido à lixiviação dos elementos químicos presente no solo, colocando-os em solução; entretanto, nos poços 2, 5, 7 e 13 ocorreu uma diminuição dos valores de CE indicando, provavelmente, águas sem recarga direta (Tabela 9.3).

A CE varia de 127 µS/cm (Poço 5 - Pau Seco) a 429 µS/cm (Poço 3 – Muquem) com um valor médio de 284,30 µS/cm. O poço 9, por captar águas do Sistema Aquífero Inferior e o poço 6 (Santo Antônio) por possui valores anômalos (3.470 µS/cm), não entraram na média.

Tabela 9.3 – Comparação entre os valores de CE nos períodos de estiagem e de chuva – CRAJUBAR/CE

Valores de CE (µS/cm a 25°C)					
Estiagem			Chuva		
Min	Max	Média	Mín	Max	média
151,00	401,00	307,40	127,00	429,00	284,30

A condutividade elétrica varia de 127µS/cm a 429µS, tendo um valor médio de 284 os poços com CE acima de 300µS/cm são os poços nº 10 e 12 e os abaixo de 200µS/cm são os poços nº 1, 2, 3 e 5.

Apenas o poço 6 apresentou águas com valores anômalos 3.470 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O poço n° 09 que capta água do Aquífero Inferior apresenta valores de CE maiores, variando de 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso.

Portanto, não foi colocado nos cálculos estatísticos. A água captada por este poço sofre poluição antrópica de uma lavanderia que deixa seus efluentes líquidos a menos de um metro do poço

Observa-se que das 35 medidas, a grande maioria (60%) tem baixa salinidade ($\text{CE} \leq 250 \mu\text{S}/\text{cm}$) e 40% média salinidade ($250 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} \leq 750 \mu\text{S}/\text{cm}$).

Tabela 9.4 - Condutividade Elétrica das águas de CRAJUBAR /CE

Salinidade	N° de dados	%
Baixa ($\text{CE} \leq 250 \mu\text{S}/\text{cm}$)	21	60
Média ($250 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} \leq 750 \mu\text{S}/\text{cm}$)	14	40
Alta ($750 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} \leq 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$)	0	0
Muito alta ($2250 < \text{CE} > \leq 10.947 \mu\text{S}/\text{cm}$)	0	0
TOTAL	35	100

Obs.: exceto o poço 06

9.1.1.2 - Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Segundo CONAMA 357 (2005), classifica-se como água doce “aquela com salinidade menor que 0,5‰” e, água salobra com “salinidade variando numa concentração de 0,5‰ (500mg/L) a 30,0‰” (3.000 mg/L); o ser humano começa a perceber, (palatabilidade), “gosto salobre”, em água, a partir de 1,0‰ (1000 mg/L) de salinidade. Na Portaria 518/04 o VMP para STD é de 1.000 mg/L.

As águas analisadas apresentaram a fraca mineralização, como característica principal, com os valores obtidos nas águas de 38 amostras apresentando uma média de 193,46 mg/L de STD, variando entre o mínimo de 92 e o máximo de 341,96 mg/L, inserindo-se nos padrões aceitos para a água potável (1.000 mg/L). Embora sejam fracamente mineralizadas, as águas são em sua maioria bicarbonatadas



FIGURA 9.8 – Poço 06 na localidade de Santo Antônio com água contaminado por efluentes líquidos - Juazeiro do Norte/ Ceará

9.1.1.3 - pH

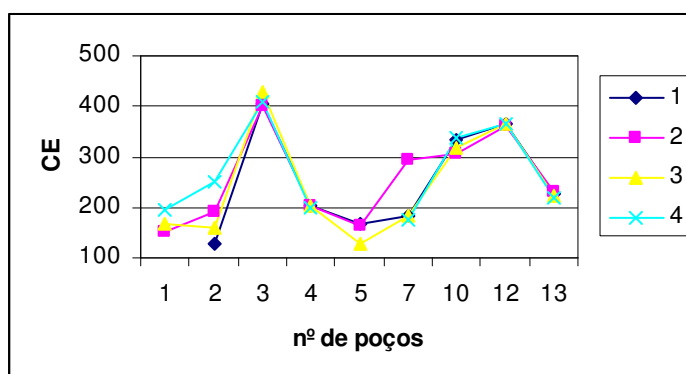
Das 38 amostras analisadas, 33 amostras (87%) apresentam valores de pH que estão na faixa das águas ácidas ($\text{pH} < 7,0$) e 5 amostras (13%) com pH alcalino.

O poço 12 é o que apresenta o pH mais elevado (7,45) e os poços 1, 2, 4 e 7 apresentam pH inferior a 6,5 . portanto fora dos valores recomendados pela Portaria 518/04 (pH entre 6 a 9,5). O valor médio de pH é 6,35, oscilando entre 5,43 e 7,56.

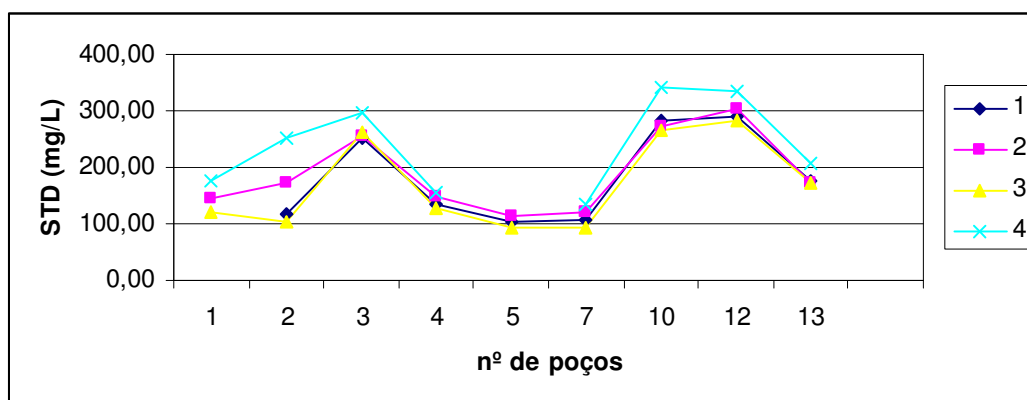
De um modo geral, as águas de baixo pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento-amianto, enquanto que as águas de alto pH tendem a formar incrustações.

A acidez da água pode contribuir para a corrosão das estruturas das instalações hidráulicas, adicionando constituintes à água. As maiores alterações neste indicador são provocadas por despejos de origem industrial (Derísio, 1992). A disposição final de resíduos industriais em fossas ou tanque sépticos pode estar contribuindo para a acidificação da água subterrânea nas áreas investigadas.

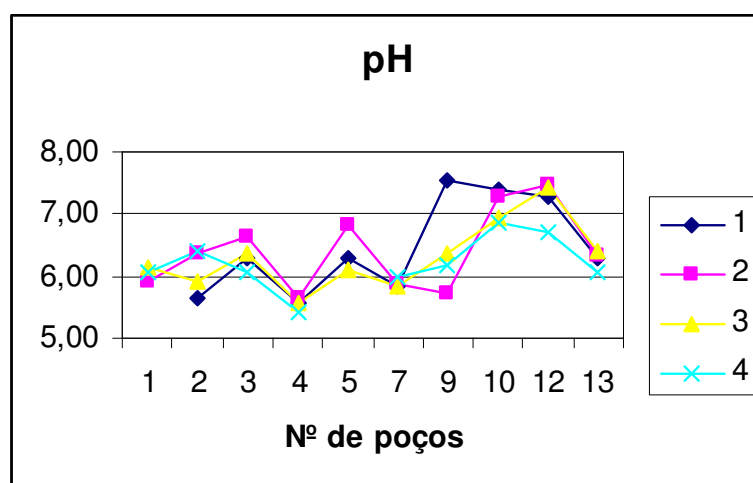
Parâmetros Físico-Químicos



A – Condutividade elétrica



B - Sólidos Totais Dissolvidos



C- pH

FIGURA 9.9 – Variação dos parâmetros físico-químicos durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE

9.1.2- Parâmetros Hidroquímicos

Aqui foram analisados a alcalinidade, a sílica, a dureza e os principais cátions e ânions. A tabela com os valores encontram-se em anexo.

9.1.2.1 - Alcalinidade

A alcalinidade variou de 16,16 a 202,38 mg/L, com média de 82,98 mg/L. Esses valores mostram que essas águas apresentam certa capacidade em neutralizar os ácidos que estão presentes em subsuperfície, principalmente o ácido proveniente do solo.

Os valores de alcalinidade encontrados nessas águas influenciam os respectivos valores de pH. Os maiores valores de alcalinidade foram nos poços 10,12 e 13 e os menores nos poços 4, 5 e 7

9.1.2.2 - Sílica

A sílica apresentou valores de 12,00 a 44,40 mg/l com média de 21,53 mg/L; é considerada essencial ao metabolismo humano, não representando efeitos fisiológicos adversos. Os maiores valores ficaram concentrados nas águas dos poços 1 e 2 e os menores nas amostras de água dos poços 3, 12 e 13 .

9.1.2.3 - Dureza

A dureza de uma água pode ser avaliada pela capacidade de consumir sabão e produzir incrustações, sendo expressa em mg/L de CaCO₃. Custódio & Llamas(1983) apresentaram uma classificação para as águas subterrâneas a partir dos teores de dureza, conforme mostra a tabela 9.7.

Tabela 9.5 – Classificação das águas segundo a dureza

Tipo	CaCO ₃ (mg/L)
Branda	< 50
Pouco Dura	50 – 100
Dura	100 – 200
Muito Dura	> 200

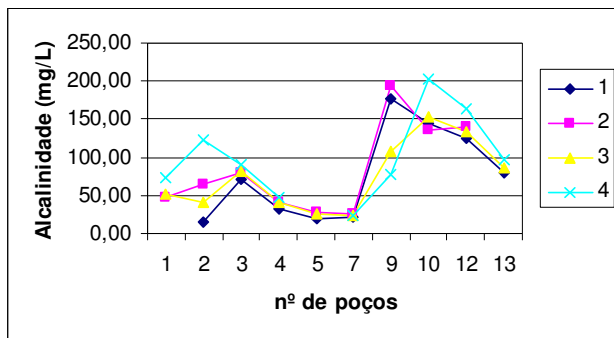
Fonte: CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983..

A classificação das águas subterrâneas da área com relação a sua dureza (teor de CaCO₃ em mg/L) a partir de um universo de 38 amostras, revela que 29% delas possuem águas “brandas”, 29% “pouco dura”, 42% possuem características de “dura” e nenhuma possui

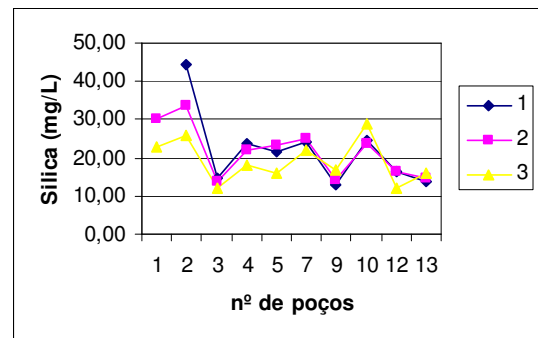
características de “muito dura”. Apenas uma análise do poço 6 - Santo Antônio (1.020 mg/L) está fora padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 518 do Ministério da Saúde de 25/03/2004, que é de até 500 mg/L de CaCO₃ (Figura 8.15).

As amostras com menores valores de dureza encontram-se nos poços 1,2,5 e 7 (valores menores que 50 mg/L) e as águas dos poços 3, 9 e 10 apresentam valores acima de 150 mg/L.

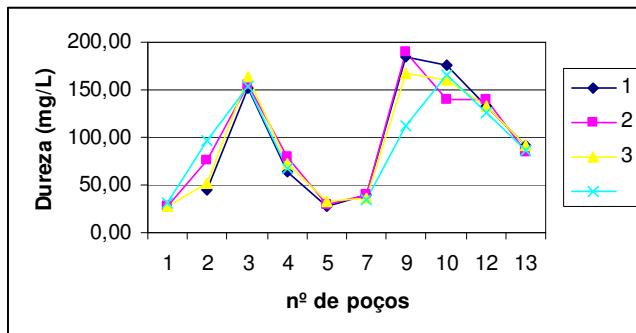
Parâmetros Hidroquímicos



A – Alcalinidade



B – Sílica



C – Dureza

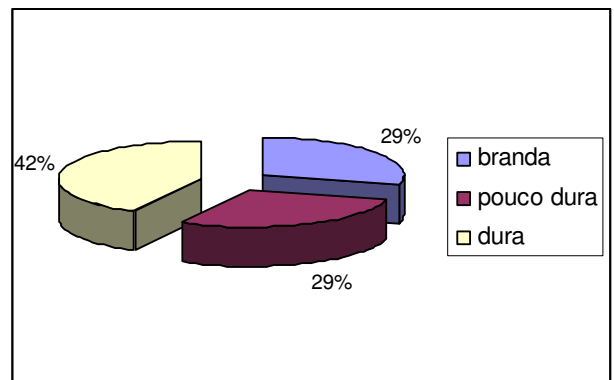


FIGURA 9.10 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE

9.1.2.4 – Cátions

Os cátions analisados foram o sódio, o potássio, o cálcio e o magnésio

9.1.2.4.1 – Sódio

A concentração de sódio nas águas dos poços amostrados oscilaram de 4,68 do poço 13 a 39,79 mg/L (poço 12), com média em torno de 15,37 mg/L (Figura 9.14), estando dentro do limite permitido pela Portaria N° 518/04 MS (250 mg/L). Somente a amostra do poço n° 6 atingiu 325 mg/L no período chuvoso (3° campanha).

Os valores acima de 30 mg/L foram observados nos poços 9 e 12 e os inferiores de 10 mg/L nos poços 2,3, 4, 5 e 7.

9.1.2.4.2 – Potássio

Para as águas do Sistema Aquífero Médio de CRAJUBAR, o potássio variou de 3,07 (poço 10) a 18mg/L (poço n° 5) com média de 10,50 mg/L. O poço 9 que capta água do Sistema Aquífero Inferior, possui água com uma concentração média de potássio de 50,20 mg/L. Isso pode ser uma consequência de certa ocorrência de minerais primários que contenham potássio em sua estrutura, nos solos (argilominerais) e rochas (folhelhos) de CRAJUBAR uma vez que as águas refletem o quimismo dos meios por onde percolam.

Por estar inserida em uma zona de clima tropical, existe atuação do intemperismo nas rochas da região, que transforma os minerais que possuem potássio (principalmente o K-feldspato) em argilominerais através da hidrólise.

As águas pluviais apresentam valores no intervalo de 0,1 a 4mg/L para potássio. O valor médio para o potássio encontrado nas águas analisadas é de 10,50 mg/L, ficando distante até mesmo do limite superior das águas pluviais, indicando, mais uma vez, a não evidência da participação direta de águas pluviais na recarga dos aquíferos de onde são explotadas as águas. Como mostrado na Figura 8.19, onde nota-se os valores constantes durante as 4 campanhas.

9.1.2.4.3 – Cálcio

Nas águas analisadas, as concentrações de cálcio são inferiores a 50 mg/L. Somente a água do poço 06 apresentou valores superiores (325 mg/L); o valor mínimo é de 1,80 mg/L e o médio é de 17,28 mg/L.

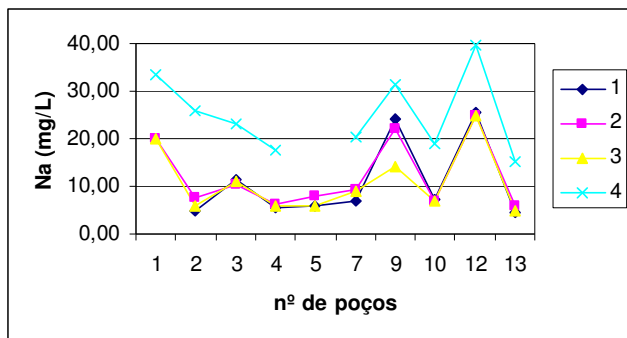
9.1.2.4.4 - Magnésio

Para as águas monitoradas, os valores obtidos ficaram entre o valor máximo de 30,72 mg/L para o poço 10, e mínimo de 2,88 mg/L para o poço 5, apresentando média de 13,16 mg/L.

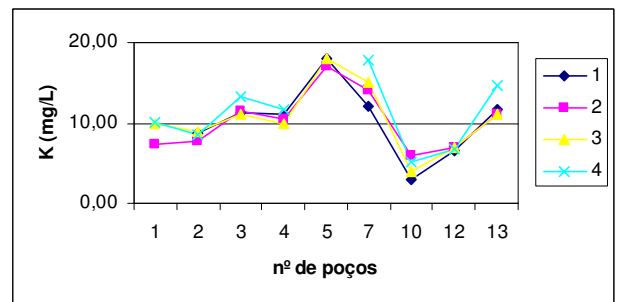
As águas pluviais apresentam concentrações de magnésio entre 0,4 e 1,6 mg/L, ficando as águas analisadas com valores inferiores aos valores mínimos destas, isso, indica a pequena contribuição das águas pluviais na recarga dos aquíferos.

Os valores de magnésio tenderam a diminuir no período chuvoso (3º campanha).

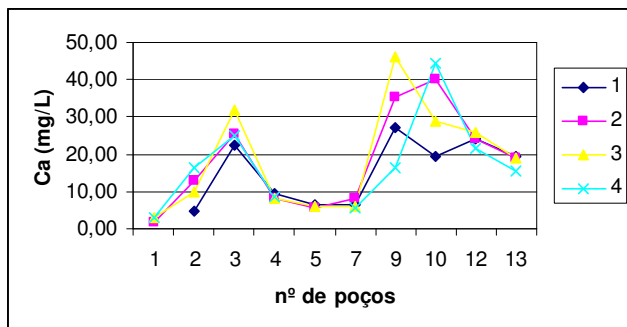
Parâmetros Hidroquímicos (Cátions)



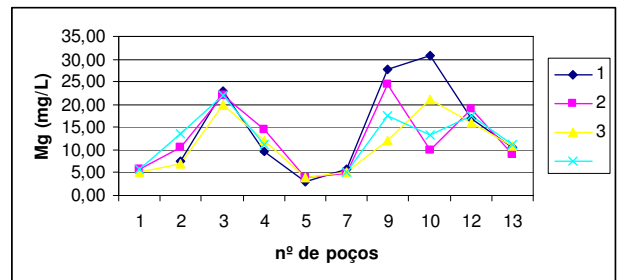
A – Sódio



B – Potássio



C – Cálcio



D - Magnésio

FIGURA 9.11 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos (cátions) durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE

9.1.2.5 – Aníons

Aqui serão abordados os aníon nitratos, sulfatos, cloretos e os bicarbonatos

9.1.2.5.1 - Nitrato

A maioria dos solos possuem colóides (argilas) com carga negativa, esta característica explica porque o nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-) lixivia mais facilmente no solo, do que nitrogênio na forma de amônio (NH_4^+). O nitrato é pouco retido no solo, permanecendo como íon livre na água do solo, passível de ser lixiviado através do perfil de certos solos e sob certas condições pluviométricas.

As principais fontes de nitrato para as águas subterrâneas são de origem antrópica difusa, podendo ser citadas: aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços. O nitrogênio de origem mineral ocorre em rochas denominadas evaporitos.

Concentrações de nitrato superiores a 5 mg/L indicam uma alteração do equilíbrio natural, principalmente por influência antrópica sobre a qualidade das águas subterrâneas. Assim, essa concentração foi adotada como um valor de alerta.

Nas águas de 8 dos 11 poços tubulares da rede de monitoramento, o parâmetro nitrato apresenta resultados acima de 5,0 mg/L, apontando assim, indícios de contaminação, conforme apresentado na tabela 8.6.

Apenas as águas de dois poços (nº 05 - Pau Seco e o nº 9 – Moleque) apresentam concentrações de nitrogênio nitrato acima do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, que é de 10 mg/L N-NO_3 . Estes poços estão localizados em Juazeiro do Norte, captando água dos Sistemas Aquífero Médio e Inferior respectivamente. Os poços contaminados por nitrato representam 18% do total de poços monitorados.

Tabela 9.6 – Variação das concentrações de nitrato e o numero de ultrapassagem do padrão de potabilidade

Nº poço	local	Amplitude de variação (mg/L de N-NO ₃)	Nº de ultrapassagem em 6 análises
1	São Francisco II	0,10 – 5,10	-
2	Serraria	0,70 – 4,34	-
3	Baixio do Muquem	1,63 – 6,09	-
4	Santa Rosa	2,15 – 5,20	-
5	Pau Seco	2,70 – 10,03	1
6	Santo Antonio	5,43 – 6,00	-
7	Cachoeira	2,94 – 8,55	-
9	Moleque	2,01 – 17,25	5
10	Mata - DI	0,01 – 0,90	-
12	Cirolandia CG-PT07	1,11 – 5,54	-
13	Santana III	1,15 – 4,02	-

De acordo com FEITOSA & MANOEL FILHO (2000, *apud* SANTOS, 2000), o nitrato representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica e teores elevados podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (esgoto, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais etc).

Dentro do universo de 38 amostras, os valores de nitrato variam de 0,01 mg/L e 8,0 mg/L, com média de 3,25 mg/L.

As águas do poço nº 9 mostrou uma média de 13,19 mg/L (Figura 8.22), o poço 06 apesar de apresentar valores elevados dos parâmetros iônicos (ver Tabela 8.3) não apresentou valores superiores a 6 mg/L.

Segundo a Portaria Nº 518/04 do Ministério da Saúde, o valor máximo tolerável de nitrato (N-NO₃) é de 10 mg/L de [N-NO₃]. As análises realizadas para as águas da área, com exceção do poço Moleque, não mostram concentrações desse parâmetro acima dos limites permissíveis, provavelmente esses valores demonstram a ausência de fontes pontuais de pequena escala, de esgoto sanitário e fossas sépticas que ocorrem nas áreas de maiores concentrações urbanas.

A figura 9.12 mostra que os valores de nitrato tendem a aumentar na 4ª campanha período de estiagem (09 a 17 de outubro de 2006).

9.1.2.5.2 - Sulfato

Embora largamente distribuídos nos minerais da crosta terrestre geralmente apresentam-se pequenas concentrações nas águas subterrâneas. Geralmente são provenientes de folhelhos.

Foram observados teores oscilando de 0,43 (mínimo) a 29,00 mg/L (máximo), com média de 10,09 mg/L, estando os valores das quatro etapas de monitoramento dentro do limite permitido (250mg/L) pela Portaria Nº 518/04. Somente as águas do poço 9 apresenta valores de 60 mg/L no período chuvoso.

Os maiores valores de sulfatos são observados nas águas dos poços 3, 4 e 12 e os menores nas amostras dos poços 1, 2, 5 e 7.

9.1.2.5.3 - Cloretos

As águas analisadas apresentaram concentrações de cloretos inferiores a 100 mg/L. O valor mais alto foi registrado no poço nº 3, (63,0 mg/L) e o menor no poço nº 10 (6,0 mg/L) e média de 21,44 mg/L.

A Portaria Nº 518/04 estabelece para as águas potáveis um valor máximo 250mg/L para cloreto. Os resultados obtidos mostram que as águas analisadas estão dentro dos padrões de aceitação para consumo humano.

As águas do poço nº 9 foi o que demonstrou os maiores valores chegando até 80 mg/L na quarta campanha.

Os maiores valores de cloretos foram observados no poço 3, o mesmo se encontra não instalado, esses altos valores podem representar poluição antrópica.

9.1.2.5.4 - Bicarbonato

Os valores de bicarbonato variaram de 19,72 a 246,90 mg/L com média de 101,37 mg/L.

Os maiores valores de cloretos foram observados nos poço 9 e 10, e os menores nos poços 4, 5 e 7.

Parâmetros Hidroquímicos – Ânions

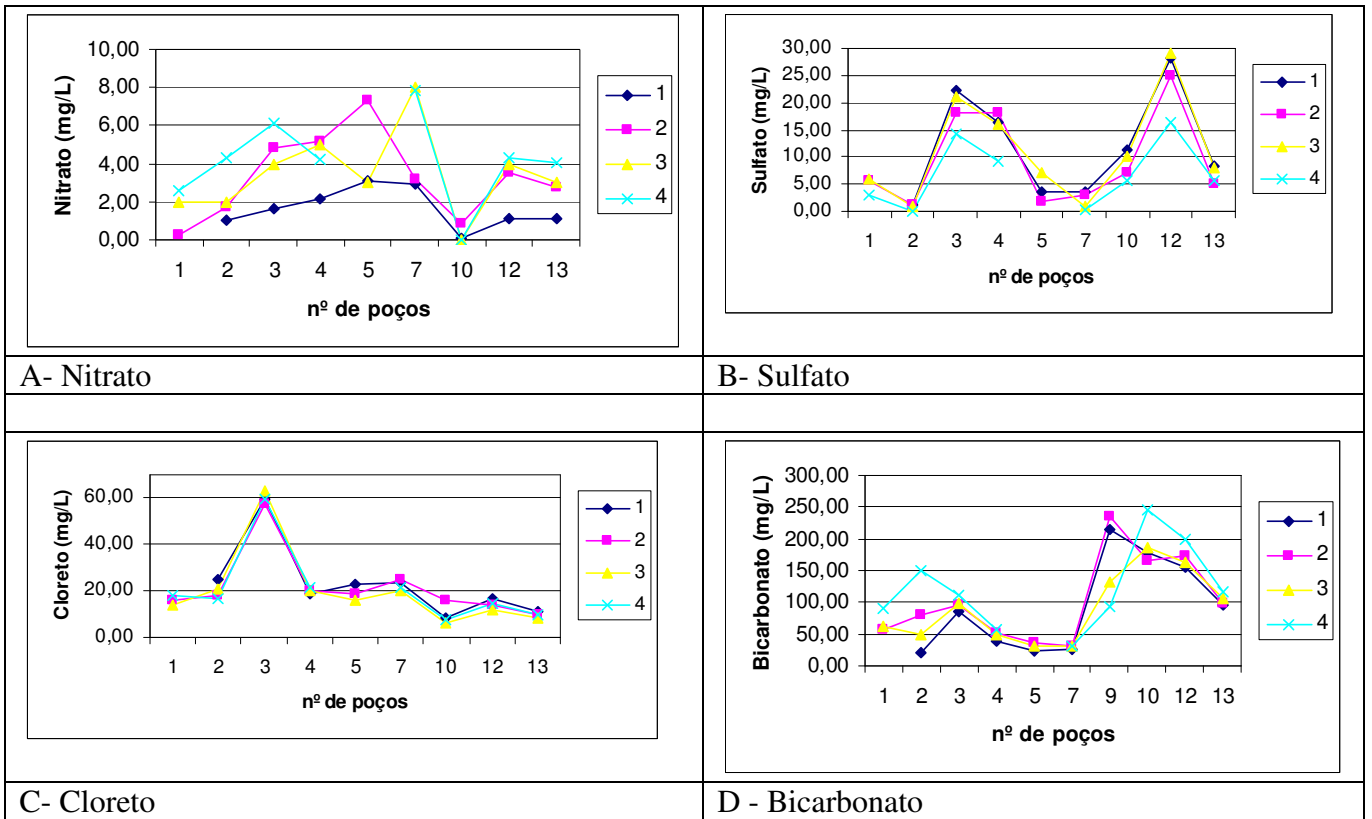


FIGURA 9.12 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos (ânions) durante as 4 campanhas de amostragem em CRAJUBAR/CE

Parâmetros Hidroquímicos –referente ao poço 9

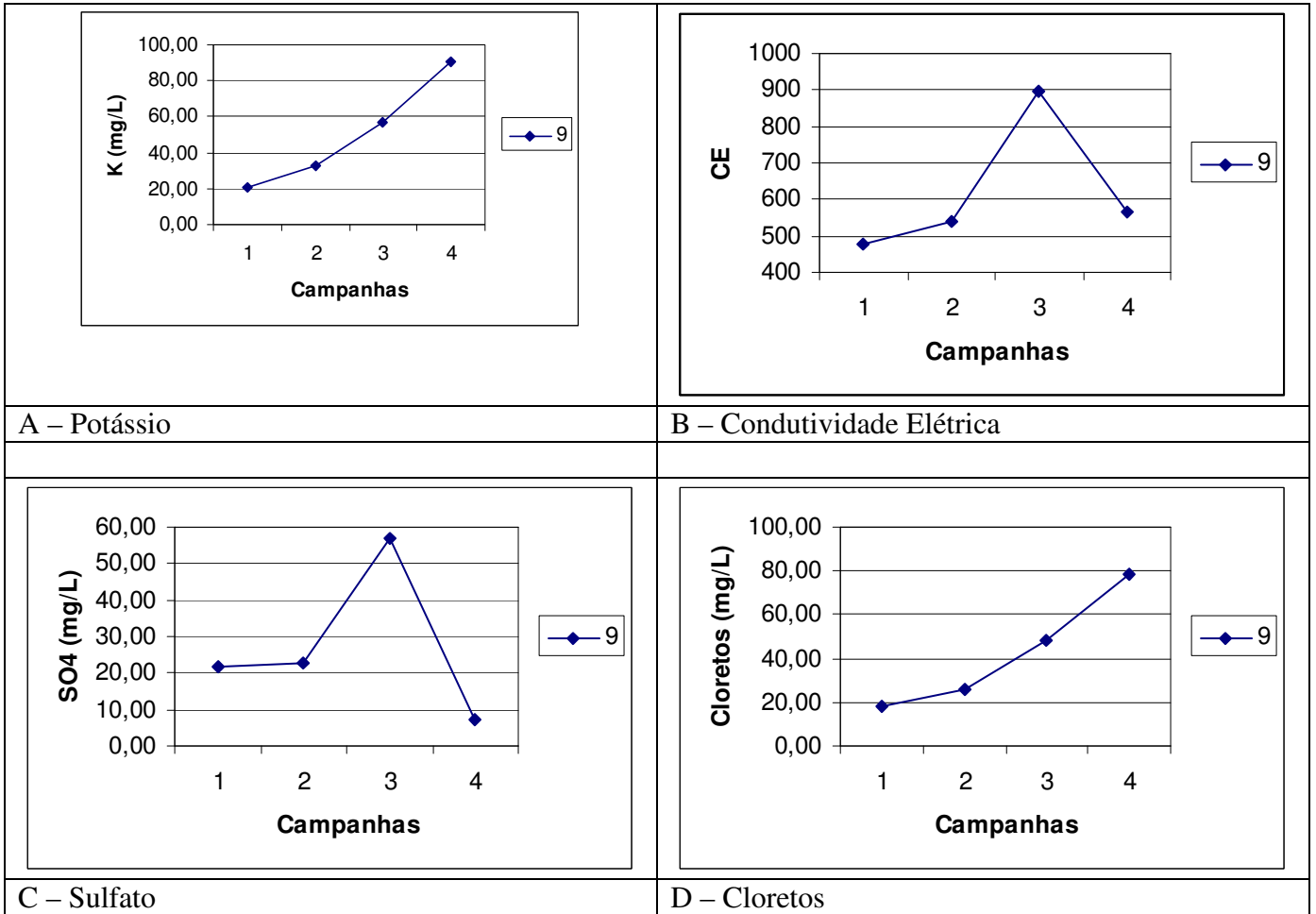


FIGURA 9.13 – Variação dos parâmetros Hidroquímicos referente ao poço 9 e amostragem em CRAJUBAR/CE

9.1.3 - Variação sazonal

A variação no comportamento de diversos parâmetros físico-químicos e do nível estático foi observada no período de outubro de 2005 a julho de 2006, através de 4 campanhas de campo.

Durante os meses de estiagem (julho a dezembro) foram notados os maiores valores de níveis estáticos (águas mais profundas), com recuperação nos meses mais chuvosos (3 campanha - abril), nota-se que o nível estático tende a diminuir, devido a recarga do aquífero em todos os poços monitorados com exceção do poço Santa Rosa no Crato.

As águas que sofrem maiores influencia das chuvas são as dos poços 01 e 06 com recuperação do nível estático respectivamente de 2,5 m e 6,0 m.

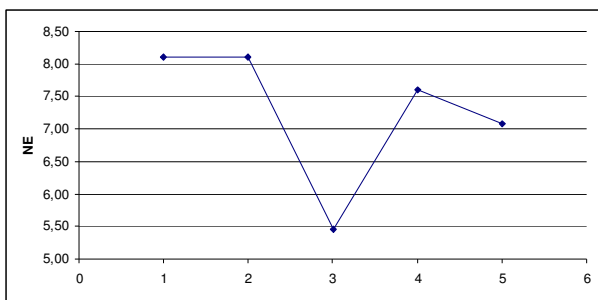
As águas com menores influencia das precipitações e conseqüentemente mais protegidas são as dos poços 03 (0,4 m), 04 (0,5m), e 11 (0,6m). As águas do poço Santa Rosa no Crato, tiveram um comportamento contrário, aumentando o seu nível estático no período chuvoso.

As águas do poço nº 01 São Francisco (Crato), mostram os maiores valores no período de estiagem, com exceção de K, Ca, HCO_3 , SO_4^- , alcalinidade e nitrato.

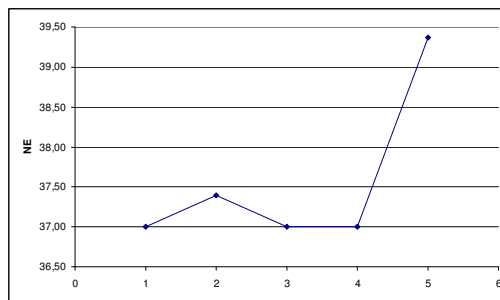
Com exceção dos bicarbonatos, as concentrações iônicas são relativamente baixas estando sua maioria abaixo dos 10mg/L, com valores superiores somente para o íon sódio (35mg/L) e o cloreto.

O aumento de K no período de chuvoso indica que o mesmo é carregado de uma fonte externa para o aquífero, através da recarga, talvez devido a uso de fertilizantes a base de cloreto de potássio.

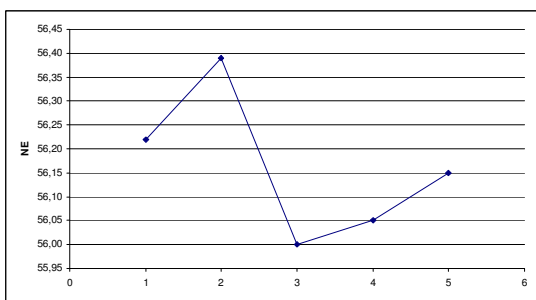
A figura abaixo mostra o monitoramento do nível estático em seis campanhas.



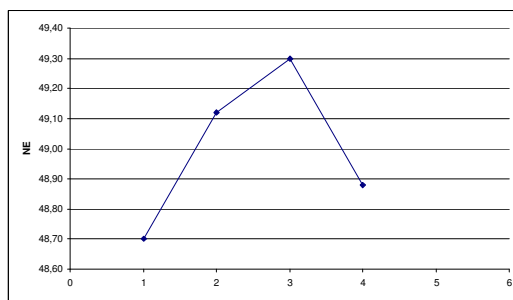
Poço 01 – São Francisco II/Crato



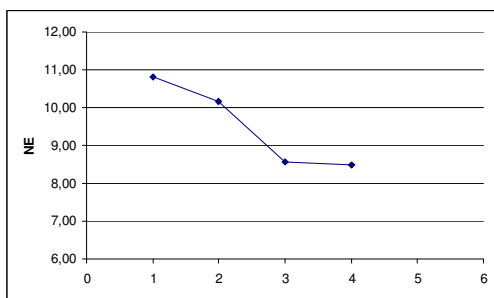
Poço 02 – Serraria/Crato



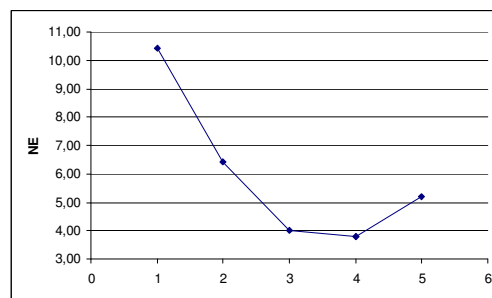
Poço 03 – Baixio do Muquem – Crato



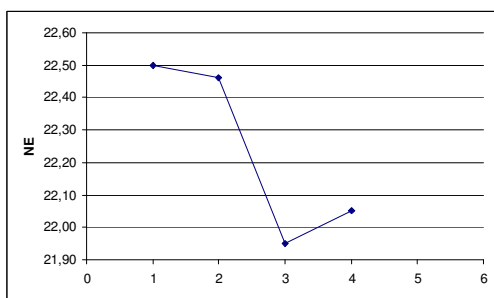
Poço 04-Santa Rosa/Crato



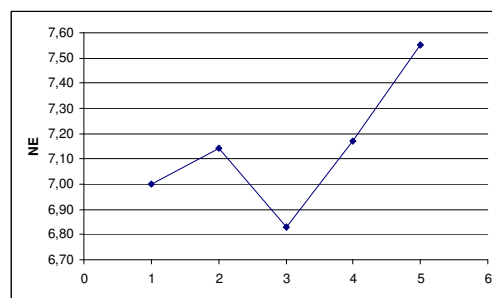
Poço 05 – Pau Seco – Juazeiro do Norte



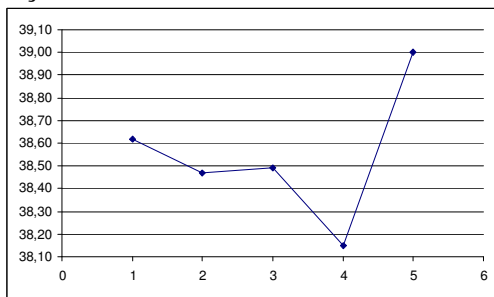
Poço 06 - Santo Antônio –Juazeiro do Norte



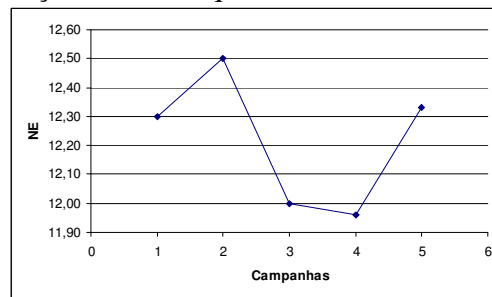
Poço 07 – Cachoeira – Juazeiro do Norte



Poço 09 – Moleque – Juazeiro do Norte



Poço 10 – Mata DI - Barbalha



Poço 11 – Serraria III - Barbalha

FIGURA 9.14 – Variação sazonal do nível estático nos poços monitorados

As águas do poço nº 01 São Francisco (Crato), mostram os maiores valores no período de estiagem, com exceção de K, Ca, HCO₃, SO₄⁻, alcalinidade e nitrato.

Com exceção dos bicarbonatos, as concentrações iônicas são relativamente baixas estando sua maioria abaixo dos 10mg/L, com valores superiores somente para o íon sódio (35mg/L) e o cloreto.

O aumento de K no período de chuvoso indica que o mesmo é carregado de uma fonte externa para o aquífero, através da recarga, talvez devido a uso de fertilizantes a base de cloreto de potássio.

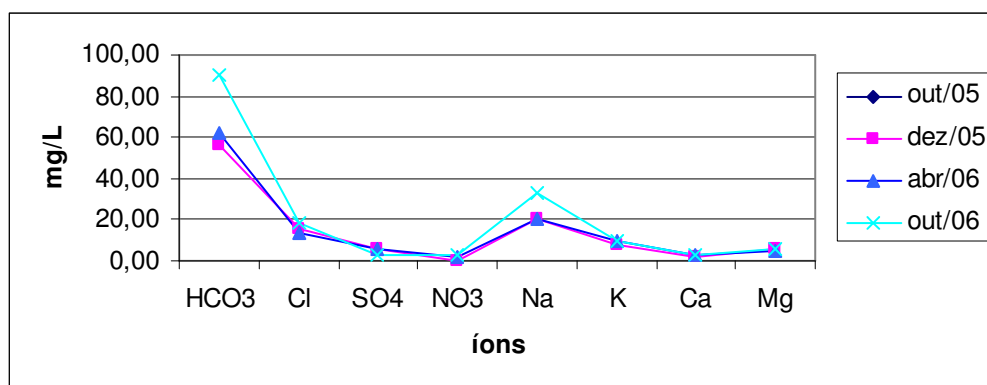


Figura 9.15 – Variação sazonal das águas do poço 01- São Francisco (Crato) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 02 Serraria (Crato) apresentam as maiores concentrações (↑) iônicas no período de estiagem (dezembro), com exceção dos íons K, Cl e da sílica, que apresentaram aumento das concentrações durante o período chuvoso (abril).

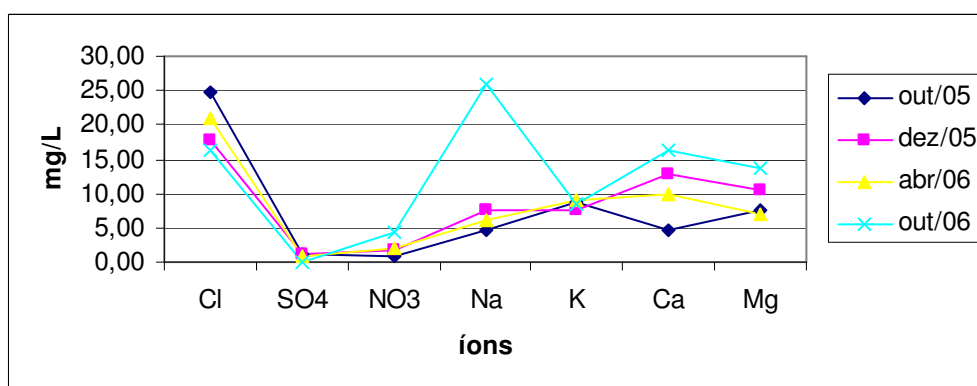


Figura 9.16 – Variação sazonal das águas do poço nº 02 Serraria (Crato) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 03 Baixio do Muquem (Crato) possuem suas maiores concentrações no período de estiagem, com exceção de Ca, Cl, bicarbonatos, alcalinidade e dureza.

Chama-se atenção para os altos valores de Ca (média de 25 mg/L), Mg (média de 22 mg/L) cloretos (média de 58 mg/L) e de dureza com média de 155 mg/L.

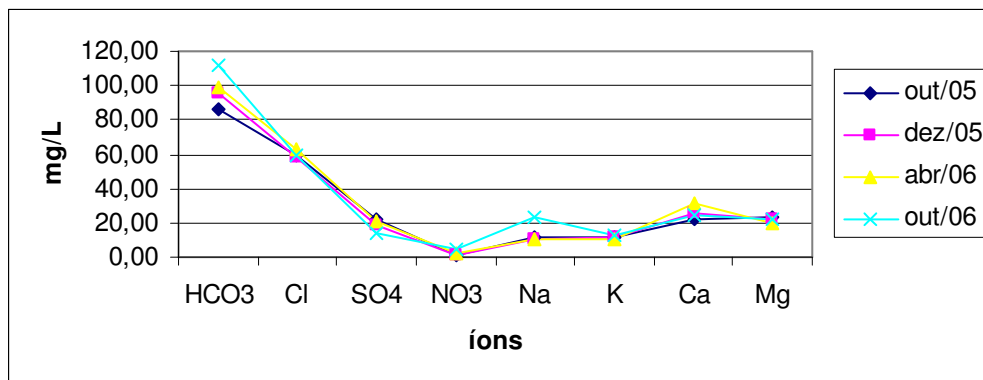


Figura 9.17 – Variação sazonal das águas do poço nº 03 Baixio do Muquem (Crato) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 04 Santa Rosa (Crato) possuem suas maiores concentrações no período de estiagem.

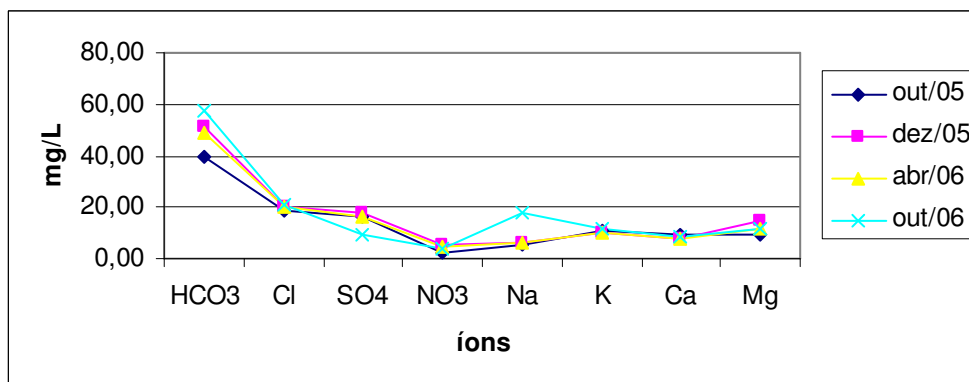


Figura 9.18 – Variação sazonal das águas do poço nº 04 Santa Rosa (Crato) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 05 Pau Seco (Juazeiro do Norte) possuem suas maiores concentrações no período de estiagem, com exceção para SO4.

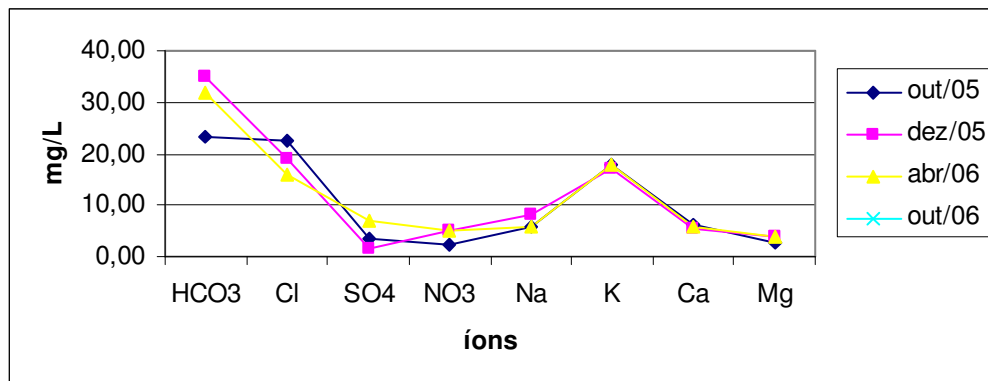


Figura 9.19 – Variação sazonal das águas do poço nº 05 Pau Seco (Juazeiro do Norte) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 06 Santo Antonio (Juazeiro do Norte) possuem suas maiores concentrações no período de chuva, com exceção para Ca e Sílica.

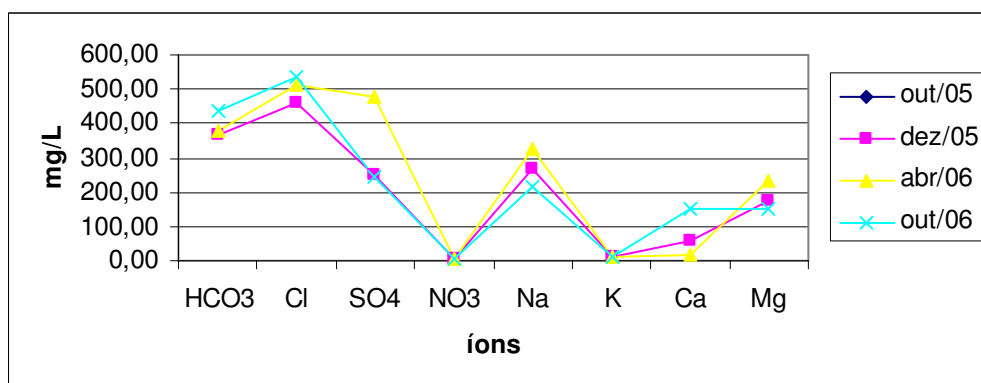


Figura 9.20 – Variação sazonal das águas do poço nº 06 Santo Antonio (Juazeiro do Norte) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 07 Cachoeira (Juazeiro do Norte) possuem suas maiores concentrações no período de estiagem, com exceção para K e nitrato.

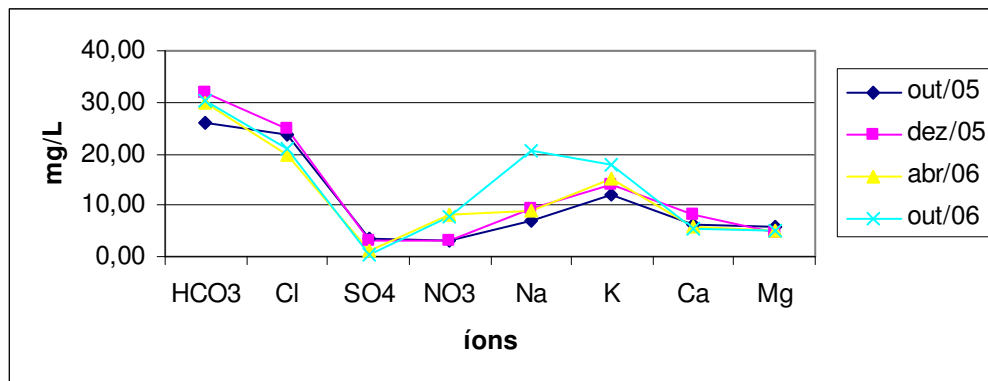


Figura 9.21 – Variação sazonal das águas do poço n° 07 Cachoeira (Juazeiro do Norte) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço n° 09 Moleque (Juazeiro do Norte) possuem suas maiores concentrações no período de estiagem, com exceção para K, Ca, Cl, sulfato, sílica e nitrato.

As suas águas distinguem-se das demais por apresentarem valores maiores que as águas dos demais poços analisados.

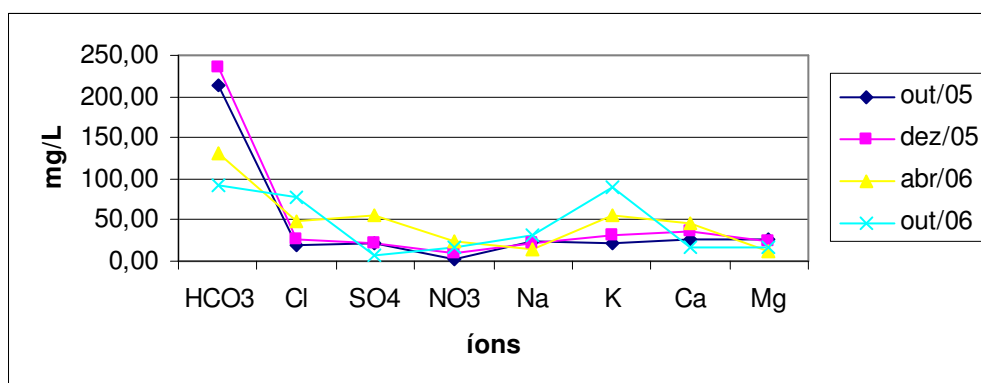


Figura 9.22 – Variação sazonal das águas do poço n° 09 Moleque (Juazeiro do Norte) – CRAJUBAR/Ceará

As águas dos poços de Barbalha apresentam valores elevados de cálcio e magnésio e valores baixo de potássio.

As águas do poço n° 10 Mata (Barbalha) possuem suas maiores concentrações no período de estiagem, com exceção bicarbonatos, sílica, alcalinidade.

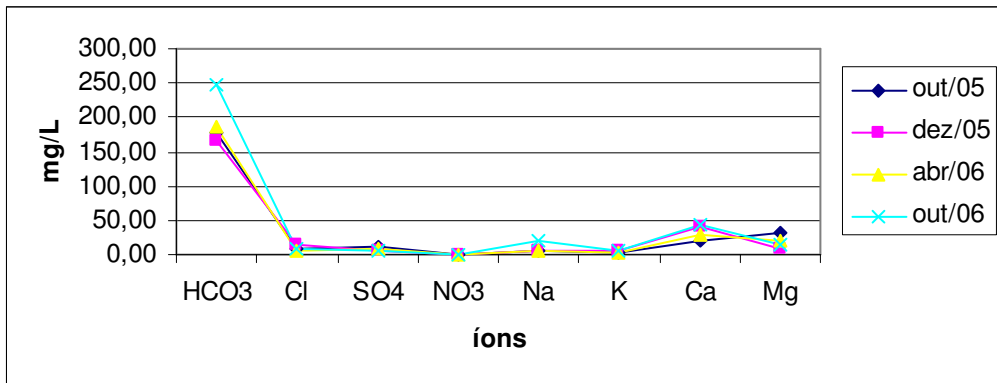


Figura 9.23– Variação sazonal das águas do poço nº 10 Mata (Barbalha) –CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 12 Cirolândia (Barbalha) possuem suas maiores concentrações no período de estiagem, com exceção para Ca, sulfato e nitrato.

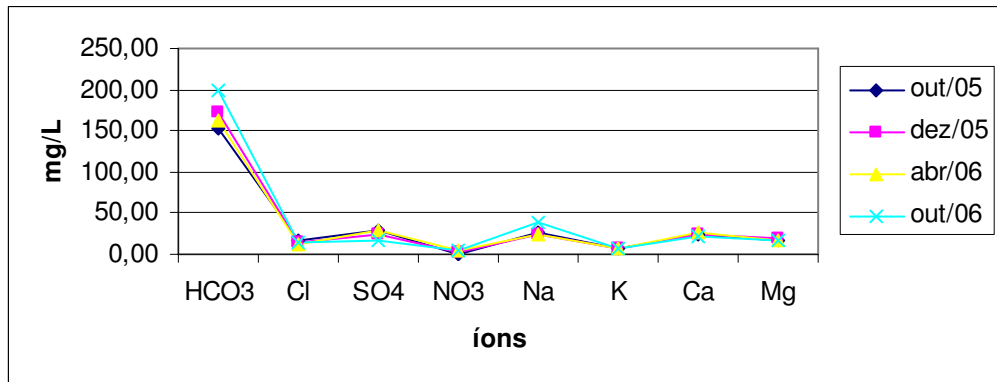


Figura 9.24 – Variação sazonal das águas do poço nº 12 Cirolândia (Barbalha) – CRAJUBAR/Ceará

As águas do poço nº 13 Santana (Barbalha) possuem seus valores em ambos períodos com ligeira concentrações no período de estiagem, com exceção para Mg, bicarbonato, sílica, alcalinidade e nitrato.

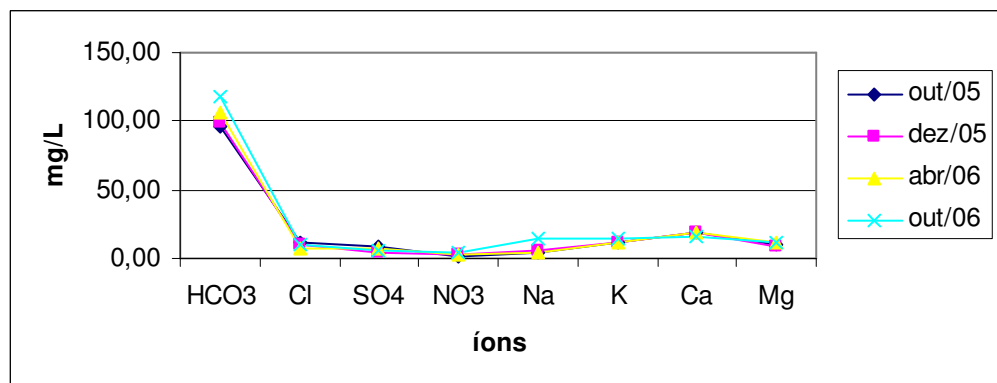


Figura 9.25 – Variação sazonal das águas do poço nº 05 Pau Seco (Juazeiro do Norte) – CRAJUBAR/Ceará

9.2 - Cálculo do Erro da Análise

O balanço iônico verifica o erro analítico admissível para cada amostra. Baseado no Erro Prático (Ep) definido por Logan (1965), tem-se que:

$$Ep (\%) = \frac{|\sum ca - \sum an|}{(\sum ca + \sum an)} * 100$$

onde:

$\sum ca$ = somatório dos cátions em meq.L⁻¹

$\sum an$ = somatório dos ânions em meq.L⁻¹

O erro teórico é o E.p. máximo permitido, levando-se em conta os valores dos íons, conforme mostrado na Tabela 8.9. Neste trabalho foi utilizado o erro máximo de 10%, admitido por logan (*Op.cit*)

Quadro 9 – Balanço Iônico de Logan (1965)

Balanço Iônico N°2							
Baseado no Erro prático (Ep) definido por Logan (1965), dado como:							
$Ep (\%) = \frac{ r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cations} }{r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cations}} \times 100$							
O erro Teórico é o E.P. máximo permitido levando-se em consideração os valores dos íons, conforme mostrado abaixo:							
Σ cátions ou Σ ânions	< 1	1	2	6	10	30	>30
Erro permitido (%)	15	10	6	4	3	2	1

Tabela 9.9 – Resultado do balanço iônico

No	Local	C.E.	Soma Cations	BI nº 1 (Logan)
1	São Francisco II	151	1,69	3,63
2	Serraria	191	1,57	3,89
	Baixio do	401	4	
3	Muquem			2,97
4	Santa Rosa	203	1,9	3,3
5	Pau Seco	165	1,27	5,35
6	Santo Antonio	2850	30	9,27
7	Cachoeira	296	1,4	7,38
9	Moleque	540	5,22	7,24
10	Mata - DI	305	3,87	6,89
12	Cirolandia CG-PT07	362	3,87	3,79
13	Santana III	229	2,31	5,2

9.3 - Classificação Iônica – Diagrama de Piper

Para descrever os tipos de água, em um aquífero, que difere na sua composição química é usado o termo “fácies hidroquímica” (*hydrochemical fácies*) (CUSTÓDIO & LIAMAS, 1983). As fácies hidroquímicas podem ser classificadas com base nos íons dominantes por meio de diagramas triangulares, neste caso foi utilizado o diagrama de Piper, a partir do programa QUALIGRAF, versão Beta, desenvolvido por MÖBÜS (2003).

Nesse diagrama pode-se distinguir três campos onde são plotados os valores percentuais das concentrações dos principais constituintes iônicos para os cátions e para os ânions, permitindo identificar a fácies hidroquímica. O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango define sua posição e classifica a amostra de acordo com suas fácies.

Os poços estão locados em zona rural e, portanto, longe da contaminação provocada pelas fontes pontuais (posto de combustível, indústrias, etc), podendo, no entanto, sofrer interferência antrópica por fontes difusas (agrotóxicos).

Chama-se atenção para o poço Santo Antônio (Figura 9.40 a), localizado no município de Juazeiro do Norte, que foi retirado da amostragem por apresentar valores anômalos, atingindo STD de até 1.961 mg/L, devido a contaminação local provocada pelos efluentes domésticos, que infiltram-se praticamente na base do poço (Figura 8.17 b).



A = poço Santo Antônio – Juazeiro do Norte/Ceará



B = Fonte de poluição no poço Santo Antônio, efluentes líquidos despejados a menos de 1 metro do poço. Este poço apresenta as maiores concentrações iônicas.

FIGURA 9.17– Fonte de poluição no poço Santo Antônio CRAJUBAR /Ceará (abril de 2006)

A diferença de solubilidade das espécies iônicas é responsável pela evolução química das águas em profundidade.

À medida que as águas se infiltram nas formações geológicas, o seu tempo de residência geralmente aumenta, podendo apresentar uma estratificação que é comandada pelas características litológicas e diferentes níveis de solubilidade.

As águas mais rasas, ou com menor tempo de residência, tendem a ser bicarbonatadas (águas de chuvas), e na medida que se aprofundam a sua classificação muda para sulfatadas e cloretadas (MESTRINHO,1998). Portanto, águas bicarbonatadas indicam águas de recarga recente (águas de chuva), enquanto que as águas cloretadas indicam um maior período de interação água e rocha.

A partir dessa observação podemos concluir que as águas da região de CRAJUBAR apresentam-se predominantemente bicarbonatadas em função da recarga ser realizada por chuvas, não tendo tempo maior de interação rocha-água. As águas cloretadas certamente estão sofrendo contaminação, como no caso observado no poço 06 na localidade de Veados (Juazeiro do Norte).

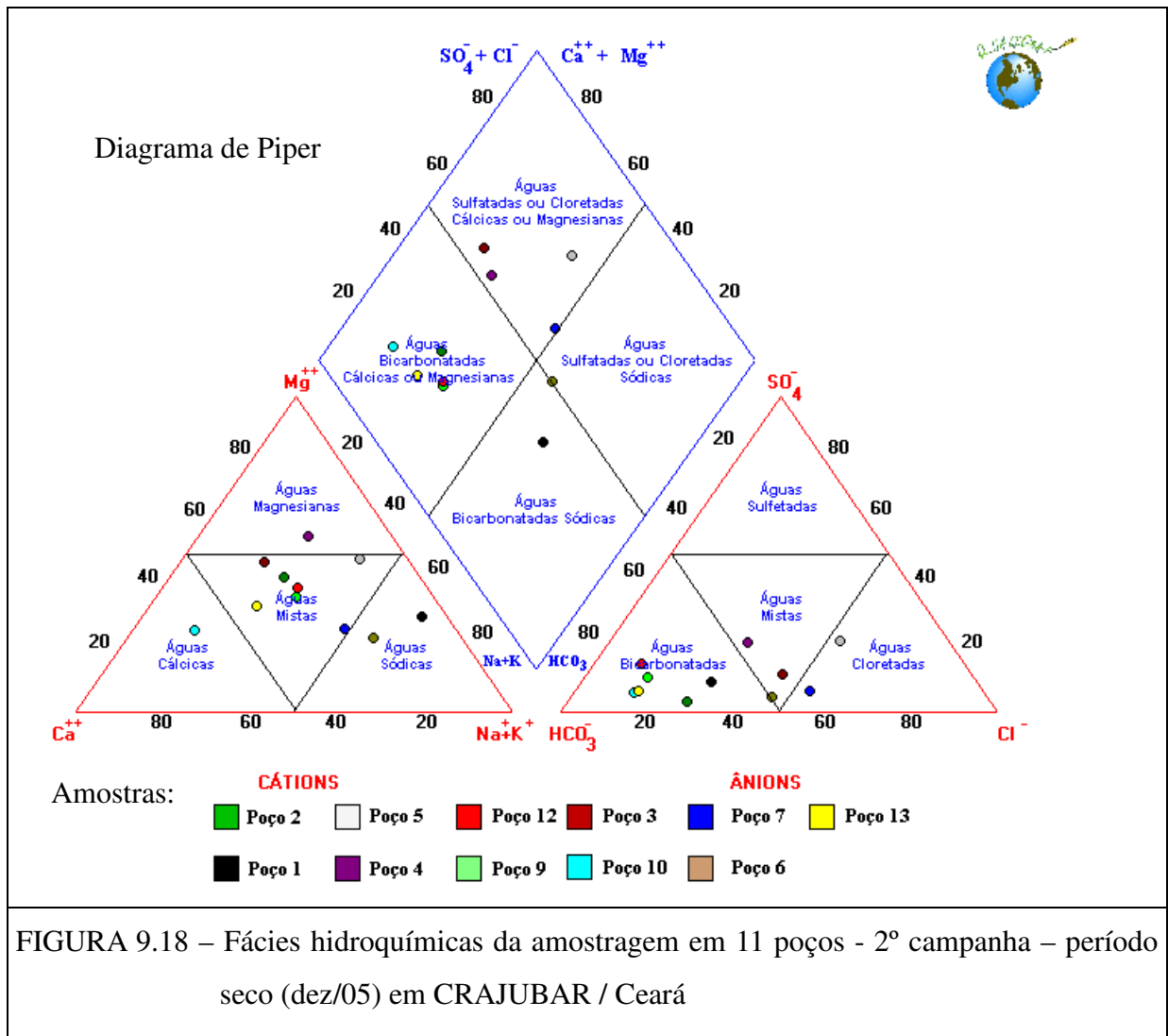
- Relação cátions divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e Na^+

Essa relação pode indicar a presença de água antiga ou moderna (água de recarga), bem como mudanças provocadas por diferentes tipos de rochas percoladas. Ao norte da área no município de Crato, o poço 1 (São Francisco) apresenta águas com carência em cátions divalentes e enriquecimento em Na^+ , indicando uma provável longa evolução geoquímica (água com maior tempo de residência) com pequena contribuição da água de recarga, ou ainda, que estas

águas percolaram em formações diferentes (Mauriti e Brejo Santo) do Sistema Aquífero Médio (o Na+ poderia ser oriundo dos folhelhos).

Ao sul de Barbalha, as águas dos poços 10 e 13 (Mata e Santana) apresentam altas concentrações de cátions divalentes e empobrecimento em Na+, indicando contribuição rápida de água moderna (água de recarga). Os demais poços mantêm uma relação de cátions divalentes e sódio equilibrada.

As Figuras abaixo apresentam duas campanhas uma realizada no período seco (2º campanha) e outra realizada no período chuvoso (3º campanha), mostrando que houve alteração na classificação iônica das águas dos poços 6, 7 e 9 em Juazeiro e no poço 10 em Barbalha. As análises químicas das águas plotadas no Diagrama de Piper na segunda campanha (período de estiagem) classificam as águas em bicarbonatadas (64%), mistas (18%) e cloretadas (18%).



No período chuvoso (3º campanha) observa-se um declínio de valores de bicarbonatado (46%) em relação ao período de estiagem, e o aumento da fácies mista (36%) e cloretada (18%).

As águas bicarbonatadas sódicas (2 amostras) se comportam como anti-ácidos, atuando como neutralizadores da acidez gástrica, e pode também favorecer a ação dos fermentos pancreáticos, portanto, são favoráveis para o tratamento de doenças hepáticas-pancreáticas.

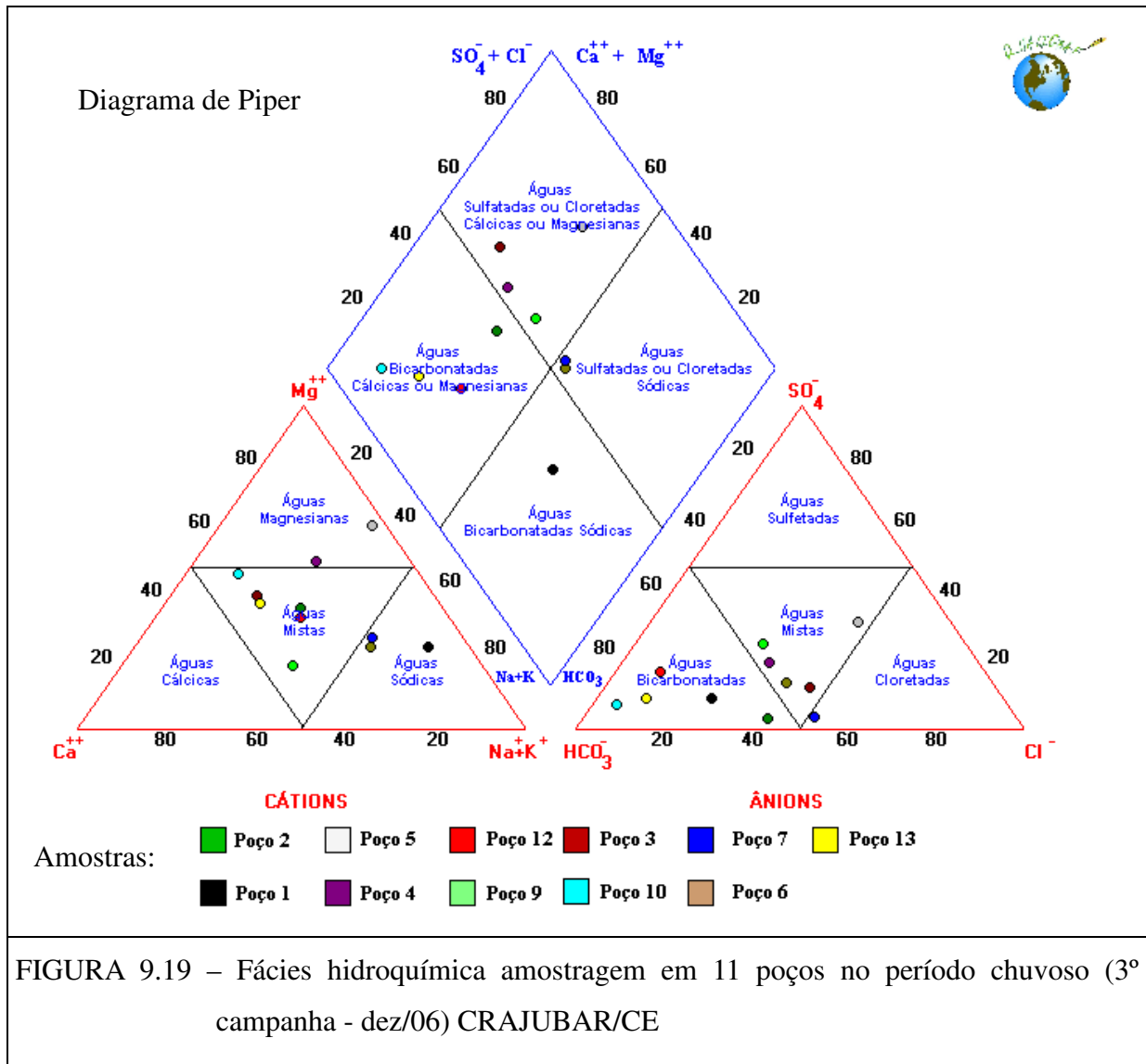
Sua ação alcalinizante da urina pode favorecer a eliminação de sedimentos e pequenos cálculos uréticos, tem também ação benéfica nas alterações intestinais (ARMIJO,1994)

Houve uma amostra classificada como bicarbonatada cálcica. Esta água, via oral comporta-se como anti-ácida no estômago, tendo um menor poder neutralizante da ação gástrica. No intestino, os íons cálcio e magnésio são adsorvidos e localmente exercem efeitos sedantes; no fígado pode facilitar a saúde da biliar no intestino; age no sangue, alcalinizando-o; facilitando as funções digestivas.

São também utilizadas em determinadas alterações metabólicas em particular diabéticas, processos gástricos, infecções no fígado e como cura de vias urinárias, etc.(ARMIJO,1994).

A maioria das amostras, em número de 7, foram classificadas como águas bicarbonatadas mistas, e se caracterizam por conter mais de um cátion com concentrações superiores a 20 % meq/L.

As águas deste tipo, com conteúdo relativamente alto de CO₂, podem ser utilizadas em infecções digestivas, hepáticas e renais, enquanto as hipertermais em processos osteoarticulares, reumatismos crônicos, etc. (ARMIJO, *op.cit*).



9.3 – Aproveitamento e utilização das Águas Subterrâneas

O conjunto de alguns dos elementos que compõem os constituintes químicos das águas subterrâneas permite estabelecer padrões de qualidade, classificando-as, assim, de acordo com seus limites estudados e seus diferentes usos. Aqui serão classificadas as águas com usos para irrigação, indústria e consumo humano.

9.3.1 - Águas Para Agricultura

A qualidade das águas para irrigação depende tanto dos seus constituintes químicos quanto dos efeitos destes sobre a cultura e solo cultivado, a permeabilidade, os tipos de solos, os tipos de cultura a serem implantadas, os métodos de irrigação e outros.

A classificação de águas para irrigação; segundo o diagrama do U.S. Salinity Laboratory, indica que existe uma predominância das classes C₁-S₁ (45,45%) e C₂S₁ (45,45%), ou seja, com baixo risco de sódio e um baixo a médio risco de salinidade (Tabelas 8.10 e 8.11).

Tabela 8.10 - Classificação das águas utilizando o diagrama SAR do U.S. Salinity Laboratory.

Classe	Risco de sódio	Classe	Risco de salinidade
S ₁	Baixo	C ₁	Baixo
S ₂	Médio	C ₂	Médio
S ₃	Alto	C ₃	Alto
S ₄	Muito Alto	C ₄	Muito Alto
		C ₅	Excepcionalmente Alto

O Sistema Aquífero Inferior, representado pelo poço 9, ficou na classe C₃-S₁, baixo risco de sódio e alto risco de salinidade.

A amostra de água oriunda do poço n° 06 que capta água contaminada é a única que difere das demais amostras, sendo classificada como imprestável (C₄S₂) para sua utilização na agricultura (Tabela 9.11).

Tabela 9.11 -Classes USSL dos 11 poços monitorados

Classificação	Nº de Amostras	%
C ₃ -S ₁	1	8
C ₁ -S ₁	5	42
C ₂ -S ₁	5	42
C ₄ -S ₂	1	8
Total	12	100

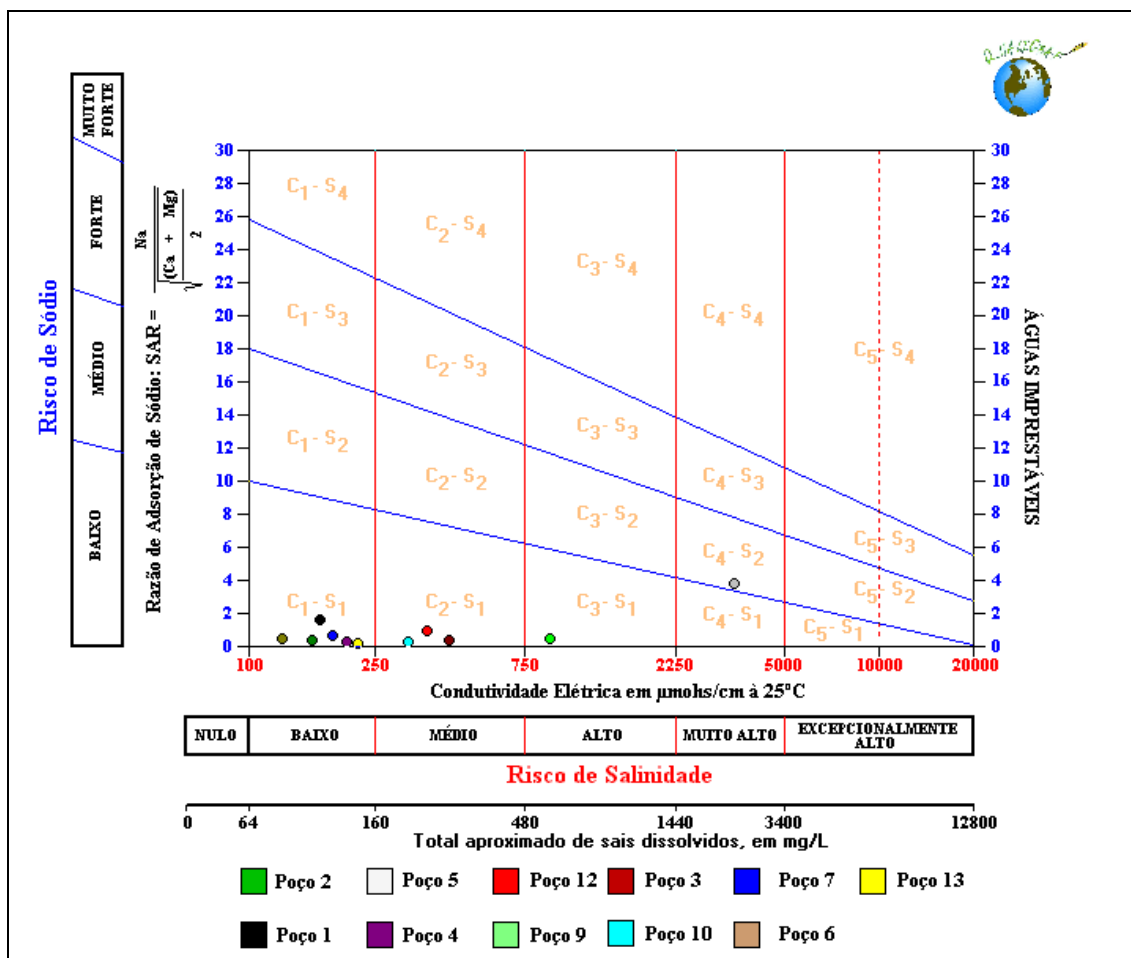


FIGURA 9.20 - Diagrama SAR, utilizadas para a classificação das águas para agricultura em CRAJUBAR/Ceará

9.3.2 - Consumo Humano

As propriedades físico-químicas permitem a análise da água do ponto de vista qualitativo definida nas suas propriedades indispensáveis a nossa saúde e bem estar, e pode também, indicar águas poluídas quando esses parâmetros estão em desacordo com os VMP da Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Para a verificação sobre a potabilidade da água subterrânea na área em questão, foram utilizados diversos parâmetros físico-químicos, tais como, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica (CE), cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos.

De acordo com os padrões de potabilidade adotados pela Portaria 518/04 MS, pode-se observar que as águas subterrâneas analisadas dessa região são basicamente potáveis, a

exceção do poço nº 06 - Santo Antonio comprometido pela contaminação por efluentes líquidos oriundos da lavagem de utensílios domésticos e roupas.

As águas estudadas apresentam-se, no geral, adequadas ao consumo humano com relação aos aspectos físico-químicos, o pH encontra-se com valores abaixo de 8, sendo o maior valor para as águas do poço nº 12 (pH 7,45), e apenas as águas dos poços 1,2,4 e 7 apresentam-se com pH abaixo de 6,5 e, portanto, fora dos valores recomendados pela Portaria 518/04 (6,5 a 9).

Em termos bacteriológicos foi encontrado um elevado percentual (62%) de amostras com presença de coliformes, indicando água imprópria para consumo humano, portanto, fora dos padrões de potabilidade que recomenda a ausência de bactérias em 100 ml de água.

Quanto a salinidade, 100% estão dentro dos padrões de potabilidade (com os valores obtidos nas 1.000 mg/L) com uma média de 193,46 mg/L de STD, variando entre o mínimo de 92 e o máximo de 341,96 mg/L.

Segundo o Diagrama de Schoeller & Berkaloff (Figura 8.44), verifica-se que com exceção do poço 6 (Santo Antônio) que encontra-se contaminado, apresentando restrições para o consumo humano em relação a dureza, sódio, cloretos, sulfato e STD, todas as outras amostras possuem boa potabilidade.

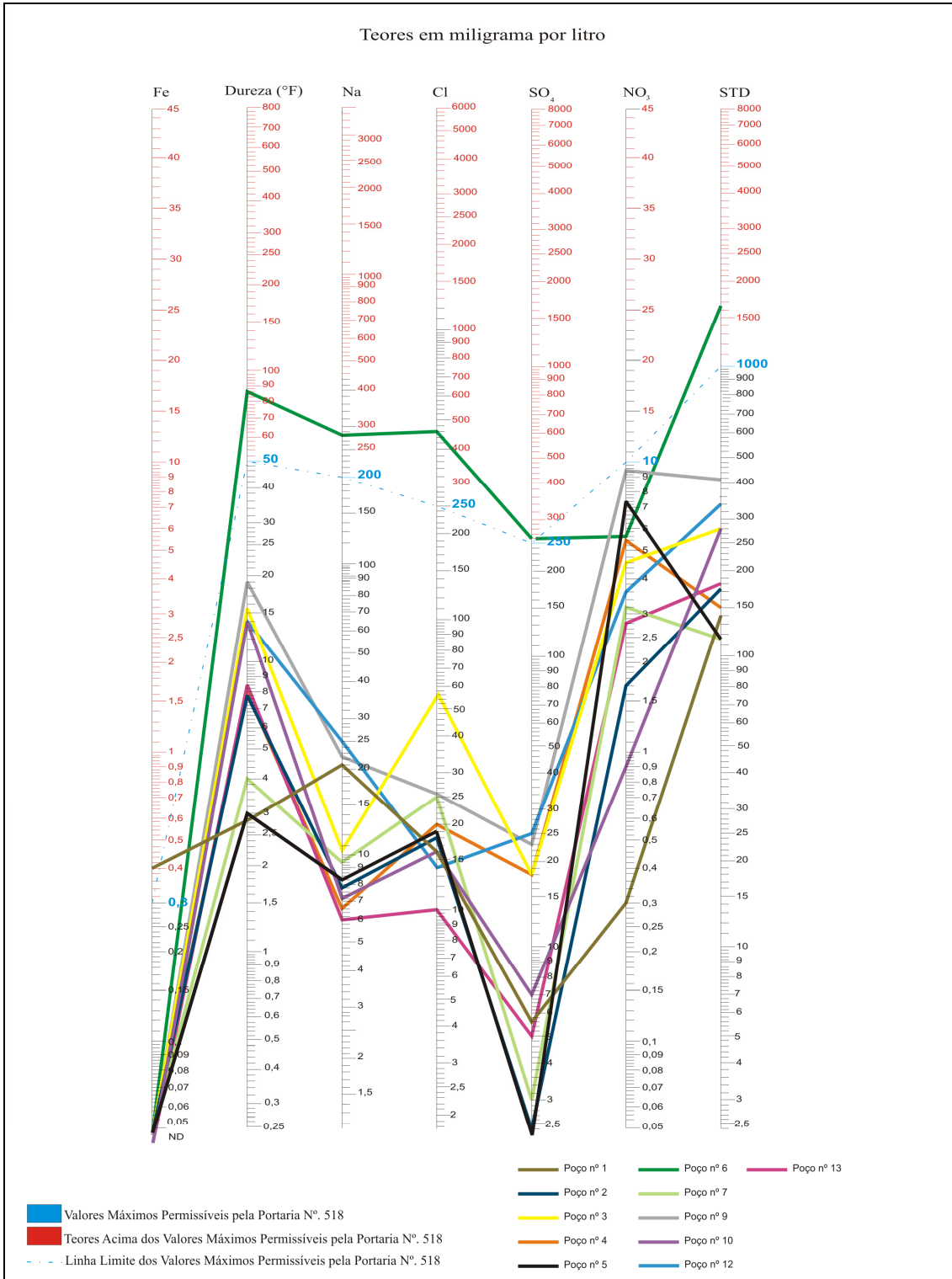


Diagrama de Schoeller & Berkloff

FIGURA 9.21 – Poços localizados em CRAJUBAR/CE

9.3.3- Uso industrial

Os padrões da água para fins industriais são complexos em função da diversidade de uso da água, pois dependem do tipo da indústria e dos processos de industrialização, gerando necessidades diferentes de qualidade de água para cada uso (Feitosa & Manoel Filho, 2000), representados na Tabela 8.12.

Tabela 9.12 – Critérios de qualidade de água para indústria,

Parâmetro	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	-	-	-	7,5	-	6,5 - 7	-	8	-	-
	mg.L ⁻¹									
Dureza	CaCO ₃	50	180	50 - 80	30 a 100	50 - 75	25	50	50	100
	mg.L ⁻¹									
Alcalinidade	CaCO ₃	-	-	80 - 150			128	135		
	mg.L ⁻¹									
Cálcio	mg.L ⁻¹	-	-	500	20	200	-	-	10	-
Cloretos	mg.L ⁻¹	-	30	-	20	100	250	-	100	75
Ferro	mg.L ⁻¹	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	0,1
Manganês	mg.L ⁻¹	0,5	0,1	0,2	-	0,1	0,2	0,2	0,25	0,15
R.S	mg.L ⁻¹	-	500	850	-	1000	850	-	-	200
Nitrato	mg.L ⁻¹	-	30	15	-	10	-	-	-	-
Amônia	mg.L ⁻¹	-	traços	0,5	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg.L ⁻¹	-	60	-	20	-	250	-	100	-
Fluoretos	mg.L ⁻¹	-	-	1	-	10	1	-	-	-
Magnésio	mg.L ⁻¹	-	-	-	10	30	-	-	-	-

1. Águas de Refrigeração

2. Indústria de Laticínios

3. Indústria de Conservas Alimentícias

4. Indústria Açucareira

5. Cervejaria

6. Indústria de Bebidas de Suco de Frutas

7. Curtume

8. Indústria Têxtil

9. Indústria de Papel

Fonte: Mathess (1982), Szikszay (1993) e Driscoll (1986).

Para uma visualização das condições das águas amostradas na área em relação a sua qualidade para as indústrias de consumo rápido, e que são utilizados para consumo (ingestão) humano,

10 – DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA

A saúde e as doenças possuem uma relação direta com a água, pois todo micróbio (germe) vive perfeitamente na água e se multiplica, por isso é que ela se contamina com facilidade e se torna veículo de tantas doenças.

O consumo de uma água saudável é fundamental à manutenção de um bom estado de saúde. Existem estimativas da Organização Mundial de Saúde (OMS) de que cerca de 5 milhões de crianças morrem todos os anos por diarreia, e estas crianças habitam de modo geral os países do terceiro mundo. Antes de combater o efeito das doenças, se deveria encontrar a causa, agindo de maneira preventiva.

A contribuição das Ciências Geológicas no campo dos problemas de saúde não se limita à Geoquímica, alcançando também outras áreas, principalmente a Mineralogia, a Geomorfologia e a Hidrogeologia. Os perfis dos solos e as composições químicas dos solos e das águas são controlados pela mineralogia das rochas e dos sedimentos, afetados pelo intemperismo, pelos escorregamentos por gravidade, além dos efeitos erosivos de água corrente e ventos, dependendo, portanto, de interações entre a água, as rochas e os minerais (CORTECCI, 2005).

A Organização Mundial de Saúde definiu, em 1946, que saúde significa “um completo bem estar físico, mental e social e não meramente a ausência de doença ou enfermidade”.

Convém lembrar que as águas subterrâneas disponíveis para consumo humano tendem a exaustão devido à degradação antrópica da qualidade das águas, bem como práticas incorretas de construções de poços tubulares. O controle da poluição das águas está diretamente relacionado com a proteção da saúde e o bem-estar humano, garantindo o meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida.

Nem todos e nem só os elementos traços são essenciais para a vida, mas sem dúvida são mais numerosos e, em situações, alguns podem ser mais importantes que os elementos mais comuns. Considerando as necessidades vitais, os elementos podem ser divididos em macronutrientes essenciais (~100 mg/dia: Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S) e micronutrientes essenciais (10 mg/dia: Cr, Co, Cu, F, I, Fe, Mn, Mo, Se, Zn, e possivelmente Ni, Si, Sn, V).

Assim se contrapõem elementos maiores e traços, devendo-se ter cautela nas definições de necessidades e de caracterizações de toxicidade. Conforme Paracelso (1493-1541): “Todas as coisas são venenosas e nada é venenoso; é só uma questão de dosagem” (CORTECCI, 2005).

10.1 - Contaminação da Água e a Saúde Humana

Um conceito muito importante sob o ponto de vista de saúde pública é o da toxidez. É importante assinalar que, a presença de determinados produtos tóxicos na água somente é perceptível a olho nu a partir de uma determinada concentração.

Em pequenas doses, esses produtos tóxicos podem mesmo ser úteis. É o caso, por exemplo do selênio e do flúor, este último atuando, em pequenas dosagens, como protetor dos dentes, podendo, no entanto, responder pela chamada fluorose dentária quando presente em condições de elevada concentração.

A manifestação da toxicidade pode ser: aguda, quando causa a mortalidade, sub-aguda, sob a qual uma proporção da população pode subsistir; e crônica, causada por doses fracas de produtos tóxicos na água, porém durante longos períodos. É o caso da fluorose, por exemplo. Os tóxicos provocam nos seres humanos certas alterações as quais podem ser agrupadas da forma seguinte:

- Efeitos somáticos: são alterações das funções vegetativas, como a condução nervosa (neuro tóxicos, inseticidas por exemplo), a função respiratória e as funções de desintoxicação, cumprida pelos rins e pelo fígado.
- Efeitos sobre a capacidade reprodutiva: são alterações das funções de reprodução e da descendência em virtude da ação de determinados tipos de agentes tóxicos. Tais efeitos podem se apresentar sob a forma de esterilização ou modificação do potencial biótico da espécie, ou ainda sob a forma dos chamados efeitos tetratógenos, referidos a deformações congênitas.
- Efeitos Oncogênicos: são os efeitos causados por substâncias cancerígenas, que provocam ou favorecem o aparecimento de um ou mais tipos de câncer.

Os riscos à saúde, associados à água, podem ser de curto prazo quando resultam da poluição de água causada por elementos microbiológicos ou químicos, ou de médio e longo prazos quando resultam do consumo regular e contínuo, durante meses ou anos, de água contaminada com produtos químicos, como certos metais ou pesticidas.

10.2 - Doenças Relacionadas com a Água

A organização e classificação são características do ser humano do ponto de vista científico, são ações fundamentais para facilitar o entendimento e permitir uma simplificação teórica dos complexos processos naturais. O estudo da origem e veiculação das doenças de origem hídrica é um exemplo de tal complexidade, para o qual as primeiras tentativas de organização remontam a mais de um século (HALL, 1859). Organizar as centenas de constituintes químicos existentes no mundo é fundamental para que seja possível entender os processos envolvidos em suas gêneses e a influência destes na distribuição dos recursos naturais.

A qualidade da água, por si só (em particular a qualidade microbiológica da água), tem uma grande influência sobre a saúde. Se não for adequada, pode ocasionar surtos de doenças e causar sérias epidemias.

Várias doenças podem ser provocadas pelo consumo de águas com algum tipo organismo (micróbio) e/ou de impurezas (concentrações de substâncias iônicas superiores aos padrões de potabilidade e produtos químicos). O Quadro 10.1 indica as principais origens das impurezas nas águas e os tipos de impurezas geradas

Quadro 10.1 – Origens das impurezas nas águas

Origens das impurezas	Tipos de impurezas
Contato da água com os minerais do solo e rochas	Ocorre naturalmente e dependendo do litotipo gera nas águas determinadas substâncias químicas em concentrações, em geral superiores às especificações dos VMP, como por exemplo concentrações superiores de cálcio, ferro, fosfato, sódio, zinco manganês, flúor, bicarbonatos, carbonatos, nitratos, silicatos, sulfatos e magnésio, entre outros.
Decomposição de matéria orgânica	Gerando impurezas como amônia, nitratos, nitritos, cloretos, sulfitos, hidrogênio, sódio, radicais orgânicos e etc.
Organismos vivos	Ocasionalmente contaminação por excretas humanas e animais, por meio de bactérias, vírus, fungos, helmintos, vermes (amebas, giárdias) e protozoários.
Fontes antropogênicas	Principal gerador de impurezas nas águas, gerando uma grande variedade de produtos químicos (íons inorgânicos, metais pesados e moléculas orgânicas) derivados dos mais diversos fins como indústrias, postos de combustíveis e etc.

Obs: VMP (valor máximo permitido)

Neste trabalho são estudados as doenças relacionadas diretamente com a água (*water-borne diseases*), ou seja, através do consumo. As doenças ocasionadas pelo consumo de águas poluídas podem ser de origem ou de veiculação hídrica.

Doenças de veiculação hídrica são aquelas em que a água atua como veículo de agente infeccioso, como exemplo os microorganismos patogênicos (bactérias, vírus, fungos, helmintos, vermes e protozoários) que atingem as águas através de excretas (fezes e urinas) humanas ou animais, causando problemas principalmente no aparelho intestinal.

O consumo da água inclui aquela tratada e distribuída à população através de tubulações bem como a água subterrânea extraída do aquífero através de poços rasos (cacimba, por exemplo) e consumida sem tratamento.

10.3 - Doenças de Origem Hídrica

Apesar do aumento de evidências acerca dos efeitos nocivos à saúde provenientes do uso de água fora dos padrões adequados de potabilidade, os danos à saúde decorrentes do consumo de água contaminada são difíceis de serem avaliados e mensurados adequadamente.

Os aspectos envolvidos nessa relação são múltiplos e nem sempre se baseiam em associações diretas. Fatores como estado nutricional, acesso aos serviços de saúde e à informação podem interferir nessa associação. Além disso, fatores individuais também podem estabelecer diferentes respostas ao contato com água contaminada.

10.3.1 - Doenças Cardiovasculares

São doenças que podem ser provocadas pelo consumo de águas duras, ou seja, águas ricas em sódio, cálcio e magnésio.

Segundo Cortecci (2002), existe uma relação extraordinária entre a dureza das águas (controlada essencialmente por cálcio e magnésio) e a incidência de doenças cardiovasculares foi considerada em base a uma correlação negativa, ainda que fraca, entre esses dois parâmetros, em várias regiões do mundo industrializado e não industrializado.

O elemento responsável por essa relação de acordo com Cortecci (Op. Cit.) deve ser o magnésio, que nas águas examinadas estava presente em mais de 10%. Além disso, o teor de magnésio no miocárdio de pacientes mortos por enfarto e que em vida haviam bebido água relativamente leve, resultou ser, na média, 6% mais baixo, que nos pacientes enfartados que em vida haviam consumido água relativamente dura.

Por fim, pacientes mortos por enfarto apresentaram teores de magnésio nos tecidos cardíacos estatisticamente menores que pacientes mortos por outras causas. De qualquer forma, é possível que haja outros fatores de controle, como a relação Mg/Ca na água e/ou um maior

conteúdo de elementos traços benéficos em águas duras, em relação a águas leves. Nem sempre as relações são lineares, sendo sugerido que a alimentação, o fumar e os exercícios físicos podem ser igualmente, ou mesmo mais importantes, que a dureza da água na sintomatologia cardiovascular.

O município de Barbalha concentra as maiores taxas de mortalidade de doença isquêmica (supressão da circulação sanguínea no coração) do coração com 64,4 casos entre 2003 e 2004 com uma média anual de 32,2 (Tabela 10.1), valor alto comparando com Fortaleza que apresenta média de 18,8 casos, bem como a maior taxa de internações por insuficiência cardíaca congestiva em pessoas com idade igual ou abaixo de 40 anos por 10.000 habitantes (Tabela 11.2). Essa média elevada pode esta associada aos altos valores de cálcio (média de 22 mg/L) e magnésio (17 mg/L).

Tabela 10.1 – Taxa de mortalidade de doença isquêmica do coração em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Taxa de mortalidade de doença isquêmica		
	2003	2004	total
Crato	29,4	24,8	34,4
Juazeiro do Norte	20,5	24,1	43,9
Barbalha	38,2	26,2	64,4
Total	88,1	75,1	113,3

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

A taxa de internações por insuficiência cardíaca congestiva em pessoas com idade igual ou abaixo de 40 anos por 10.000 habitantes, leva em conta o universo das internações hospitalares na rede SUS, no numerador sendo e a população no denominador.

Tabela 10.2 – Taxa de internações por insuficiência cardíaca congestiva em pessoas com idade igual ou abaixo de 40 anos por 10.000 habitantes em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Taxa de internações por insuficiência cardíaca congestiva			
	2003	2004	Total	média
Crato	143,4	155,1	298,5	149,25
Juazeiro do Norte	127,9	73,5	201,4	100,7
Barbalha	180,0	165,7	345,7	172,8
Total	451,3	394,3	845,6	140,91

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

10.3.1 - Doenças Carcinogênicas

Depois das doenças cardiovasculares, o câncer representa a maior patologia em crescimento na sociedade industrializada. As pesquisas sobre o câncer baseiam-se essencialmente em hipóteses que consideram que todas as formas de carcinoma são causadas (até prova contrária) por fatores ambientais.

As doenças carcinogênicas que podem ser ocasionadas por águas contaminadas atacam principalmente o estômago, esôfago, gastrite, fígado, rins (magnésio).

As substâncias carcinogênicas são aquelas que, em qualquer concentração, podem desencadear processos de câncer. A EPA – Agência de Proteção Ambiental / USA utiliza uma faixa de nível de risco aceitável que varia entre um caso adicional de câncer a cada 10.000 pessoas (10^4) e um caso adicional de câncer a cada 1.000.000 (10^6) (CETESB, 2001).

Dessa forma, o geoquímico tem importante papel na etiologia do câncer. Menciona-se apenas os efeitos carcinogênicos no estômago e esôfago das concentrações excessivas de nitratos em águas contaminadas por restos orgânicos animais e por fertilizantes (CORTECCI, 2002).

Durante o tratamento de água, por processo de cloração, e dependendo da qualidade da água pode-se formar uma ampla gama de compostos orgânicos (trihalometanos), dentre eles o clorofórmio que provoca câncer em animais, sendo considerado potencialmente cancerígeno ao ser humano, faltando ainda evidências conclusivas (CETESB, 2001).

- Nitrogênio e Aspectos Cancerígenos

Entre os constituintes inorgânicos nocivos à saúde que podem ser encontrados na água, o nitrato é aquele que apresenta ocorrência mais generalizada e problemática devido a sua alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas (FOSTER, 1993). Nitrato em concentração superior a 10mg NO³-N/L causa a metahemoglobinemia, podendo trazer graves conseqüências para a saúde, inclusive morte, principalmente em lactentes (OPS, 2000).

Das principais fontes de poluição das águas usadas para consumo humano destacam-se os resíduos orgânicos de origens humana e animal contendo nitrogênio, que as deterioram fortemente, tanto em superfície quanto em subsolo, criando sérios problemas de saúde. Nesse contexto, os fertilizantes nitrogenados com NH³, NH⁴NO³, (NH⁴).2HP2O⁵ e (NH²).2CO, têm papel proeminente. No solo o íon amônia (NH⁴⁺) é retido por adsorção por minerais silicáticos, enquanto o íon nitrato (NO³⁻) torna-se inteiramente solúvel na água intersticial e abundantemente disponível para plantas e culturas. A dependência de fatores geoquímicos dos nitritos e nitratos na água é muito limitada. Embora o íon nitrato seja notoriamente pouco tóxico ao homem, ele pode ser reduzido no organismo (no estômago, intestino ou fígado) a íons nitritos, com efeitos negativos para a saúde, causando problemas de metemoglobinemia em crianças (oxidação do ferro II da hemoglobina a ferro III e, conseqüentemente, ao grave problema de hipo-oxigenação do sangue). O valor fixado pela WHO (*World Health Organization*) para NO³—N na água potável é de 10 mg/L. No corpo humano, o íon NO²⁻ pode reagir com substâncias como as aminas, resultando em nitrosoamina, a qual foi reconhecida em experimentos de laboratório com animais como agente cancerígeno potencial.

Não se pode concluir por conexão direta com o câncer humano, mesmo com a observação numa série de pesquisas epidemiológicas de correlações positivas entre concentrações de nitrato em águas e câncer do estômago, esôfago, bem como por outros elementos provocando câncer nos rins (magnésio), tumores no pulmão (cromo), oclusões coronárias, artrite reumatóide (manganês), sistema nervoso (pesticidas), abortos espontâneo (trialhometanos pelo consumo de águas cloradas).

Tabela 10.3 – Taxa de mortalidade de câncer de estômago em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Taxa de mortalidade de câncer de estômago			
	2003	2004	total	média
Crato	7,3	8,3	15,6	7,8
Juazeiro do Norte	3,6	8,9	12,5	6,3
Barbalha	8,1	10,1	18,2	9,1
Total	19	35,4	46,3	7,7

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

10.4 – Doenças de Veiculação Hídrica

O consumo de água contaminada por agentes biológicos ou físico-químicos tem sido associado a diversos problemas de saúde. Algumas epidemias de doenças gastrointestinais, por exemplo, têm como fonte de infecção a água contaminada. Essas infecções representam causa de elevada taxa de mortalidade em indivíduos com baixa resistência, atingindo especialmente idosos e crianças menores de cinco anos (OPS, 2000).

Uma grande variedade de microrganismos patogênicos pode ser encontrada em excrementos de seres humanos e de outros animais de sangue quente. Por isso, a contaminação de águas por fezes é uma das formas mais importantes de introdução de microorganismos patogênicos nas águas.

Esgotos urbanos e industriais e águas de escoamento superficial de áreas habitadas (urbana e rural) são exemplos importantes de veículos carreadores de patógenos para as águas subterrâneas. As duas grandes categorias de doenças microbianas são:

- Intoxicação causada por toxinas produzidas por microrganismos, sendo a toxina a responsável pelos sintomas clínicos, e;
- Infecção causadas pela multiplicação de microrganismos dentro do organismos.

10.4.1 - Tipos de organismos causadores de doenças

Gerba et al. (1975) observaram que o deslocamento de bactérias e vírus no solo dependem fundamentalmente da composição e pH do solo, da intensidade das chuvas, da carga

hidráulica no solo, da quantidade de matéria orgânica solúvel e da presença de cátions. De um modo geral esses microorganismos patogênicos podem ser agrupados como:

- Vírus (vírus da hepatite e rotavirus);
- Bactérias (salmonela e vibrião da cólera);
- Protozoários (ameba e giárdia);
- Helmintos (vermes parasitas: tênia, esquitossoma, etc).

O Quadro 10.1 mostra as principais doenças de veiculação hídrica, tendo como agente causal a ingestão de água contaminada.

Quadro 10.1 –Doenças causadas pelo consumo de água contaminada por excretos humanos ou animais (bactérias, protozoários e vírus

	Doença	Agente causal	Sintomas
Bactéria	Febre tifóide	<i>Salmonella typhi</i>	Febre elevada, diarreia, ulceração do intestino delgado
	Disenteria bacilar	Bacilo disentérico	Forte diarreia
	Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarreia extremamente forte, desidratação, alta taxa de mortalidade
	Diarreia	<i>Escherichia coli</i>	
	Leptospirose	<i>Leptospira interrogans</i>	Icterícia, febre
	Salmonelose	<i>Salmonella</i>	Febre, náusea, diarreia
Protozoários	Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia prolongada, com sangramento, abscessos no fígado e intestino fino
	Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia leve a forte, náusea, indigestão, flatulência
Vírus	Hepatite infecciosa	Vírus da hepatite A	Icterícia, febre
	Gastroenterite	Enterovírus, parvovírus, rotavírus	Diarreia leve a forte
	Paralisia infantil	<i>Poliomielites vírus</i>	Paralisia

Fonte: Modificado de Bolívar,2001.

▪ VÍRUS

Lewis et al. (1980) mostram que mais de cem tipos de vírus já foram isolados dos excrementos fecais. Dentre eles temos os entéricos e se incluem os enterovirus verdadeiros, assim como o agente da hepatite infecciosa, que podem chegar aos níveis freáticos pela percolação de efluentes de fossas; segundo os mesmos autores, ao contrário dos vírus, as bactérias são capazes de se multiplicar fora de seus hospedeiros.

Conhecer a zona não saturada do solo é de máxima importância, pois esta representa a mais importante fronteira de defesa contra a poluição fecal dos aquíferos, e a maximização do tempo de permanência do efluente na zona não saturada constitui-se no fator chave que afeta a remoção e eliminação de bactérias e vírus. Também a acidez dos solos é fator de baixa sobrevivência dos mesmos, juntamente com as altas temperaturas (LEWIS,1986).

Inúmeros vírus podem infectar o trato intestinal e serem eliminados através das fezes para o meio ambiente, levando a infectar um humano através da ingestão, vetor ou inalação. Um grama de fezes humanas pode conter 10^9 vírus infecciosos independentes em um indivíduo doente. Embora não possam se multiplicar no meio ambiente, o vírus excretado pode sobreviver por muitas semanas, especialmente a baixas temperaturas ($< 15^\circ \text{C}$). Concentrações de 10^5 vírus infecciosos por litro de esgoto são encontrados normalmente em esgotos brutos, como também são facilmente isolados de solo e águas naturais que tenham sido expostas a descargas de esgotos. Cinco grupos de vírus patogênicos são particularmente importantes: *Adenovírus*, *enterovírus*, *vírus da hepatite A*, *reovírus* e as viroses causadoras de diarreias (ROQUE, 1997).

A radiação solar, a predação e a competição minimizam de forma efetiva as possibilidades de infecção dos vírus após a aplicação ao solo. Os vírus são provenientes dos excrementos fecais na maioria das vezes de efluentes de esgotos, ocasionando principalmente hepatite e a póliomelite (paralisia infantil).

▪ BACTÉRIAS, HELMINTOS E PROTOZOÁRIOS

As bactérias e protozoários são organismos unicelulares de várias formas e tamanhos. Os helmintos são animais superiores, são vermes parasitas.

Dentre os helmintos (parasitas) que podem ser ingeridos através da água, destacam-se a *Entamoeba histolytica*, causadora da amebíase, em alguns casos com complicações hepáticas.

Atacam principalmente em locais onde não existe saneamento básico provocando na população ascariadise (lombriga) ancilostomíase (amarelão).

Tabela 10.4 – Mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Mortalidade proporcional por doenças infecciosas e parasitárias			
	2003	2004	total	média
Crato	8,0	10,3	18,3	9,1
Juazeiro do Norte	7,7	5,4	13,1	6,5
Barbalha	6,6	9,3	15,9	7,9
Total	22,3	25	47,3	7,8

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005a

A água de má qualidade gera altos índices de doenças infecciosas, como esquistossomose, dengue, febre amarela e malária, doenças de pele e doenças diarréicas, cólera e febre tifóide (Tabela 10.5).

Tabela 10.5 – Número de caso de doenças e mortes provocados por ingestão de água contaminada no mundo

Doenças	Número por ano (1993)	
	Casos de doenças	Mortes
Cólera	297.000	4.971
Febre tifóide	500.000	25.000
Giardíase	500.000	Baixo
Amebíase	48.000.000	110.000
Doenças diarréicas (idade < ou igual 5 anos)	1.600.000.000	3.200.000
Esquistossomose	200.000.000	200.000

Fonte: Hespagnol (2005)

Conforme dados do WDR (1993), a maior incidência em doenças de veiculação hídrica esta localizada na África, seguido pela Índia e Oriente Médio e os menores índices em países industrializados e na Europa.

Tabela 10.6 – Problemas de algumas das doenças de veiculação hídrica em escala global (1990)

Doenças de veiculação hídrica, incluindo doenças decorrentes da falta de higiene							
Região	África sub-saariana	Índia	América Latina e Caribe	Oriente Médio	Países Industrializados	China	Europa Oriental
Pop.(milhão)	510	850	444	503	798	1.134	346
Diarréia	303,5	280,3	58,9	154,0	2,4	42,4	2,2
Pólio	14,3	18,4	2,3	6,7	0,1	2,3	0,1
Hepatite	2,4	3,1	1,6	1,8	0,7	6,7	0,4
Ascaríase	9,0	11,7	13,5	5,0	0,1	38,6	0,1
“Amarelão”	1,0	4,0	1,4	0,4	0,1	1,9	0,1

Fonte: WDR, 1993; The World Bank. In Tundisi, 2003

10.4.2.1 - Doenças Gastrointestinais (Diarréias)

As águas poluídas por efluentes oriundos de resíduos humanos e de animais transportam bactérias, vírus, protozoários ou organismos multicelulares que podem causar várias doenças.

A diarréia, em si, não é uma doença, porém é uma manifestação comum a várias condições clínicas, relacionada com a falta de saneamento, por isso é usada como indicador de contaminação de microorganismos patogênicos que invadem a mucosa intestinal, podendo ser ocasionadas por bactérias (desintérias), protozoários (disenteria amebiana) e vírus (gastroenterite).

O uso continuado de uma água contaminada por germes fecais, por ingestão direta e indireta (preparo de alimentos) e até mesmo na higiene pessoal, irá sobrecarregar o organismo, que ao longo prazo trará conseqüências drásticas como o envelhecimento precoce, redução do período de vida, perda da perfeita rigidez, má qualidade de vida (cansaço, indisposições, irritabilidade) e nas crianças acarretará em um subdesenvolvimento físico e mental (BIASOLI, 1998)

Por isso, é de grande importância que exames bacteriológicos, ou no mínimo um exame de nitrato, pois a maior parte das bactérias patológicas são formadoras de nitratos e, portanto, o “índice de nitrato” na água, fornece uma provável contaminação bacteriana.

Em CRAJUBAR, as doenças diarréicas podem está associadas pela falta de saneamento básico, higiene e pelo consumo de água contaminada por organismos patogênicos, tendo sido uma das causas principais de mortalidade infantil por 1.000 nascidos vivos durante os anos de 2003 e 2004 ocorreram 34,4 casos em Crato, 43,9 em Juazeiro do Norte e 35 casos em Barbalha.

Tabela 10.7– Taxa de mortalidade infantil por 1.000 nascidos vivos em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Taxa de mortalidade infantil por 1.000 nascidos vivos		
	2003	2004	total
Crato	17,7	16,7	34,4
Juazeiro do Norte	24,4	19,5	43,9
Barbalha	18,2	16,8	35,0
Total	60,3	53	113,4

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

Nos anos de 2003 e 2004 ocorreram em CRAJUBAR 262,7 casos de diarréia em crianças com idade inferior a cinco anos, com média de 131 casos por ano; o índice de diarréia aguda é predominante, no município de Juazeiro do Norte (39%) e menor em Crato (30%) (Tabela 10.8). Taxas elevadas são indicativas de insatisfatórias condições socioeconômicas e de saneamento.

Tabela 10.8 – Casos de diarreias em crianças menores de 5 anos por 1.000 habitantes em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Casos de diarreias (crianças menores que 5 anos)		
	2003	2004	total
Crato	49,7	63,7	113,4
Juazeiro do Norte	34,2	21,1	55,3
Barbalha	51,4	42,6	94
Total	135,3	127,4	262,7

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

10.4.2.2 - Hepatite

A hepatite é ocasionada por vírus e está associada a falta de higiene, por meio de contaminação de alimentos e água que contenha o vírus. Hepatite é uma doença em que o fígado é o alvo primário e responsável pelas manifestações principais da doença (ROUQUARYOL, 1996).

Registrou-se em CRAJUBAR um aumento de casos de hepatite do ano de 2003 para 2004, passando de apenas 1 caso para 65 em Crato e de 7 casos para 12 em Barbalha. Em Juazeiro do Norte houve uma diminuição dos casos passando de 16 para 11.

Tabela 10.9 – Casos de hepatite em CRAJUBAR/ Ceará (2003/2004)

Municípios	Nº total de casos de hepatite		
	2003	2004	total
Crato	1	65	65
Juazeiro do Norte	16	11	27
Barbalha	7	12	19
Total	24	88	112

Fonte: SESA (Secretária de Saúde) – 2005

11 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho foi realizado na porção oriental da Bacia Sedimentar do Araripe, em uma área de 456 km², na localidade denominada CRAJUBAR, distribuída entre os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha/CE.

Foi realizado um cadastro dos casos de mortalidade por doenças de origem hídrica como doença isquêmica do coração (113,3 pessoas no período de 2003 a 2004), internações por insuficiência cardíaca congestiva (845,6 casos no período de 2003 a 2004), doenças carcinógenas, mortalidade por câncer de estômago (46,3 casos no período de 2003 a 2004) e uma avaliação das doenças de veiculação hídrica ocorridos na localidade, onde se constata que a falta de saneamento básico tem colaborado para um aumento crescente de diversas doenças tais como; hepatite A, diarreias agudas, cólera, dengue, bem como, o aumento nos número de mortalidade infantil em decorrência das doenças infecto-contagiosas de veiculação e origem hídrica.

Para o entendimento da qualidade das águas subterrâneas foram coletadas águas de onze (11) poços distribuídos por toda região, durante quatro (4) campanhas, sendo efetuadas análises físico-químicas dos cátions (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} e K^{+}) e dos ânions (Cl^{-} , SO_4^{-} , HCO_3^{-} e NO_3^{-}), além de pH, SiO_2 e CaCO_3 , condutividade elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Se verificou que em relação aos cátions, os mesmos encontram-se dentro dos padrões permitido pelo Ministério da Saúde. Já para os ânions, observa-se que em 20% das amostras, os valores de nitrato superam em até 70% o valor máximo permitido pela portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

As águas apresentam baixos valores de condutividade elétrica (média de 284uS), 87% possuem pH ácido, 42% são consideradas águas duras e, em geral todas as variáveis físico e químicas estudadas encontram-se dentro os padrões de potabilidade segundo o Ministério da Saúde do Brasil. Durante os meses de estiagem (julho a dezembro) foram notados os maiores valores de níveis estáticos, com recuperações nos meses mais chuvosos (abril). No período chuvoso observa-se um declínio de valores de bicarbonatado (46%) em relação ao período de estiagem, e o aumento de fácies mista (36%) e cloretada (18%).

O resultado bacteriológico mostra que 62% das águas analisadas são impróprias, para o consumo, isto se deve a presença em níveis muito elevados de contaminação por coliformes fecais e termotolerantes atingindo valores que chegam a 2.419 (NMP/ml) e 185,8 (NMP/ml) respectivamente, indicativas de poluição por fezes ou esgotos, resultado da disposição direta nos recursos hídricos, tendo como consequência o risco de contaminação por microorganismos patogênicos de veiculação hídrica. A falta de uma política habitacional associada, a falta de investimentos em saneamento básico e na saúde, tem proporcionado ao longo dos últimos anos, um aumento significativo no número de casos de doenças de veiculação hídrica.

Foram avaliados os parâmetros hidrodinâmicos, a partir, dos dados de 1.114 poços, sendo constatado que a menor parte (38%) dos poços são de domínio público, o restante são poços de propriedade particular. As profundidades variam de 8 a 280 metros com média de 80,84 metros. O nível estático situa-se, em média a 24,78 metros, as vazões podem chegar até 180 m³, e mantendo uma média de 26,51m³.

Quanto o uso das águas para agricultura 84% das águas analisadas se classificam com baixos risco de sódio e de baixo a médio risco de salinidade.

O Sistema Aquífero Inferior apresenta concentrações STD acima dos Sistema Aquífero Médio;

As concentrações de STD mudam muito pouco durante os períodos de estiagem e de chuvas indicando que as águas levam um certo tempo para recarga.

No período chuvoso observa-se um declínio de valores de bicarbonatado (46%) em relação ao período de estiagem, e o aumento de fácies mista (36%) e cloretada (18%). Das 8 análises bacteriológicas apenas 3 apresentaram-se próprias para consumo humano.

Como recomendações temos:

Durante a análise das fichas litológicas dos poços de Juazeiro do Norte, verificou-se que a segunda lente de folhelho ocorre a cerca de 130 m de profundidade, portanto recomenda-se que a construção dos poços não ultrapassem esta profundidade, porque mesmo sendo apenas uma lente decimétrica, abaixo dela encontra-se um grande pacote (cerca de 100 metros) de argila amarelada.

Para o município de Barbalha também não se aconselha a perfurar os níveis de pelitos (folhelho e argilitos) superiores a 100 metros, pois eles possuem espessura média de 70 metros, logo abaixo ocorre novo pacote de arenito (40m) e novamente os pelitos.

Cerca de 18% dos poços estão contaminados por nitrato, é preciso avaliar a localização e a construção dos poços que apresentam concentrações de nitrato acima de 5 mg/L (valor alerta), bem como o uso e ocupação do seu entorno, como uma primeira etapa da investigação da origem dessa contaminação.

O Sistema Aquífero Inferior está localizado no norte da área estudada, possui baixos valores de nível estático (média de 8m) e menor proteção natural das águas (filtração), por isso recomenda-se um melhor monitoramento para os poços localizados neste sistema, no que tange a proteção dos mesmos, e tratamento continuado dos poços já contaminados por bactérias a exemplo dos poços 01 (São Francisco - Crato) e 09 (Moleque – Juazeiro do Norte) que apresentam NMP de C. Totais de 2.419,6.

Recomenda-se também um cadastramento das indústrias da região, e análises de metais pesados das águas dos poços.

12 - BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABNT (1990) - Associação Brasileira de Normas Técnicas – Projeto de poço para captação de água subterrânea (NB-1290)

ABNT - NBR 9896 (1993) - Glossário de poluição das águas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABINAM (2001) - Características de água mineral – acessado em novembro de 2006 no site-
<http://www.abinam.com.br/h2oclassf.html>

APHA, AWWA, WPCF (1995) - Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association e outras, washington, D.C. 193p.

ARMIEJO V.M (1994). "Águas bicarbonatadas". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Computense, Madrid, 261-267p.

ASSINE, M.L., 1992 Sedimentação e tectônica na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. UNESP/IGCE. Rio Claro, 124 p. Dissertação de Mestrado.

BIASOLI, W. M. (1998) – Água: o que você gostaria de saber e não teve a quem perguntar – Fortaleza/CE. 55 p.

BOLIVAR, A. M. (2001) – Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo. Tese de Doutorado. USP/ Instituto de Geociências. São Paulo – SP. 114p.

BRASIL, Brasília. – Leis, decretos, etc....-Resolução nº25, de 1976. Estabelece padrões de identidade e qualidade das águas minerais e da água natural de fonte. Diário Oficial, (da República Federativa do Brasil), -Brasília/Br, 20/01/1977, seção 1.

----- , -Leis, decretos, etc.. -Resolução CONAMA nº20, de 18/06/1986. Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial, (da República Federativa .do Brasil), -Brasília/Br.: 11356-11361, 30/07/ 1986. Seção 1.

----- , – Leis, decretos, etc..., -Portaria nº36, de 19 de janeiro de 1990, Normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Diário Oficial , (da República Federativa do Brasil), Brasília/Br, v.128, n.16,p.1651-1654, 23 jan. 1990. Seção

BRASIL. (2004) - Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília.

- CARDOSO, C. A. M. (2006) - Aspectos técnicos-construtivos dos poços tubulares na sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, estado do Ceará/Brasil – Dissertação de Mestrado Fortaleza/CE.
- CAVALCANTE, I. N. & SABADIA J. A.B. (1992) - Potencial hídrico subterrâneo: um bem mineral vital ameaçado pela poluição antrópica. Revista de Geologia, Vol. 5: Fortaleza. CE. 115 a 124p.
- CETESB (1978) - Água Subterrânea e poços tubulares. Tradução do original norte americano publicado pela Johnson Division UOP, Inc. em 1972, CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 482p.
- CETESB (1987) - Guia de coleta e preservação de águas. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 150p.
- CLEMENTINO, J. C. (2001) - Apostila Parcial da disciplina “Legislação e Gestão Ambiental “www.clementino.hpg.com.br (acessado em abril de 2005)
- CORTECCI, Gianni (2002) - Geologia e Saúde – Tradução de Wilson Scarpelli, São Paulo 30 pp.
- COSTA, W.D. (1994) - Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semiárido nordestino. In: Projeto ÁRIDAS. Brasília, Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República. (GT II – Recursos Hídricos, Versão Preliminar). 53 p.
- DANA, James D. (1976) – Manual de Mineralogia – volume 2 – Rio de Janeiro 152p.
- DOROTHY C. P. C. et al. CETESB (2001) - Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo / - São Paulo. + ap. : il. ; 30 cm. - - (Série Relatórios Ambientais) 73 p.
- EMBRAPA (2000) - Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do estado do Ceará (1973) acessado no site: www.embrapa.com.br
- FIGUEIREDO, M. A. (1997) - Vegetação. In.: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação - SEPLAN. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará - IPLANCE. Atlas do Ceará. Fortaleza. 28- 29 p.

- FRACALOSSO JÚNIOR, M. (1986) - Aspectos hidrogeológicos da Bacia do Araripe. Aquíferos Missão Velha e Mauriti. IV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Brasília – DF. p. 159-170.
- FNUCUT (2006) Recursos hídricos no Brasil. http://fnucut.org.br/saneamento/terra_agua (Acessado em maio de 2006).
- FENZL, Norbert (1986) – Introdução à hidrogeoquímica por Norbert Fenzl e a colaboração de J.F. Ramos. Belém: Universidade Federal do Pará.
- HALL, J. (1859) - Descriptions and figures of the organic remains for the Lower Hilderberg Group and the Oriskany Sandstone. Geologic Survey of Albany, Paleontology, 3, 544 pp.
- HESPANOL, I. (2005) – Contaminação ameaça a saúde pública - 2000, acessado em novembro de 2005 no site: <http://www.comciencia.br/reportagens/aguas/aguas06.htm>.
- HIRATA, R. (1989) – Conceitos e panoramas de vulnerabilidade do solo e das águas subterrâneas. Seminário – Avaliação de risco ambiental bases para estratégias de remediação de áreas contaminadas. 58p.
- IPLANCE (2002) - Índice de Desenvolvimento Municipal IDM (2000), vol 3, anual. Fortaleza. 32p.
- LIMA, A. A., TAVARES, M. A. de H. & VIEIRA FILHO, J. A. (2002) - Recurso hidromineral: boas práticas para captação de águas minerais ou potáveis de mesa. DNPM, Recife / PE. 17p
- LEWIS, W. J. ; FOSTER, S.; DRASAR, B. S. (1986) - O risco de poluição do Lençol freático por sistemas de disposição local de esgotos. Trad. de André G.T.P. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 91p.
- LEWIS, W. J. ; FARR, J. L. & FOSTER, S. S. D. (1980) - The pollution hazard to village water supplies in eastern Botswana. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 281-293 p.
- LOPES, C.R.M. (2004) - Qualidade das águas subterrâneas no Vale do Cariri – Área em Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – Estado do Ceará. Relatório de Graduação. DEGEO/UFC. Fortaleza – Ceará. 123 p.

- LOPES, C. R. M. (2004) - Qualidade das águas subterrâneas no Vale do Cariri Área em Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha Estado do Ceará. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará.
- KÖPPEN, W (1948) - Climatologia com um estudo de los climas de la Tierra. Versión de Hendrichs ,Pedro R. México, Fonde de Cultura Econômica. 478 p.
- KOZLOVSKY E. A. (1984) - Hydrogeological Principles of Grodwater Protecion UNESCO – UNEP: 164. Moscú.
- MACHADO, C.J.F.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDONCA, L.A.R.; MENDES FILHO, J. (2002) - Evolução da salinidade das águas subterrâneas no aquífero Mauriti – Bacia Sedimentar do Araripe. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis-SC, 2002. CD-rom.12p.
- MACHADO, C.J.F.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDONCA, L.A.R.; FRISHKORN, H.,MENDES FILHO, J. (2004) - Hidrogeoquímica como indicador de interconexão entre aquíferos na Chapada do Araripe utilizando O aplicativo PHREEQC - Rev. Águas Subterrâneas no 18. pp 80.
- MANOEL FILHO, J. (2000) - Contaminação das Águas Subterrâneas. Cap.06. In: Feitosa, C.A.F. & Filho, J.M. 109-132p.
- MASON, B. (1971) - Princípios de geoquímica. São Paulo: EDUSP/Poligono
- MESTRINHO, Suely Schuartz Pacheco (1998) - Contaminação de águas Subterrâneas – Material exclusivo para treinamento, Belém/PA. 35p.
- MOREIRA-NODERMANN, L.M. (1987) - A Geoquímica e o meio ambiente. Geochimica Brasiliensis, v.1, n.1, p.89-107.
- MÖBÜS, G. (2003) - QUALIGRAF. Programa para Análise da Qualidade de água. FUNCEME. <http://www.funceme.br/DEHID/index.htm> (Acessado em maio de 2006).
- MONT´ALVERNE, A.A. F. et al. (1996) - Projeto Avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Recife. Fase I. 100p.
- OMS (2001) - “Water and Sanitation” - Fact sheet number 112 (acessado em 2005 no site: <http://www.who.int/inffs/en/fact112.html>)

- PASCHOAL, A . D. (1987) - A instabilidade dos ecossistemas agrícolas. Ciências Hoje. Vol. 5, número 28. jan/fev.
- PONTE, F.C. (1992) - Sistemas deposicionais na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. 2º Simpósio sobre Bacias Cretácicas Brasileiras, Resumos Expandidos. Rio Claro, UNESP, p.81-83.
- ROQUE, O.C.C. (1997) - Sistemas Alternativas de Tratamento de Esgotos Aplicáveis as Condições Brasileiras – Tese de Doutorado em Saúde Pública, FIOCRUZ – Rio de Janeiro, 153 p.
- ROUQUARYOL, M.Z. (1996) - Secretária de Saúde de Fortaleza – Epidemiologia das Doenças Infecciosas em Fortaleza. 1991 – 1995. Fortaleza – CE.169p.
- MANOEL FILHO, João; (2000) - CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/REFO; LABHID-UFPE, 2000. 391p. cap. 5 p.81 – 108.
- SANTIAGO, M. M. F. (2005) - Hidroquímica. Apostila da disciplina Hidroquímica do Curso de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará – UFC. 54p.
- SANTOS, Almany Costa. (2000) - Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, Fernando A. C.;
- SESA (2005a) – Indicadores e dados básicos para a saúde no Ceará 2003/ Secretária de Saúde do Estado do Ceará -Volume 3. 105pp.
- SESA (2005b) – Indicadores e dados básicos para a saúde no Ceará 2003/ Secretária de Saúde do Estado do Ceará –Volume 4. 105pp.
- SETTI, A.A. (1994) - A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal.
- SOUZA, Marcos José Nogueira de (1988) - Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-Estruturais do Estado do Ceará – Revista de Geologia, vol 1 nº1: 73-91. Fortaleza/Ce.
- SILVA, R. L. B. (2002) – Contaminação de poços rasos no bairro Brisamar, Itaguaí, RJ, pó derramamento de gasolina: concentração de BTEX e avaliação da qualidade da água consumida pela população. Tese da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

VERÍSSIMO, L.S. (1999) - A importância das águas subterrâneas para o desenvolvimento socioeconômico do eixo CRAJUBAR, Cariri Ocidental-Ceará. Dissertação de Mestrado. CC/DEGEO/UFC. 129p.

WHO (2000) - Situação Global de Suprimento de Água e Saneamento – 2000, acessado em novembro de 2000 no site: www.who.int/inf-pr-2000/en/pr2000-73.html.

WDR (2003) – The World Bank, in Tundisi. 55pp.

TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. (1961) - Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. Geol. Soc. of Am. Bull., v. 72, pp. 175-192. Apud Lins et al. (2003) – Manual Técnico da Área de Geoquímica –CPRM v. 5, pp 58-59