**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MÉDIO E
BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CEARÁ MIRIM/RN**

José Braz Diniz Filho

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo

1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MÉDIO E BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM/RN

JOSÉ BRAZ DINIZ FILHO

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Uriel Duarte
Examinadores:	Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt
	Prof. Dr. Fabio Taioli
	Prof. Dr. João Manoel Filho
	Dr ^a Mara Akie Iritani

SÃO PAULO
1999

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004848

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MÉDIO E
BAIXO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
CEARÁ MIRIM/RN**

José Braz Diniz Filho

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

TESE DE DOUTORAMENTO
Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo

1999

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Anexos

Citação

Dedicatória

Agradecimentos

Resumo

Abstract

1 – INTRODUÇÃO.....	01
1.1 - LOCALIZAÇÃO E DIMENSÕES DA ÁREA.....	02
1.2 - OBJETIVOS	05
1.3 - METODOLOGIA.....	06
2 – ASPECTOS FISIOGEOGRÁFICOS.....	09
2.1 – CLIMA.....	09
2.2 – RELEVO E HIDROGRAFIA.....	18
2.3 – GEOLOGIA.....	19
2.4 – ASPECTOS PEDOLÓGICOS.....	31
2.5 – ASPECTOS DA VEGETAÇÃO.....	32
3 - RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	34
3.1 – AQÜÍFERO CRISTALINO.....	35
3.2 – AQÜÍFERO AÇU.....	43

3.3 – AQUÍFERO JANDAÍRA.....	48
3.4 – AQUÍFERO BARREIRAS.....	53
3.5 – AQUÍFERO ALUVIAL.....	79
4 – CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS...	80
4.1 – INTRODUÇÃO.....	80
4.2 – TIPOS DE ÁGUA, PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS DAS ÁGUAS.....	86
4.3 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA CONSUMO HUMANO.....	96
4.4 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA USO NA AGRICULTURA.....	106
4.5 - QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA USO INDUSTRIAL.....	111
5 – RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS.....	114
5.1 – BARRAGEM DE POÇO BRANCO.....	115
5.2 – SITUAÇÃO E USO ATUAL DAS ÁGUAS DA BARRAGEM DE POÇO BRANCO.....	117
5.3 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	118
6 – FONTES DE POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS	120
6.1 – CONSIDERAÇÕES SOBRE AS FONTES DE POLUIÇÃO/ CONTAMINAÇÃO NA ÁREA.....	121
6.2 - VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS À POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO.....	134

7 – ABASTECIMENTO PÚBLICO, APROVEITAMENTO, DEMANDA/ OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	145
7.1 – ABASTECIMENTO PÚBLICO.....	145
7.2 – APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA.....	151
7.3 - COMPARAÇÃO ENTRE DEMANDA ESTIMADA, CONSUMO REAL E OFERTA DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA.....	153
7.4 - OTIMIZAÇÃO DO USO E PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA.....	156
8 – CONCLUSÕES.....	163
9 – BIBLIOGRAFIA.....	167
ANEXOS.....	174

LISTA DE FIGURAS

Nº Fig.	Nome da figura	Pág.
1.1 -	Mapa de localização do Estado do RN no contexto da Região Nordeste, e situação da área no contexto estadual.....	03
1.2 -	Mapa de Localização da área de estudo	04
2.1 -	Precipitação Pluviométrica média mensal de Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990), Taipu/RN (Período: 1922-1967) e Poço Branco/RN (Período: 1962 - 1978).....	12
2.2 -	Temperatura média mensal de Ceará Mirim/RN - (Período: 1961-1990).....	13
2.3 -	Insolação total mensal de Ceará Mirim/RN (Período:1961-1990).....	13
2.4 -	Umidade Relativa do ar média mensal de Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990).....	14
2.5 -	Evaporação mensal média em Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990).....	15
2.6 -	Representação do Balanço Hídrico. Estação Meteorológica do INMET-Ceará Mirim/RN (Período:1961-1990).....	17
2.7 -	Mapa Geológico/Hidrogeológico da Região do Baixo a Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	20
2.8 -	Localização da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte e sua divisão em sub-bacias.....	23
2.9 -	Diagrama mostrando as direções preferenciais das fraturas. Área total – 120 planos. (segundo Cruz, 1983).....	29
2.10 -	Compartimentação Tectônica da Bacia Costeira (SERHID/Hidroservice, 1998).....	30
3.1.1 -	Seção Hidrogeológica A – A'.....	36
3.1.2 -	Seção Hidrogeológica B – B'.....	37
3.1.3 -	Seção Hidrogeológica C – C'.....	38

LISTA DE FIGURAS (continuação)

Nº Fig.	Nome da figura	Pág.
3.1.4 –	Seção Hidrogeológica D – D'.....	39
3.1.5 –	Seção Hidrogeológica E – E'.....	40
3.2 –	Mapa de Espessuras Saturadas do aquífero Barreiras na Região do Curso inferior da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	60
3.3 –	Gráfico Rebaixamento x Tempo do Método de Neumann – Poço 82 – Guaramiranga (Ceará Mirim/RN).....	68
3.4 –	Mapa Potenciométrico do aquífero Barreiras na região do curso inferior da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	71
4.1 –	Mapa de Localização dos poços que contém análises químicas.....	83
4.2 –	Mapa de IsoCondutividade Elétrica das Águas Subterrâneas da Região do Baixo a Médio Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	85
4.3 –	Diagrama de PIPER.....	87
4.4.1–	Potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Cristalino - região do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN	101
4.4.2 -	Potabilidade das águas subterrâneas dos aquíferos Cretáceos - região do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	103
4.4.3 -	Potabilidade das águas subterrâneas do aquífero Barreiras - região do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	105
4.5 –	Classes de água para uso na irrigação, segundo as amostras dos diferentes sistemas aquíferos.....	109
5.1 –	Açude Público Engenheiro José Batista Pereira do Rego.....	116
6.1 –	Mapa Esquemático de Uso e Ocupação do Solo – Área do baixo curso da bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	122
6.2 –	Sistema de avaliação do índice de Vulnerabilidade do aquífero (Foster, 1987).....	136

LISTA DE FIGURAS (continuação)

6.3 –	Mapa de Profundidade do Nível das águas subterrâneas da região do baixo/médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	138
6.4 –	Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas à Poluição/Contaminação – Área do baixo/médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	141
7.1 –	Sistema Adutor Integrado de João Câmara/RN.....	148

LISTA DE TABELAS

Nº Tab.	Nome da Tabela	Pág.
2.1 -	Dados Climatológicos Médios Mensais e Anuais. Estação Climatológica de Ceará Mirim/RN (1961–1990).....	11
2.2 -	Dados Climatológicos Médios Mensais e Anuais. a) Taipu/RN (1911 – 1978); b) Poço Branco/RN (1962 – 1978).....	11
2.3 -	Cálculo da Evapotranspiração Potencial (Método de Turc). Período: 1961 – 1990. Ceará Mirim/RN. Coordenadas Geográficas: 5° 37' 18" – Latitude Sul; 35° 35' 48" - Longitude Oeste.....	16
3.1 -	Espessuras e Profundidades do topo do Aquífero Açu – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	44
3.2 -	Setores do Aquífero Açu e aspectos dimensionais/potenciais associados – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	45
3.3 -	Parâmetros Hidrodinâmicos do Aquífero Açu nos pontos 31 e 43 – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	47
3.4 -	Coeficientes de Armazenamento do aquífero Açu (dados regionais)/RN.....	47
3.5 -	Parâmetros Dimensionais do Aquífero Jandaíra – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	50
3.6 -	Parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero Jandaíra (dados regionais)/RN.....	52
3.7 -	Características Médias dos poços do aquífero Barreiras – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	54
3.8 -	Valores de Espessuras da camada e Espessuras Saturadas do aquífero Barreiras – Área do baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	59
3.9 -	Parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero Barreiras – Área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	65

LISTA DE TABELAS (continuação)

Nº Tab.	Nome da Tabela	Pág.
3.10 -	Descargas do Fluxo Subterrâneo do Aquífero Barreiras – Área do baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	73
3.11.1 -	Volumes d'água Explotados do aquífero Barreiras - Área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	75
3.11.2 -	Volumes d'água Explotados do aquífero Barreiras - Área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN (cont.).....	76
4.1 -	Classificação das águas segundo a quantidade de Sólidos Totais Dissolvidos – Mcneely et ali (1979).....	82
4.2 -	4.2.1/4.2.2 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Cristalino (valores mínimos, máximos, médios) – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	88
4.3 -	4.3.1/4.3.2 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas dos aquíferos Cretáceos – Captação Mista – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	90
4.3 -	4.3.3/4.3.4 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra (valores máximos, médios, mínimos) - área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	91
4.3 -	4.3.5/4.3.6 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Açu (valores máximos, médios, mínimos) - área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	92
4.4 -	4.4.1/4.4.2 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Barreiras (valores máximos, médios, mínimos) - área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	95
4.5 -	Padrões de Potabilidade das águas (In: Mestrinho, 1998).....	98
4.6 -	Classes de Potabilidade segundo Schoeller.....	99
4.7 -	Classes de Dureza segundo Custódio & Llamas, 1983.....	99
4.8 -	Características Bacteriológicas exigidas para águas potáveis, segundo a Portaria Nº 36, de 01/01/1990, do Ministério da Saúde.....	100

LISTA DE TABELAS (continuação)

Nº Tab.	Nome da Tabela	Pág.
4.9 -	Classificação das águas para consumo animal.....	107
4.10 -	Crítérios de Qualidade das águas para uso nas indústrias (modificada de Water Quality Criteria, 1972; In: Mestrinho, 1998).....	112
5.1 -	Barragem de Poço Branco – Características construtivas de acordo com dados do DNOCS, 1969.....	117
5.2 -	5.2.1/5.2.2 – Resultados das Análises Químicas das águas superficiais – área do baixo a médio curso da Bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	119
6.1 -	Número de ocorrências anuais de Doenças de Veiculação Hídrica. Área do baixo a médio curso do Rio Ceará Mirim/RN.....	126
6.2 -	Classes de Vulnerabilidade das águas subterrâneas à Poluição/Contaminação. Área do Baixo/médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	137
7.1 -	Características dos poços tubulares que abastecem a cidade de Ceará Mirim, situados no município de Extremoz/RN.....	145
7.2 -	Reservatórios de distribuição de águas na cidade de Ceará Mirim. Fonte: SAAE/Ceará Mirim-RN (1998).....	146
7.3 -	Parâmetros Químicos das Águas da Fonte de Pureza/RN.....	150
7.4 -	Volumes médios consumidos pelo Sistema adutor de João Câmara/RN.....	150
7.5.1 -	Estimativa de Demanda Urbana de água – área do baixo a médio curso da Bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	154
7.5.2 -	Estimativa de Demanda Rural de água – área do baixo a médio curso da Bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.....	154

LISTA DE ANEXOS

01 – Cadastro de Pontos d'água

02 – Dados Físico-químicos das amostras de águas subterrâneas e superficiais

2.1.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais

2.1.2 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais (continuação)

2.2 - Características físicas das águas subterrâneas

2.3 - Tipos de águas, classes quanto a Dureza, Classes de Potabilidade segundo Schoeller, Classes de água para Irrigação

2.4 – Adequabilidade das águas para uso na indústria

"....Portanto, procure aumentar seus conhecimentos e aperfeiçoar-se, verificando como é rápido o momento atual, comparado com a eternidade....."

".....Você não poderá caminhar sozinho. Ajude a todos os que caminham a seu lado para o mesmo objetivo: a perfeição....."

- Carlos Torres Pastorino -

DEDICATÓRIA

Aos meus pais José Braz (in memoriam) e Zulmira

À minha esposa Conceição

À minha irmã Oneide

Às sobrinhas Adriana e Jéssica

AGRADECIMENTOS

Expressamos aqui nossos sinceros agradecimentos às instituições e pessoas que direta ou indiretamente se dispuseram a colaborar nas diversas etapas do doutoramento.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, pela receptividade, e por manter o curso de pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, nível de Doutorado, fornecendo oportunidade para aperfeiçoamento e/ou formação acadêmica de profissionais ligados às ciências da terra.

Ao Professor Doutor Uriel Duarte, pessoa de inestimável índole, pela orientação didático-científica constante e imprescindível em todo o período do curso, aliada a muita paciência, compreensão e apoio psicológico com vistas à concretização deste trabalho.

Ao CNPq, pelo apoio fornecido sob a forma de Bolsa de Doutorado.

À minha esposa, Conceição Medeiros, pela demonstração de confiança e companheirismo durante o período do curso.

Ao Governo do Estado do Rio Grande do Norte, pela liberação das atividades profissionais durante os dois (02) primeiros anos do curso.

Ao Professor Doutor José Geraldo de Melo (UFRN), sempre disponível ao esclarecimento de dúvidas e às críticas construtivas.

À geóloga Telma Tostes Barroso (Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte), pelo apoio nos trabalhos de campo, fornecimento e discussão dos dados.

Às instituições públicas federais e estaduais (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte/IDEMA; Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte/CAERN; Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte/SERHID; Fundação Nacional de Saúde/FNS; Secretaria de Saúde do Estado do Rio Grande do Norte; Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte/EMPARN), pela presteza no fornecimento de dados.

Ao geólogo Elmo Marinho de Figueiredo e ao geógrafo Rosáfico Saldanha, pelas colaborações, e aos demais colegas de trabalho do IDEMA, pelo incentivo.

Às funcionárias Técnico-acadêmicas do curso de pós-graduação, Ana Paula e Magali, pela facilidade na orientação de normas protocolares e curriculares do IG/USP, em todo o período do curso.

Aos colegas que estiveram presentes nas fases iniciais de cumprimento dos créditos (Vera Lúcia/RN, Bolivar/CE, Joseli-UNESP, Rodrigo/SP, Ana Lúcia/SP, Almany e Ana Cláudia/PE, João Manoel/PE, e outros), pela saudável convivência nas salas de aula do IG e na cidade universitária.

RESUMO

A meta principal da pesquisa foi a caracterização dos condicionantes hidroclimáticos, geológicos e hidrogeológicos que controlam a ocorrência, distribuição e potencial dos recursos hídricos situados no baixo e médio cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN, como forma de se avaliar os fatores naturais e antrópicos que podem influenciar na intensidade de uso, proteção natural e agressão ambiental dos mananciais.

Os mananciais subterrâneos correspondem às unidades litoestratigráficas que compõem os sistemas aquíferos Cristalino, Açu, Jandaíra e Barreiras. O aquífero Cristalino é constituído por rochas cristalinas pré-cambrianas (gnaisses, micaxistos, migmatitos, granitos), sendo de baixo potencial hidrogeológico. Suas águas possuem salinidade elevada, e não se prestam ao consumo humano, servindo na maioria dos casos apenas para atender pequenas demandas para uso animal, e gastos domésticos menos nobres.

O aquífero Açu (arenitos) é também de baixo potencial hidrogeológico, com águas em geral não potáveis, e ocorre confinado pelo aquífero Jandaíra a profundidades de mais de 100 metros, fatores esses que justificam a pouca utilização das suas águas.

O aquífero Jandaíra (calcários, dolomitos, arenitos calcíferos) na maior parte da área ocorre encoberto pelo aquífero Barreiras, e apresenta reservas permanentes significativas (da ordem de 660 milhões de m³), sendo economicamente mais viável a sua exploração no setor ocidental da área, por estar situado a menores profundidades (de 15,00 a 30,00 metros). A qualidade das águas varia espacialmente, em função das condições locais de circulação e controle estrutural da camada aquífera. É possível que o aumento da sua exploração possa induzir recarga com águas de boa qualidade do aquífero Barreiras, devido a conexão hidráulica existente entre os dois sistemas.

Dos recursos hídricos subterrâneos avaliados, o aquífero Barreiras (meio poroso e livre constituído de areias e arenitos friáveis, com intercalações de argila) consiste no principal reservatório de água doce e potável da área (STD = 120 mg/L), com reservas permanentes da ordem de 1,2 bilhões de m³, e renováveis de 81 milhões de m³.

Os recursos exploráveis são apreciáveis para o desenvolvimento de projetos agrícolas e industriais, bem como o atendimento às demandas urbanas e rurais. Desta

forma o aquífero Barreiras é, até o momento, muito pouco utilizado, com o bombeamento de um volume anual de água de apenas 1,87 milhões m³/ano.

As potencialidades do aquífero Barreiras são influenciadas pela litologia e estrutura geológica das seqüências. Foi caracterizada a ocorrência de um alto estrutural na porção ocidental de ocorrência do aquífero Barreiras, onde as espessuras saturadas são menores (até 15,0 metros) e mais afetadas pelas oscilações sazonais do nível freático, e também influenciadas pelas águas salobras e salgadas do aquífero imediatamente inferior (aquífero Jandaíra). Na porção oriental o arcabouço estrutural é indicado pela ocorrência do graben de Ceará Mirim, condicionando maior espessura de sedimentos, e espessuras saturadas de até 60,0 metros.

As águas superficiais de maior destaque referem-se àquelas armazenadas e armazenáveis na Barragem de Poço Branco (capacidade de acumulação de 136 milhões de m³), cuja função social há muito deixou de ser implementada, sob a justificativa de apresentar salinidade imprópria (STD = 1.200 mg/L).

A área total da bacia do rio Ceará Mirim é de 2.635 Km², a maior parte da qual de baixo potencial hídrico em função da ocorrência predominante dos terrenos cristalinos em superfície. O potencial mais elevado da bacia corresponde a uma superfície de 610 Km², principalmente no curso inferior, condicionado pela presença dos sedimentos da Formação Barreiras

As águas do aquífero Barreiras e da Barragem de Poço Branco não tem recebido um manejo e planejamento adequados, por falta de uma política de recursos hídricos capaz de promover um desenvolvimento que, sem dúvida, será de grande alcance social, e suficiente para evitar que boa parcela da população local ainda utilize carros-pipa para suprir suas necessidades básicas, numa região reconhecida e naturalmente privilegiada em mananciais de água.

Os estudos realizados mostraram a falta de um gerenciamento dos recursos hídricos que defina um planejamento de uso e proteção das águas, e de estratégias para desenvolvimento da região com base nestes recursos. No contexto, portanto, não é dada a atenção desejada às águas subterrâneas.

Sob este enfoque é traçado neste trabalho um paralelo entre os volumes hídricos disponíveis e os volumes efetivamente utilizados na área, e foram também evidenciados os

riscos de degradação da qualidade das águas dos mananciais em função de sua vulnerabilidade e das atividades potenciais de contaminação. São estabelecidas propostas com vistas a otimização do uso e proteção das águas superficiais e subterrâneas, entre as quais destacam-se: o uso prioritário das águas do aquífero Barreiras para consumo humano e em indústrias alimentícias e bebidas; e a recuperação física, ambiental e uso potencial e racional da águas da barragem de Poço Branco, mediante controle da ocupação predatória das áreas a montante, e distribuição das águas para setores mais carentes.

ABSTRACT

The main goal of the research consisted in the characterization of the hydrogeologic, geologic and hydro-climatic conditions, in order to evaluate the natural and unnatural factors that have influence in the intensive use, natural protection and environmental impacts of the springs. The groundwater sources referred to are the lithostratigraphic units that compose the aquifer system named Crystalline Aquifer, Açu Aquifer, Jandaíra Aquifer and Barreiras Aquifer.

The Crystalline Aquifer is formed by metamorphic and igneous rocks (gneiss, schist, migmatites, granites), and presents low hydrogeologic potential, with high salinity groundwater not used for human supply, and used only to attend animal and other demands.

The Açu Aquifer (sandy, clay) has shown low hydrogeologic potential too, and it's confined by the Jandaíra Aquifer. Because the occurrence has been detected at a great distance from the surface, its exploitation is unusual.

The Jandaíra Aquifer (limestone, dolomite) lies under the Barreiras Aquifer. It has important permanent reserves (660 millions of m³), and its exploitation on the Western portion is economically viable. The water quality changes spatially, and maybe a greater exploitation will induce a recharge of the Barreiras Aquifer waters, because of the hydraulic connection between the two systems.

The Barreiras Aquifer forms the main groundwater reservoir in the area, whose capacity and water quality could serve in the future important irrigation, industrial and public supplying projects, for a greater development in the region. However, the aquifer area presents different hydrogeologic potential in space. The Eastern portion has been revealed as the best because of the Ceará Mirim Graben, which permits the greatest saturated zone thickness, higher than 60,00 meters, instead of the Western portion whose saturated zone thickness is less than 15,00 meters.

The main surface water resources correspond to those accumulated in the Poço Branco's Dam (capacity of 136 millions of m³). However the water salinity (TDS = 1.200 mg/L) has limited their use.

The total area of Ceará Mirim watershed is 2.635 Km², but the main water resources (surface water and groundwater) are delivered only over 610 Km² of that. The contrast in the spatial delivering of waters hasn't motivated the implantation of a water management system.

Therefore the waters of Barreiras Aquifer and the Poço Branco's Dam haven't received a treatment and planning of their use because no water resources improvement program has been made to finish the difficulty of the population.

The studies have shown the lack of water resources management, of planning of use and protection of the waters, and of strategies for a bigger development of the region, according these resources. In this context it hasn't been given a special attention to the groundwater.

Taking these aspects into consideration this work considers the relationship between the water reserves available and the water reserves really used in the area. The risks of degeneration of the sources, taking into account their natural defenses and the kinds of sources of contamination have been studied, finishing with the proposition of ways to promote a better use and protection of the surface water and groundwater studied and available.

1 – INTRODUÇÃO

A água é considerada o segundo bem mineral mais importante do planeta terra, perdendo posição apenas para o petróleo. Sua ocorrência é indispensável à manutenção do equilíbrio ecológico, à geração de energia, à produção de biomassa, e é de importância vital para o homem, tendo em vista compor, aproximadamente, 70% do corpo humano.

Existem inúmeras maneiras de utilização da água, pelo homem, entre as quais podem ser citadas: o abastecimento humano, abastecimento industrial, irrigação, recreação, uso estético, pastoril, pesca, preservação da flora e fauna, geração de energia elétrica, transporte, etc. (Mota, 1995). O uso e a necessidade de água em todo o mundo vem crescendo, acentuadamente, em diversas atividades, tendo como consequência sérios problemas de exaustão de reservas e alterações na sua qualidade natural.

Com isso, vem sendo necessária a busca de alternativas que visem suprir a falta de água para os diversos fins, mediante utilização de técnicas de reuso e de recarga artificial (que já são usadas há mais de um século em várias partes do mundo), bem como recuperação da sua qualidade por meio de processos de tratamento que demandam a aplicação de vultosos recursos financeiros, muitas vezes só disponíveis nos países economicamente mais poderosos. Na maioria dos países pobres e subdesenvolvidos, no entanto, o resultado é o atraso no desenvolvimento e queda acentuada da qualidade de vida dos povos.

A rigor, a premissa básica para se encarar e resolver os problemas relativos aos recursos hídricos, consiste na execução sistemática de estudos científicos e na avaliação técnica permanente dos mananciais, que servirão de suporte indispensável ao aproveitamento e oferta eficientes de água para os diversos usos, tanto para as gerações atuais como para as futuras.

Considerando a importância e a necessidade de estudos, pesquisas e informações básicas, o presente trabalho vem contribuir para um melhor entendimento a respeito dos recursos hídricos da área enfocada, não tendo a finalidade de esgotar o assunto relatado. Com certeza, os dados, análises e interpretações apresentadas, servirão de ferramentas básicas que guiarão a tomada de decisões governamentais, no que se refere ao planejamento hidro-agrícola, e ao desenvolvimento sócio-econômico da região.

1.1 - LOCALIZAÇÃO E DIMENSÕES DA ÁREA

O Estado do Rio Grande do Norte situa-se na Região Nordeste do Brasil, limitando ao Norte e ao Leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o Estado da Paraíba, e ao oeste com o Estado do Ceará. O sistema hidrográfico do Estado é composto por várias bacias hidrográficas (Figura 1.1), cuja rede de drenagem superficial apresenta dois comportamentos distintos: Bacias hidrográficas com nascentes a sul e escoamento geral de sul para norte (exemplo das bacias Apodi/Mossoró, Piranhas/Açu e outras menores de escoamento difuso); e Bacias com nascentes na porção centro-leste do Estado, e escoamento geral de oeste para leste (bacias dos rios Maxaranguape, Ceará Mirim, Potengi, Trairi, Jacu, Curimataú, etc.).

A área estudada insere-se no trecho que envolve o baixo e médio curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim, abrangendo uma superfície estimada em 610,14 Km², entre as coordenadas geográficas 5° 34' 06" - 5° 38' 55" de Latitude Sul, e 35° 12' 58" - 35° 42' 26" de Longitude Oeste (Figura 1.2). Limita-se ao norte e ao sul com as bacias hidrográficas dos rios Maxaranguape e Doce, respectivamente. Ao oeste o limite é estabelecido de forma aproximada pela área de abrangência do espelho d'água da Barragem de Poço Branco, e a leste limita-se com o Oceano Atlântico. Possui forma geral alongada na direção leste-oeste, e engloba parte dos municípios de Ceará Mirim, Extremoz, Taipu e Poço Branco, estando a sede municipal de Extremoz situada fora do limite sul da área.

O vale úmido do Rio Ceará Mirim tem como principal atividade econômica a indústria do álcool, açúcar e aguardente, na qual a matéria prima (cana de açúcar) é proveniente de plantações cultivadas no próprio vale, e em trechos de tabuleiros situados ao norte e ao sul. Tal atividade apresenta amplo alcance social na área, na medida em que tem contribuído para geração de emprego e renda de grande parte da população local, mesmo que não tenha ocorrido melhoria significativa no seu padrão de vida.

1.2 – OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi avaliar as potencialidades hidrogeológicas e dos recursos hídricos superficiais da área enfocada, como suporte à definição de estratégias de planejamento e tomada de decisões pelas diversas esferas governamentais, no que diz respeito ao desenvolvimento sócio-econômico da região com base na sustentabilidade dos mananciais.

Isto permitirá no futuro um uso múltiplo, eficiente e integrado das águas, bem como a adoção de medidas à preservação e proteção dos ecossistemas aquáticos e terrestres, cujas modificações sem controle poderão resultar na degradação quantitativa e qualitativa das águas potáveis.

A posição geográfica da área, como pertencente ao contexto da região litorânea oriental do Estado, favorece a uma boa concentração de águas em várias fases do ciclo hidrológico, em especial na atmosfera (sob a forma de precipitação) e no subsolo, tendo também importante influência na sua qualidade amplamente satisfatória para consumo humano.

Estas condições naturais permitem boas cifras pluviométricas médias anuais, em geral em torno de 1.000 mm/ano, umidade relativa do ar elevada (70% a 80%), bem como ocorrência de fluxo de base num trecho do Rio Ceará Mirim alimentado pelas águas subterrâneas que afloram dos sedimentos da Formação Barreiras, exercendo a função de elemento regulador entre os volumes precipitados, infiltrados e escoados, possibilitando a perenização da vazão do rio em grande parte do baixo vale.

As investigações efetuadas têm demonstrado, no entanto, que os recursos hídricos vem sendo pouco e mal utilizados, na medida em que existem problemas locais de falta d'água em algumas comunidades, que ainda se abastecem a partir do fornecimento por carros-pipa.

O paradoxo entre uma boa oferta e má distribuição/pouco uso dos recursos, pode estar associado às diferentes potencialidades do principal aquífero da área (Barreiras), que são naturalmente impostas por variações em suas propriedades hidrogeológicas (redução das espessuras saturadas, por exemplo), e/ou sua proximidade a aquíferos portadores de águas de má qualidade físico-química (aquíferos Cristalinos, Jandaíra e Açu).

Os recursos hídricos de superfície são representados principalmente pelas águas da Barragem de Poço Branco, que poderiam contribuir para atenuar o problema da má distribuição na área. No entanto apresentam-se muito pouco utilizadas, sendo mais usadas para consumo animal devido a sua concentração salina inadequada ao uso humano.

Além disso, existem riscos potenciais de contaminação dos mananciais hídricos por poluentes oriundos da disposição inadequada de resíduos sólidos e efluentes gerados nos meios

urbanos, rurais, e em atividades agropastoris e industriais, principalmente nos trechos onde o nível das águas subterrâneas é pouco profundo, ou próximos a corpos e filetes d'água superficiais.

Tendo em vista a situação hidro-ambiental da área, o trabalho teve como objetivos específicos a caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, através da definição de seus parâmetros quantitativos, qualitativos e da caracterização dos impactos ambientais potencialmente poluidores das águas. Ou seja, os estudos incluíram: avaliação das potencialidades e problemáticas de uso dos mananciais de superfície; estrutura e condicionamento hidrogeológico da área; propriedades hidrodinâmicas dos sistemas aquíferos; fluxo subterrâneo; aspectos relativos à recarga; prováveis interações hidráulicas entre os sistemas; e avaliação de reservas hídricas. Ademais foi feita uma caracterização dos aspectos hidroquímicos e da poluição/contaminação, bem como os relativos à vulnerabilidade dos sistemas hídricos subterrâneos à contaminação.

Os parâmetros obtidos e as avaliações procedidas possibilitaram ressaltar as questões acerca da demanda, oferta, aproveitamento, abastecimento público, riscos e proteção dos recursos hídricos da área, contribuindo assim com alternativas que viabilizem a resolução dos problemas de distribuição, uso racional e proteção das águas, e na melhor forma de uso e ocupação do solo, que implique num desenvolvimento da região compatibilizado com a preservação quantitativa e qualitativa dos sistemas hídricos.

1.3 - METODOLOGIA

A execução deste trabalho envolveu etapas de levantamento, tratamento, análise e interpretação de dados e informações de interesse às pesquisas dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Procedeu-se, inicialmente, a um diagnóstico da área com o acervo já existente, o qual foi complementado e atualizado por novos parâmetros obtidos em observações, medições e avaliações de trabalhos de campo e escritório.

Como atividades específicas em campo, foram conduzidas as seguintes etapas:

- Cadastramento de pontos d'água;
- Reconhecimento geológico/hidrogeológico da área;
- Coleta de amostras d'água para análises químicas;
- Nivelamento de pontos d'água;

- Medição da condutividade elétrica das águas, com equipamento portátil, em pontos pré-selecionados;
- Entrevista e/ou consulta aos moradores e/ou trabalhadores rurais, com vistas ao esclarecimento de questões específicas levantadas em campo;
- Reconhecimento dos usos e ocupações do solo, e outros recursos naturais;
- Reconhecimento de fontes potenciais de contaminação.

Com respeito aos procedimentos em escritório, foram consideradas as etapas de:

- Levantamento, análise e avaliação dos trabalhos existentes;
- Levantamento de dados climatológicos;
- Levantamento de fichas, perfis litológicos e de análises químicas de poços tubulares preexistentes;
- Elaboração e informatização de mapas, seções hidrogeológicas, figuras;
- Envio de amostras d'água ao laboratório de análises químicas;
- Visita a instituições para obter dados e informações componentes do trabalho (UFRN; Secretaria de Recursos Hídricos – SERHID; Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN; Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN; Fundação Nacional de Saúde; Secretaria de Saúde do Estado);
- Elaboração da tese.

A elaboração do trabalho procedeu-se com base nas pesquisas e investigações dos dados e informações de campo e laboratório, envolvendo os seguintes procedimentos específicos:

- Definição dos componentes hidrogeológicos da área;
- Indicação das potencialidades dos sistemas aquíferos;
- Caracterização dos aspectos de qualidade das águas subterrâneas;
- Caracterização atual dos recursos hídricos superficiais e sua qualidade físico-química;
- Caracterização da vulnerabilidade natural dos sistemas aquífero à poluição/contaminação;
- Caracterização das fontes potenciais e riscos de poluição/contaminação das águas subterrâneas superficiais;
- Avaliação sobre o aproveitamento das águas, questões do abastecimento público, demanda e oferta dos recursos hídricos da região estudada.

A caracterização dos componentes hidrogeológicos incluiu a definição dos sistemas aquíferos, aspectos de recarga, escoamentos e exutórios. As tarefas se iniciaram com um reconhecimento em campo das unidades geológicas, cadastramento e nivelamento de pontos d'água (utilizando um altímetro PAULING), elaboração do mapa geológico/hidrogeológico, seguidos da análise e interpretação de perfis de poços, elaboração de seções hidrogeológicas, mapa potenciométrico, mapa de espessuras saturadas, e mapa de profundidade do nível das águas subterrâneas.

As potencialidades dos diferentes sistemas aquíferos foram indicadas a partir da avaliação de suas dimensões, parâmetros hidrodinâmicos e avaliação das reservas de águas subterrâneas.

As avaliações acerca da qualidade físico-química das águas subterrâneas foram estabelecidas a partir do tratamento e interpretação dos resultados de análises químicas de amostras de água dos poços cadastrados. Previamente foi executado um levantamento em campo sobre a qualidade das águas, mediante medições de Condutividade Elétrica (condutivímetro portátil) e temperatura da água em pontos selecionados, o que possibilitou a elaboração do mapa de iso-condutividade elétrica da área. As amostras d'água foram analisadas no Laboratório de Águas e Solos do Governo do Estado do Rio Grande do Norte.

Algumas indicações sobre as fontes potenciais de poluição/contaminação são apresentadas no trabalho, mediante informações levantadas em pesquisas bibliográficas, trabalhos de campo e em órgãos oficiais de Saúde Pública (Secretaria de Saúde Pública do Estado, Fundação Nacional da Saúde), além de informações do IDEMA (Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte).

As considerações sobre a Vulnerabilidade natural das águas subterrâneas à poluição/contaminação foram procedidas com base na aplicação da metodologia de Foster (1987), que resultou na definição de classes e elaboração do mapa de vulnerabilidade.

A metodologia adotada, conforme as etapas antes indicadas, corresponde a procedimentos básicos, que foram encaminhados visando a obtenção de dados e informações gerais para execução do trabalho. Em estudos futuros poderão ser necessárias metodologias específicas complementares, como o monitoramento sazonal do comportamento físico e químico das águas subterrâneas, investigações geofísicas, e provável estudo detalhado sobre os mecanismos de infiltração e transporte de contaminantes nas zonas não saturada e saturada, em trechos críticos da área.

Conhecendo-se as principais características e aspectos relativos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos no âmbito estudado, foram procedidas avaliações, interpretações e análises que permitiram a elaboração da tese.

2 – ASPECTOS FISIOGEOGRÁFICOS

Fisiogeografia caracteriza-se como sendo a parte da geografia que estuda as condições do meio físico da terra, sendo sinônimo de Geografia Física. Diante desse contexto, o presente trabalho descreve alguns dos mais importantes aspectos referentes ao clima, relevo, geologia, solos e cobertura vegetal da área estudada, os quais podem mostrar certo relacionamento com a ocorrência, controle, distribuição e a qualidade dos recursos hídricos.

2.1 - CLIMA

A expressão **clima**, diz respeito às características médias da atmosfera em determinado local, as quais são estabelecidas em função da circulação das massas de ar. As massas de ar, cujo estudo consiste numa moderna ferramenta para a Climatologia, condicionam as alterações climáticas retratadas pelos seus diferentes parâmetros (Ayoade, 1983).

Em determinados estudos, que tenham como meta uma avaliação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, são em geral aplicados e avaliados basicamente os efeitos resultantes dos processos e mecanismos da circulação atmosférica. Neste caso utilizam-se elementos climáticos obtidos através de observações contínuas por um longo período, aproximadamente de 30 a 35 anos. O conhecimento desses elementos, juntamente com a aplicação de métodos hidrológicos, possibilita fazer análises e avaliações acerca de diversos aspectos, como: recarga anual e reservas de águas subterrâneas; previsão de enchentes; dimensionamento de reservatórios superficiais; volumes d'água explotáveis de aquíferos; períodos, métodos e intensidade de recarga artificial de aquíferos; programas de execução de obras de controle de enchentes; medidas emergenciais para atenuação dos efeitos da seca; etc.

Os elementos climáticos comumente usados e de maior importância para a hidrologia superficial e subterrânea são a pluviometria, a temperatura e a evaporação. A umidade relativa do ar, insolação, pressão atmosférica e os ventos, apresentam também sua importância nos estudos de avaliação dos sistemas hídricos.

A caracterização climática da área em estudo foi procedida, principalmente, mediante a utilização de dados obtidos das seguintes fontes: Estação Meteorológica do Instituto

Nacional de Meteorologia (INMET, 1992), no município de Ceará Mirim; relatório de graduação de Cruz (1983); Tahal-Sondotécnica (1969); IDEC/RN (1991), atualmente IDEMA.

O INMET tem registrado os valores de elementos climáticos em diversas cidades e municípios do Brasil, inclusive em Ceará Mirim/RN, para o período entre 1961 e 1990. No referido município, a estação meteorológica do INMET situa-se nas dependências do Colégio Agrícola, área urbana da cidade. A Tabela 2.1 apresenta os valores médios para os seguintes dados: Precipitação total média; Temperaturas média, máxima e mínima; Evaporação total; umidade relativa e insolação total. A Tabela 2.2 contém os dados de precipitação média, mensal e anual, dos municípios de Taipu e Poço Branco.

2.1.1 – Pluviometria

As médias pluviométricas mensais na região estudada apresentaram valores máximos entre **204,50 mm** (Ceará Mirim) e **145,60 mm** (Poço Branco), com um valor intermediário de **135,40 mm** no mês de Abril, em Taipu. Os valores mínimos variaram entre **17,50 mm** (Novembro, em Ceará Mirim) e **6,60 mm** (Outubro, em Poço Branco), com valor intermediário em Taipu de **7,20 mm**, em Novembro (Tabelas 2.1 e 2.2).

Os totais pluviométricos anuais variaram de **1.260,10 mm** (em Ceará Mirim), até **771,10 mm** (em Poço Branco), tendo Taipu um valor de **804,30 mm**. Esses totais refletem em geral o comportamento decrescente das chuvas de leste para oeste, a partir da linha de costa, no sentido do interior do continente.

O regime pluviométrico revela que as chuvas mais intensas ocorrem no 1^o semestre do ano, entre Março e Junho, com precipitações mensais ultrapassando o patamar de **150,00 mm** em Ceará Mirim, e ficando entre **100,00** e **150,00 mm** em Taipu e Poço Branco (Figura 2.1). O pico das chuvas é em Abril, com valores de **204,50 mm**, **135,40 mm** e **145,60 mm**, nos respectivos municípios (Ceará Mirim, Taipu e Poço Branco).

As chuvas começam a diminuir significativamente no segundo semestre, em geral, a partir de Julho. A menor incidência de precipitações, contudo, corresponde aos meses de Outubro, Novembro e Dezembro, em geral abaixo de **20,00 mm** (Figura 2.1).

Tabela 2.1 – Dados Climatológicos Médios Mensais e Anuais. Estação Climatológica de Ceará Mirim/RN (1961 – 1990).
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Local	Dados Climatológicos	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
Ceará Mirim	P	53,90	109,40	187,80	204,50	172,20	173,20	160,00	80,50	48,80	18,70	17,50	34,50	1260,10
	Ev	168,10	142,80	119,00	54,00	90,80	93,10	93,60	118,60	134,90	176,30	181,30	181,00	1553,50
	T^o min	22,10	24,40	22,60	22,60	22,00	21,40	20,70	20,50	20,60	21,10	21,50	22,80	21,80
	T^o med.	26,40	26,50	26,30	26,10	35,40	25,20	24,00	24,20	23,40	24,70	25,90	26,30	25,40
	T^o max	31,40	31,30	31,00	30,60	29,70	28,80	28,30	29,10	29,50	30,40	31,00	31,30	30,20
	UR	77,00	78,00	81,00	83,00	84,00	84,00	84,00	89,00	77,00	75,00	74,00	75,00	79,30
	Ins	254,70	205,60	198,90	173,60	193,80	178,00	192,80	235,80	248,20	253,20	279,90	262,90	2677,20

Tabela 2.2 - Dados Climatológicos Médios Mensais e Anuais. a) Taipu/RN (1911 – 1978); b) Poço Branco/RN (1962 – 1978); Fonte: Cruz (1985).

Local	Dados Climatológicos	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
Taipu	P	38,70	72,90	124,70	135,40	112,30	121,30	85,10	38,70	19,90	7,20	8,90	11,70	771,10
Poço Branco	P	41,60	63,00	121,60	145,60	116,80	102,20	111,50	41,40	30,80	6,60	6,80	16,40	804,30

P – Precipitação Pluviométrica (mm); **Ev** – Evaporação Total (mm); **T^o min** – Temperatura Mínima (°C); **T^o med.** – Temperatura Média (°C); **T^o max** – Temperatura Máxima (°C); **UR** – Umidade Relativa (%); **Ins** – Insolação Total (horas)

Figura 2.1 - Precipitação Pluviométrica média mensal de Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990), Taipu/RN (Período: 1922-1967) e Poço Branco/RN (Período: 1962-1978).

2.1.2 – Temperatura

As temperaturas na área estudada, com base nos registros da cidade de Ceará Mirim (Tabela 2.1), retrataram pouca variação entre os valores máximos e mínimos. As temperaturas médias mensais oscilaram entre $26,5^{\circ}\text{C}$ e $23,4^{\circ}\text{C}$, com amplitude térmica da ordem de $3,1^{\circ}\text{C}$. As temperaturas médias em Taipu e Poço Branco se encontram, também, neste intervalo, sendo da ordem de $25,3^{\circ}\text{C}$ e $24,7^{\circ}\text{C}$, respectivamente, segundo dados do IDEC/RN (1991).

Na figura 2.2 verifica-se o comportamento anual da temperatura, evidenciando uma queda progressiva durante o período chuvoso (março a julho), passando em seguida a um comportamento crescente nos meses correspondentes ao período seco (agosto a fevereiro). Os meses mais frios vão de julho a setembro, e os mais quentes de dezembro a fevereiro.

2.1.3 – Insolação

Conforme a Tabela 2.1, a Insolação Total anual em Ceará Mirim é de **2.677,20 horas**, sendo o mês de Novembro o mais ensolarado, com valor médio de **279,9 horas** de luz solar. A menor incidência de insolação refere-se a Abril, em média com **173,6 horas**.

Na figura 2.3 é ilustrado o regime médio anual da insolação na área de Ceará Mirim. A insolação decresce bruscamente no primeiro semestre do ano (período chuvoso de Março a Junho), e volta a subir progressivamente no segundo semestre (período de estiagem).

Figura 2.2 - Temperatura média mensal de Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990).

Figura 2.3 - Insolação total mensal de Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990).

2.1.4 – Umidade Relativa do Ar

O regime médio anual da Umidade Relativa do Ar é, em linhas gerais, correlato ao das precipitações médias anuais em Ceará Mirim, conforme constatado na Figura 2.4. À medida que aumenta a intensidade das chuvas (período chuvoso do primeiro semestre) a umidade relativa torna-se crescente, decrescendo em seguida no período de estiagem.

Figura 2.4 - Umidade Relativa do Ar - média mensal de Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990).

Os valores máximos de umidade relativa são alcançados entre Julho e Agosto, da ordem de **84%**. Os valores mínimos ocorrem no intervalo de Outubro a Dezembro, no qual a Umidade Relativa alcança os índices mais baixos no mês de Novembro, com **74%**. A média anual é avaliada em **79,3%** (Tabela 2.1). Em Taipu e Poço Branco, a Umidade Relativa média é da mesma ordem, em torno de **79%** (em ambas cidades).

2.1.5 – Evaporação e Evapotranspiração

O comportamento da evaporação durante o ano (Figura 2.5) se assemelha ao da temperatura e da insolação. As taxas decrescem quase que linearmente até Abril, seguindo um ligeiro crescimento em Maio, e atingindo um patamar constante (em torno de **95,00 mm**) entre

Junho e Julho. No segundo semestre, a partir de Agosto, as taxas de evaporação se elevam de forma progressiva, até atingir novo patamar (em torno de **180,00 mm**) no mês de Dezembro.

Figura 2.5 - Evaporação mensal média em Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990).

A evaporação média mensal variou de um mínimo de **54,00 mm** em Abril, até um máximo de **181,30 mm** em Novembro, totalizando uma média anual acumulada de **1.553,5 mm** (Tabela 2.1).

A Evapotranspiração Potencial anual (Etp) foi obtida mediante aplicação do método de Turc. A equação é dada por:

$$Etp = 0,40 \cdot (Ig + 50) \cdot t / (t + 15)$$

Neste caso temos:

Etp – Evapotranspiração Potencial mensal (mm);

t – Temperatura média mensal do período na área estudada ($^{\circ}\text{C}$);

Ig – Índice global de radiação solar mensal, em calorias/cm²/dia, obtidas por leitura nos mapas de Black (Arquiv fur Meteorologic Geophysik und Bioklimatologie Wien-Band 72 Heft, 1956).

Para o mês de Fevereiro, ao invés do coeficiente “0,40”, usa-se o coeficiente “0,37”. Na Tabela 2.3 são apresentados os parâmetros necessários aos cálculos (Ig e t), e os valores da Etp obtidos para o período entre 1961 e 1990. A Etp total média anual foi de **1503,39 mm**.

Sendo conhecidos os valores de Precipitação média mensal para o período considerado, e a Etp, foi calculada a Evapotranspiração Real (Etr) pelo método de Thornthwaite, sendo encontrado um valor médio anual de **1032,10 mm**.

Tabela 2.3: Evapotranspiração Potencial (Método de Turc). Período: 1961 – 1990. Ceará Mirim/RN. Coordenadas Geográficas: 5° 37' 18" – Latitude Sul; 35° 35' 48" - Longitude Oeste.

Parâmetro	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
P	53,90	109,4	187,8	204,5	172,2	173,3	160,0	80,5	48,8	18,7	17,5	34,5	1260
T ⁰	26,40	26,5	26,3	26,1	25,4	25,2	24,0	24,2	23,4	24,7	25,9	26,3	25,4
Ig	450	400	460	370	370	375	450	440	510	54,5	550	500	-
Etp	127,5	106,2	129,9	106,7	105,6	106,6	123,1	121,0	136,5	148,1	151,9	140	1503

2.1.6 – Balanço Hídrico

O balanço hídrico foi estabelecido de acordo com o método de Thornthwaite, para o período de 1961 a 1990. Conforme é apresentado na Figura 2.6, é possível uma visualização das disponibilidades de água no solo. Foram constatados os seguintes aspectos:

- O ano se inicia com um déficit hídrico de 73,60 mm, até o mês de Fevereiro, onde a Etp é superior a Precipitação, e não existe excedente hídrico;
- Em seguida, a partir de Março, as chuvas superam a Etp, e os solos começam a receber água infiltrada, até saturação. Este comportamento se prolonga até metade do mês de Agosto, formando um excedente hídrico de 229,00 mm neste período;
- A partir da segunda quinzena de Agosto, a Etp volta a ser maior que a precipitação, e tem início novamente a retirada de água do solo, ocasionando novo déficit hídrico, totalizando nesta parte do ano 397,60 mm. O déficit total anual é estimado em 471,20 mm;
- Do total precipitado parte se escoa, outra é evapotranspirada, e a uma outra se infiltra no solo. A parte efetivamente infiltrada corresponde ao excesso de água do solo, avaliada em 229,00 mm. Sendo a precipitação média anual de 1.260,10 mm, a taxa de infiltração é da ordem de 18,20 % da precipitação.

Figura 2.6 - Representação do Balanço Hídrico. Estação Meteorológica do INMET - Ceará Mirim/RN (Período: 1961-1990).

2.1.7 – Tipos Climáticos

Segundo a classificação regional de Koppen, o tipo climático predominante na área é classificado como “**Clima Quente e Úmido**”, com estação seca no verão e chuvas no Outono-Inverno, denominado **As’**.

Neste tipo de clima a estação chuvosa tem início em Fevereiro e se prolonga até Julho, com precipitações máximas, quase sempre, em Abril. A estiagem mais rigorosa ocorre nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro, sendo geralmente Novembro o mês mais seco.

As temperaturas, segundo a classificação regional (**As’**), são elevadas, com médias anuais em torno de 24°C . O mês mais quente é Dezembro ou Fevereiro, e o mês mais frio Julho, ou, raramente Agosto. As temperaturas médias na área variaram de $24,7^{\circ}\text{C}$ a $25,4^{\circ}\text{C}$.

Mesmo com o predomínio do clima Sub-úmido (**Quente e úmido**), anteriormente relatado, a região estudada apresenta uma transição para o clima **Muito Quente, semi-árido**, no

setor oeste da área, abrangendo os municípios de Taipu e Poço Branco. Deve-se enfatizar que essa transição se processa numa pequena distância, em torno de 40 Km a partir da linha de costa.

2.2 – RELEVO E HIDROGRAFIA

A compartimentação geomorfológica de uma determinada área é definida em função da distribuição e continuidade espacial das formas de relevo, tendo como principais critérios de distinção sua gênese e homogeneidade, que por sua vez dependem de fatores litoestruturais e climáticos (PROJETO RADAMBRASIL, 1981).

Na área de estudo as formas de relevo enquadram-se nas 03 (três) unidades geomorfológicas regionais, definidas em grande parte da região nordestina, que são: a Depressão sertaneja; os Tabuleiros Costeiros; as Formas de Acumulação.

A **Depressão Sertaneja** consiste numa unidade geomorfológica que ocorre no setor sudoeste da área, a partir da cidade de Taipu, sendo disposta adjacente aos Tabuleiros Costeiros, e correspondendo essencialmente aos terrenos cristalinos pré-cambrianos. Caracteriza-se, em geral, como uma região mais retalhada pela drenagem, em função das próprias condições de baixa permo-porosidade do substrato rochoso. As cotas altimétricas são inferiores a 100,00 metros.

Os **Tabuleiros Costeiros** situam-se entre a Depressão Sertaneja e o Oceano Atlântico, sendo representados por formas tabulares desenvolvidas pelos sedimentos da Formação Barreiras. Apresentam relevo de topo plano, fraco entalhe da drenagem, e vales de fundo plano, principalmente a partir de Taipu, em direção à costa. As altitudes variam entre 70,00 e 100,00 metros, e o vale de fundo plano coincide, aproximadamente, com a distribuição das formas de acumulação. A transição dos tabuleiros para a depressão sertaneja não apresenta desnível importante.

As **Formas de Acumulação** se sobrepõem aos tabuleiros, sendo relacionadas aos seguintes tipos:

- **Formas de Planície Fluvial:** Área plana resultante de acumulação fluvial, sujeita a inundações periódicas. Ocorre de forma mais expressiva desde as imediações de Taipu, até o limite com a região dos mangues a leste (cotas em geral até 5,0 metros);
- **Planície Flúvio-marinha:** Área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, geralmente sujeitas a inundações periódicas e penetração das águas do mar, favorecendo o desenvolvimento da vegetação de mangues. Ocorre aproximadamente no trecho entre Estivas e Genipabu, no extremo leste da área (cotas até 5,0 metros);

- Dunas Fixas: Depósitos de origem marinha e/ou continental fixados por vegetação, cujas formas originaram-se por ação dos ventos. Ocorrem na área em alguns trechos da sua porção nordeste e sudeste (cotas até 60,00 metros);
- Dunas Móveis: Depósitos de origem marinha e/ou continental atualmente remodelados por ação dos ventos, sem apresentar cobertura vegetal fixadora. Ocorrem no extremo leste da área, margeando o oceano (cotas entre 30,0 e 60,0 metros).

Em relação à hidrografia, a área está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim, especificamente abrangendo o seu baixo e médio cursos. A drenagem desenvolvida reflete os tipos de terrenos geológicos retalhados pelo Rio Ceará Mirim e seus tributários, possuindo maior densidade na área das rochas cristalinas drenadas a oeste/sudeste.

O Rio Ceará Mirim é, naturalmente, de regime intermitente até proximidades de Taipu, sendo perenizado na porção oriental (entre Taipu e Ceará Mirim) por ressurgência das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, através de fontes ou olhos d'água. As águas liberadas da Barragem de Poço Branco também contribuem para a perenização, embora artificial, de um trecho do rio entre Poço Branco e Taipu.

2.3 – GEOLOGIA

A região estudada engloba parte dos três grandes domínios geológicos do Estado, que tem sido caracterizados e diferenciados em estudos regionais sob a luz de critérios litoestratigráficos, estruturais e geocronológicos. Os referidos domínios são apresentados no Mapa Geológico da Figura 2.7, cuja sequência cronoestratigráfica é estabelecida desde a base até o topo na seguinte ordem:

- Domínio Sedimentar Tércio-Quaternário e Quaternário (topo);
- Domínio Sedimentar Cretáceo (intermediário);
- Domínio Cristalino Pré-cambriano (base).

2.3.1 – Domínio Cristalino Pré-cambriano

O conjunto de rochas Pré-cambrianas do Rio Grande do Norte se insere no contexto geológico da Província Borborema de Almeida Et. Ali (1977).

A Província Borborema é representada por uma sequência de rochas cristalinas que formam o embasamento regional de seqüências sedimentares Fanerozóicas (Cretáceo, Terciário e Quaternário), as quais se distribuem, preferencialmente, nas regiões Costeiras Norte e Leste do Estado.

Os terrenos cristalinos ocupam, aproximadamente, 60% da superfície estadual (cerca de 31.809 Km²), e, no âmbito da área estudada, afloram na porção oeste/sudoeste abrangendo os municípios de Taipu e Poço Branco. As rochas que compõem o embasamento cristalino do Rio Grande do Norte são agrupadas em duas grandes unidades litoestratigráficas, que são: o Grupo Caicó (ou Complexo Caicó), e o Grupo Seridó (Jardim de Sá, 1984).

O Grupo Caicó representa a unidade mais antiga, Arqueana, constituída por uma associação de rochas gnáissico-migmatíticas e graníticas.

A geologia do Grupo Seridó compõe a conhecida Faixa Dobrada Seridó, sendo caracterizada por uma sucessão de rochas metassedimentares de idade Proterozóica, intrudidas por granitóides Brasileiros. Divide-se em três formações, que são:

- **Formação Jucurutu** (posição inferior): composta por biotita-gnaisses, gnaisses quartzo-feldspáticos, intercalações de mármore, calco-silicáticas, quartzitos, micaxistos, metaconglomerados, anfibolitos, formações ferríferas e unidades de ortognaisses;
- **Formação Equador** (posição intermediária): predominam quartzitos puros, feldspáticos ou muscovíticos;
- **Formação Seridó** (posição de topo): predominam micaxistos de natureza pelítica a grauváquica, com intercalações de metavulcânicas máficas, mármore, calco-silicáticas e quartzitos.

Na região estudada, predominam rochas cristalinas do Complexo Caicó (gnaisse e migmatitos), com ocorrências mais localizadas de rochas de Grupo Seridó (micaxistos), ao sul da cidade de Taipu.

Em estudos de semi-detalle realizados a sul de Taipu (Cruz, 1983), foram encontrados litotipos como micaxistos com níveis quartzíticos, gnaisses anfibolíticos, migmatitos, monzogranitos foliados de coloração rósea, monzogranitos cinza e granodioritos.

2.3.2 – Domínio Sedimentar Cretáceo

Os sedimentos Cretáceos afloram, principalmente, no extremo norte do Estado do Rio Grande do Norte, e se prolongam, a oeste, para o Estado do Ceará. Constituem a Bacia Potiguar cujo registro sedimentar, com idades entre 100 a 120 milhões de anos, ocorre numa faixa emersa no continente e outra submersa no Oceano Atlântico. A Bacia Potiguar formou-se em consequência do processo de deriva continental, que resultou na separação dos continentes Sul-americano e Africano, culminando com a abertura e formação do Oceano Atlântico.

A composição estratigráfica regional da Bacia Potiguar registra várias formações, destacando-se na sua parte emersa aflorante as Formações Açu (na base) e Jandaíra (no topo), que correspondem ao Grupo Apodi segundo Oliveira & Leonardos (1940).

A Formação Açu (idade aproximada em torno de 112 a 92 milhões de anos) repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino, e forma a borda sul da Bacia, sendo constituída por conglomerados, arenitos avermelhados grosseiros, arenitos finos argilosos, siltitos, folhelhos e argilitos.

A Formação Jandaíra (idade estimada entre 90 a 80 milhões de anos) se sobrepõe à Formação Açu, e é constituída por calcários e dolomitos compactos, com intercalações de margas, siltitos e folhelhos.

No âmbito da área de estudo, os sedimentos das Formações Açu e Jandaíra afloram em pequena faixa no trecho noroeste (norte de Taipu e Poço Branco). No entanto, prosseguem em profundidade no sentido norte e leste, onde são encobertos por sedimentos Tércio-quaternários.

Os dados de subsuperfície existentes entre Ceará Mirim e Taipu evidenciaram o topo da Formação Açu (trecho não aflorante) situado entre 45,00 e 136,00 metros. A Formação Jandaíra, por sua vez, teve seu topo registrado no intervalo de 12,00 a 34,00 metros.

2.3.3 – Domínio Tércio-Quaternário e Quaternário

2.3.3.1 – Sedimentos Tércio-quaternários:

São representados, principalmente, pelas seqüências litológicas da Formação Barreiras, que em termos regionais, compõe a Faixa Sedimentar Costeira Oriental do Nordeste do Brasil (Figura 2.8), correspondendo a uma extensão da Bacia que engloba parte dos Estados da Paraíba e Pernambuco.

Figura 2.8 - Localização da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte e sua divisão em sub-bacias. (Compilado de Mabesoone e equipe, 1991 a).

(In: Duarte, 1995)

O termo **Barreiras** foi, inicialmente, usado no começo do século (meados da década de 20), como referência para indicar morfologicamente as rochas sedimentares Cenozóicas do litoral oriental brasileiro. A primeira caracterização litológica a respeito foi efetuada por Branner, 1902 (In: Mabelsoone, 1991a), que elaborou um mapa da região de Natal.

Estudos posteriores conduziram a uma caracterização mais detalhada dessas rochas sedimentares, que foram discutidas em diversos trabalhos como os de Bigarella e Andrade (1964, In: Alheiros et al, 1988), Campos e Silva (1966, In: Alheiros et. ali op. cit.), Mabelsoone et al (1972), Mabelsoone et ali (1987, In: Alheiros & lima Filho op. cit.), e Bossi et ali (1982, In: Alheiros & Lima Filho op. cit.).

Contemporaneamente, seguiram-se reavaliações estratigráficas que passaram a denominar os sedimentos Barreiras de **Grupo Barreiras**, composto pelas formações Serra dos Martins, Guararapes e Macaíba.

Em estudos relativamente mais recentes, Mabelsoone e equipe (1991-a) constataram, após revisão de dados, que a seqüência sedimentar até então chamada de Grupo Barreiras deveria consistir de uma formação, passando a denominá-lo de **Formação Barreiras**, com idade comumente Pliocênica. No presente trabalho será adotada esta terminologia.

A **Formação Barreiras** compreende, litologicamente, sedimentos clásticos como areias e/ou arenitos friáveis a pouco consolidados, quartzosos a subarcosianos, de coloração creme, alaranjada, vermelha e roxa, além de níveis ou camadas de argila, siltes, cascalho e seixos. Corresponde à unidade litoestratigráfica aflorante mais representativa na área estudada, cobrindo um pouco mais da metade da superfície total. Os dados de superfície e subsuperfície (obtidos através de perfis dos poços), indicaram a natureza essencialmente clástica da formação. As espessuras do pacote variam desde 15,00 até 80,00 metros. No trecho do vale os sedimentos Barreiras acham-se encobertos por sedimentos aluviais, e em alguns setores da porção oriental da área por sedimentos de praias e dunas.

2.3.3.2 – Sedimentos Quaternários:

Compreendem os sedimentos de cobertura da Formação Barreiras, incluindo os pertencentes à Formação Potengi, areias de dunas, sedimentos aluviais, sedimentos de mangues, Beach-rocks (arenitos de praia) e sedimentos de praia (Fonseca, 1991). No âmbito dos terrenos cristalinos também ocorrem depósitos aluviais nos rios e riachos.

- Formação Potengi:

Receberam essa denominação, através de Vilaça (1985), os sedimentos areno-quartzosos, pouco argilosos, com grãos de quartzo e limonita, de coloração amarelo-avermelhada. Tem sua origem associada à atividade eólica, representando distintas gerações de dunas retrabalhadas e contribuições dos sedimentos da Formação Barreiras.

A cobertura Potengi ocorre na área estudada recobrando a Formação Barreiras nas porções mais elevadas do terreno, que apesar de ser mais facilmente identificada em campo, não foi possível a sua representação em mapa.

- Areias de dunas:

Ocorrem tanto sobre os sedimentos da Formação Barreiras como sobre os sedimentos aluviais, caracterizando-se por acumulações de areia formando elevações topográficas resultantes de atividade eólica, em geral alongadas na direção predominante SE-NW. São areias essencialmente quartzosas, bem selecionadas, com granulometria fina a grosseira.

Podem se apresentar fixadas ou não por vegetação natural, o que permite subdividi-las em dois sistemas de dunas: o de dunas mais antigas (geralmente fixas), e o de dunas mais recentes (geralmente móveis). As dunas mais antigas apresentam altitudes variando de 40,00 a 120,00 metros, e cores avermelhadas e amareladas. As dunas mais recentes são normalmente esbranquiçadas a pouco amareladas, morfologicamente planas a pouco onduladas, ocupando praias e baixadas (cotas de 20,00 a 40,00 metros).

Ocorrem na porção (litorânea) leste da área, sendo as dunas móveis indicadas pelas acumulações na praia de Genibabu, e as fixas evidenciadas por cordões alongados entre Genipabu e Contendas (setor nordeste da área).

- Sedimentos aluviais:

Formam planícies e terraços de sedimentos arenosos a areno-argilosos depositados ao longo dos vales fluviais do Estado (rios Apodi-Mossoró, Piranhas-Açu, Maxaranguape, Ceará Mirim, Potengi, Trairi, Curimataú, etc.). São depósitos de natureza heterogênea com respeito à granulometria, composição mineralógica, textura e selecionamento, além de se apresentarem com pequenas dimensões e de forma variável.

Na região estudada, as aluviões são, em geral, mais desenvolvidas ao longo do vale do Rio Ceará Mirim, e, em especial, no trecho entre Ceará Mirim e a costa, onde alcançam larguras em torno de 1.500 metros. No geral, constituem-se de depósitos clásticos arenosos a areno-argilosos, de cores cinza a cinza-escuro, e em muitos trechos, são ricos em matéria orgânica.

- Sedimentos de mangue:

Compreendem depósitos essencialmente siltico-argilosos, ricos em matéria orgânica, de cor escura, que ocorrem na região estuarina dos rios. Ocorrem no setor oriental da área, num trecho de, aproximadamente, 5 Km a partir da linha de costa, no estuário do Rio Ceará Mirim, entre as localidades de Genipabu a Contendas.

- Beach-rocks (arenitos de praia):

No Estado do Rio Grande do Norte, os Beach-rocks ocorrem nos atuais ambientes de estirâncio e pós-praia, sendo caracterizados por serem arenitos finos a grosseiros compactos, compostos por siliciclastos (dominantes), bioclastos (comuns) e cimento carbonático. Apresentam certa abundância de estruturas sedimentares, principalmente as do tipo plano-paralelas, cruzadas acanaladas e espinha de peixe.

Sua ocorrência, na área de trabalho, restringe-se a exposições em bancos rochosos paralelos à costa, na praia de Genipabu, não sendo possível a representação em mapa por questões relativas à escala.

- Sedimentos de praia:

São indicados por areias essencialmente quartzosas, e pequenas proporções de minerais pesados, micas e fragmentos de rochas. Possuem granulometria, em geral, uniforme, com moderado a bom selecionamento. Situam-se no extremo leste da área, influenciados pelo fluxo e refluxo das marés.

- Depósitos bioclásticos:

Correspondem a depósitos de diatomita e turfa que podem ocorrer associados a sedimentos praias, aluviais e lacustres. As principais ocorrências de diatomita distribuem-se no litoral oriental do Estado, desde o município de Touros (a norte) até Goianinha (a sul), em trechos topograficamente mais baixos (lagoas, canais abandonados de rios), destacando-se os depósitos na região do município de Ceará Mirim. No entanto, os depósitos situam-se além dos limites da área de estudo, à cerca de 10 Km da comunidade de Coqueiros.

Os depósitos de turfa estão associados aos baixos cursos dos rios, cuja origem é devido ao soterramento de antigos manguezais (Moraes, 1984). As ocorrências mais importantes são das regiões de Ceará Mirim, Punaú-Piranhas e Trairi-Arari.

2.3.4 – Aspectos estruturais

Com respeito ao comportamento estrutural da região estudada, existem evidências de tectônica dúctil e frágil, sendo a tectônica frágil a mais importante do ponto de vista hidrogeológico, na medida em que exercem o controle deposicional das seqüências sedimentares, e suas potencialidades de armazenamento e qualidade físico-química das águas subterrâneas.

As evidências da tectônica dúctil nos terrenos cristalinos são inúmeras, sendo indicadas por uma complexidade de estilos e tipos de dobramentos antigos (Pré-cambrianos), resultantes de eventos orogenéticos que atuaram nos corpos rochosos mediante diversos episódios tectono-metamórficos. Como resultado, tem-se registrado nas rochas cristalinas diversas estruturas dobradas e planares que, no âmbito regional, conferem um trend estrutural ao arcabouço rochoso com direção dominante N-NE.

A tectônica de natureza frágil é registrada, praticamente, em todos os tipos de terrenos geológicos do Estado, sendo evidenciada através de planos de falhas e fraturas nas rochas. Seu registro direto é mais facilmente constatado nos terrenos cristalinos aflorantes, e o registro indireto é determinado por estudos de subsuperfície através de sondagens, poços e pesquisas com métodos geofísicos.

As estruturas de blocos falhados e/ou fraturados, no domínio sedimentar, é resultante de processos de reativação e/ou acomodação das seqüências aos planos de falhas ou fraturas originários do embasamento cristalino, sendo mais difícil e problemática a sua identificação em campo, fotografias aéreas ou imagens de satélite.

Os objetivos do presente estudo dispensam comentários detalhados acerca da evolução tectônica e metamórfica dos corpos rochosos cristalinos, principalmente, quando desenvolvida em estado plástico e envolvendo recristalização de minerais. São mais importantes as indicações sobre os aspectos relativos às estruturas rupturais (falhas e fraturas), e sua influência sobre as características hidrogeológicas das coberturas sedimentares.

Em estudos de subsuperfície efetuados por Campos & Silva, 1971 (In: Melo, 1995), através de técnicas geofísicas e de correlação litológica entre perfis de poços, foi evidenciado o controle estrutural das seqüências sedimentares por falhas de gravidade, em algumas regiões da Faixa costeira do Rio Grande do Norte, inclusive na área do município de Ceará Mirim. A feição estrutural definida foi de blocos escalonados, então denominada de Graben de Ceará Mirim, com direção predominante NW-SE. O mesmo se acha preenchido por sedimentos Cretáceos (Formações Açu e Jandaíra), Terciários (Formação Barreiras) e Quaternários (aluviões, sedimentos eólicos, etc.).

Investigações de semi-detalle também foram realizadas por Cruz (1983), em afloramentos de rochas cristalinas situadas na região a sul de Taipu, onde foram detectadas diversas estruturas do tipo falhas normais, falhas transcorrentes, zonas de cisalhamento e fraturas. Medições efetuadas em 220 planos estruturais constataram, na área, duas direções preferenciais de fraturamentos, correspondentes aos intervalos “N10° - 30°E”, e “N50° - 70°W”. A Figura 2.9 ilustra as direções no diagrama de rosetas.

A Figura 2.10 apresenta a compartimentação tectônica de um trecho da Bacia Sedimentar Costeira, entre Touros (RN) e Cabedelo (PB), em que são ilustradas diversas falhas e sistemas de falhas detectadas em estudos regionais. O panorama estrutural da área evidencia a existência de altos e baixos estruturais, e a constatação de que o Graben de Natal corresponde ao Graben de Ceará Mirim definido por Campos & Silva, 1971 (In: Melo, 1995).

No presente trabalho, procedeu-se a uma correlação litológica de perfis de poços, conforme as Figuras 3.1.1 a 3.1.5 (Item 3.4.3), com o objetivo de se caracterizar a estruturação geológica e hidrogeológica da área. O comportamento estrutural retratado pelas seções e perfis reforça a hipótese da existência do Graben de Ceará Mirim, o qual deve corresponder a uma extensão regional do Graben de Natal (Figura 2.10) indicado nos estudos da SERHID/Hidroservice (1998), apresentados no contexto do Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Figura 2.9 - Diagrama mostrando as direções preferenciais das fraturas.
Área total -120 planos. (segundo Cruz, 1983)

- ① Falha de Pedra Grande
- ② Falha de Touros
- ③ Falha de João Câmara
- ④ Sistema de Falhas de Pureza/C. Mirim/S.G. Amarante/Parnamirim
- ⑤ Falha de Jenipabú
- ⑥ Falha de Natal
- ⑦ Sistema de Falhas de Nisia Floresta/S.J. Mipibú/Praia do Cotovelo
- ⑧ Sistema de Falhas de Arês/Golanhim/Canguaretama
- ⑨ Falha de Mamanguape
- ⑩ Falha do Rio Tinto

Contato Cristalino/Barreiras

Contato Aproximado do Barreiras/Bacia Potiguar

Figura 2.10 - Compartimentação Tectônica da Bacia Costeira (SERHID/Hidroservice, 1998).

2.4 – ASPECTOS PEDOLÓGICOS

Os aspectos relativos aos solos predominantes na área são apresentados com base no levantamento de dados obtidos pelo Projeto Radambrasil (1981), que adotou as normas do SNLCS (Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos)/EMBRAPA, e os critérios estabelecidos na “Soil Taxonomy” (1975). Os seguintes tipos de solos são encontrados:

- **Solos Hidromórficos Gleizados Eutróficos:** São solos que ocorrem em áreas baixas, com relevo plano, e se distribuem em porções terminais dos rios e riachos, com fertilidade natural alta. São rasos, sofrem influência do aquífero freático, e mal drenados. Na sua maior parte são cultivados com cana de açúcar e pastagem, e em menor escala com milho e banana. O aproveitamento racional requer drenagem para manter o nível d’água na altura adequada. Sem drenagem podem ser usados para cultivo de arroz.

- **Solos Podzólicos Vermelho-amarelo Eutróficos:** Solos com fertilidade natural alta, relevo plano, moderada a imperfeitamente drenados, medianamente profundos. São utilizados na cultura de algodão arbóreo, feijão, milho, sisal e mandioca, em pequenas áreas, sendo em grande parte usados para pastagem natural na criação extensiva de bovinos.

- **Latossolo Amarelo Distrófico:** Solos com fertilidade natural baixa, profundos, fortemente drenados, bastante porosos, com relevo plano e textura média. Em certos trechos são usados com fruticultura, principalmente manga, banana, jaca, abacate, além de mandioca, sisal, milho, feijão e pastagem, sendo recomendada a adubação e irrigação no período seco.

- **Podzólicos Vermelho-amarelo Distrófico:** São solos de baixa fertilidade natural, com relevo plano, profundos, muito porosos, acentuadamente drenados, muito restritos quanto ao desenvolvimento de atividades agropecuárias.

- **Solos Indiscriminados de Mangues:** Ocorrem próximo à desembocadura do Rio Ceará Mirim, sob influência das marés, com vegetação característica denominada mangue ou manguezal. São mal drenados, com textura indiscriminada e relevo plano. Não são utilizados na agricultura, principalmente pelo excesso de sais e inundações constantes.

- **Areias Quartzosas Marinhas Distróficas:** Solos com fertilidade natural muito baixa, profundos, excessivamente drenados, textura arenosa e relevo plano. O desenvolvimento agrícola da maioria das culturas é limitado pela baixa fertilidade natural, drenagem excessiva e baixa capacidade de retenção de umidade. As culturas de coqueiros e cajueiro se adaptam bem a estes solos.

- **Planossolo Solódico:** Solos de baixa permeabilidade (alta presença de sódio), e imperfeitamente drenados. Apresentam excesso de água no período chuvoso, e ressecamento no

período seco. Possuem boa fertilidade natural, embora os altos teores de sódio limitem o desenvolvimento dos vegetais.

2.5 – ASPECTOS DA VEGETAÇÃO

As formações vegetais naturais possíveis de serem encontradas na área são correspondentes aos tipos descritos a seguir:

- **Caatinga Hipoxerófila:** Apresenta um menor grau de xerofitismo, com vegetação de maior porte e mais densa que a hiperxerófila. Ocorre, mais precisamente, de forma predominante a SW da área, englobando parte dos municípios de Poço Branco e Taipu. Entre as espécies mais encontradas temos a *Caesalpinia Pyramidalis* (caatingueira), *Anadenanthera Macrocarpa* (angico), *Spondias Tuberosa* (umbuzeiro), *Manihot* sp. (maniçoba).

- **Floresta Subperinifolia** (incluindo cerrados e formações florestais secundárias): Abrange, aproximadamente, o trecho entre Taipu e as comunidades de Contendas e Trevo do Vale, sendo caracterizada por recobrir a faixa úmida, apresentando formação densa de baixo porte, e na sua maioria é constituída por formações secundárias. Atualmente encontra-se bastante devastada.

- **Floresta Subcaducifolia** (incluindo cerrados ou não, e formações florestais secundárias): Ocorre numa estreita faixa entre a Floresta Subperinifolia e a Caatinga Hipoxerófila, sendo de menor porte e menos densa. Apresenta caráter semidecíduo, ou seja, parte dos seus componentes perde as folhas durante o período seco. São também bastante devastadas, cedendo lugar às formações secundárias. As espécies mais comuns são *Tabebuia* sp. (pau d'arco amarelo); *Bowdichia* sp (sucupira mirim); e outras.

- **Floresta de Várzea e Campo de Várzea:** Nas várzeas úmidas ocorrem como manchas localizadas, associando-se muitas vezes a campos de várzeas. São vegetações de porte médio adensado, com espécies como o *Ingá* sp (ingás), *Enythrina Velutina* (mulungu), e o *Caraípa* sp (camaçari).

- **Formações das Praias e Dunas:** São formações vegetais pioneiras, como restinga arbórea, arbustiva e herbácea). Temos as seguintes espécies:

- Arbórea: *Anacardium occidentale* (cajueiro); *Bysonima* sp (murici); *Caccoloba* sp (coaçu).
- Arbustiva: *Chrysobalanus icaco* (guajiru); *Ximenia americana* (ameixa); *Psidium* sp (Araçá).
- Herbácea: *Ipomoea pes-caprae* (salsa-de-praia); *Paspalum vaginatum* (capim de praia); *Remira marítima* (cipó-da-praia).

Na área estudada, as formações vegetais naturais foram, em grande parte, devastadas, ocorrendo atualmente de forma isolada, dispersa e em pequenos trechos dos setores mais elevados dos tabuleiros, conforme pode ser constatado no Mapa de Uso do Solo da Figura 6.1 (Página 122). A vegetação natural foi substituída pelas plantações de cana de açúcar de forma predominante, além de uso misto (pastagem, culturas permanentes e temporárias).

3 - RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

A caracterização dos recursos hídricos subterrâneos foi procedida considerando a disposição espacial e propriedades litológicas das principais unidades litoestratigráficas da área. Isto porque que influenciam diretamente no potencial hidrogeológico e na qualidade das águas subterrâneas dos mananciais, através de seus aspectos composicionais, dimensionais, hidráulicos e hidrodinâmicos (porosidade, permeabilidade, porosidade eficaz, transmissividade, etc.). Na Figura 2.7 (Página 20) são apresentadas as unidades geológicas que constituem os sistemas aquíferos na área estudada.

Os primeiros estudos acerca dos recursos hídricos subterrâneos no âmbito da área estudada, foram efetuados pelo consórcio Tahal/Sondotécnica, no final da década de Sessenta (1969). No entanto, os resultados foram apenas preliminares e não envolveram uma melhor avaliação acerca das reais potencialidades dos sistemas aquíferos da área.

Estudos mais antigos e amplamente divulgados no meio técnico-científico também serviram de fonte de consulta, a exemplo dos que foram conduzidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste/SUDENE (1969), no âmbito da Bacia Potiguar, denominado “Inventário Hidrogeológico do Nordeste”.

Estudos regionais elaborados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo/IPT (1982) forneceram revisões e reavaliações sobre os sistemas aquíferos do Rio Grande do Norte, tendo parte dos resultados servido de complemento e direcionados ao contexto local.

Os estudos mais recentes realizados em áreas específicas da região dos vales úmidos no litoral oriental do RN, foram fundamentais para atualização dos conhecimentos acerca dos mananciais subterrâneos da área estudada. Podem ser destacados os trabalhos de Melo (1995) a sul de Natal, Costa (1997) na região da Lagoa do Bonfim (situada no município de Nísia Floresta, a cerca de 20 Km a sul de Natal), Melo (1998) a norte de Natal, SERHID/ Hidroservice (1998) no âmbito do Plano Estadual de Recursos Hídricos do RN, e Melo & Feitosa (1998) que conduziram pesquisas hidrogeológicas mais detalhadas e atualizadas também na região do complexo Lagunar do Bonfim.

De acordo com o mapa geológico-hidrogeológico (Figura 2.7, Página 20), os principais mananciais de águas subterrâneas da área estudada correspondem aos seguintes sistemas aquíferos:

- Aquífero Cristalino (250,86 Km²);

- Aquífero Açú (10,80 Km² aflorante);
- Aquífero Jandaíra (23,18 Km² aflorante);
- Aquífero Barreiras (325,30 Km²);
- Aquífero Aluvial (154,00 Km²).

A Figura 3.1 (3.1.1 a 3.1.5) apresenta as Seções Hidrogeológicas elaboradas a partir da correlação entre os perfis litológicos dos poços, ilustrando assim o comportamento dos aquíferos em profundidade.

3.1 – AQUÍFERO CRISTALINO

O aquífero Cristalino constitui-se de rochas cristalinas Pré-cambrianas (Item 2.3.1, Página 19), sendo caracterizado como um meio aquífero de natureza fissural, com recarga limitada às zonas fraturadas abertas e interconectadas. Devido às baixas condições de permo-porosidade, é considerado como um meio heterogêneo, anisotrópico e descontínuo, e por conseguinte, de baixa capacidade de armazenamento e circulação de águas subterrâneas, sendo assim, reconhecido como um meio aquífero de baixo potencial hidrogeológico.

O quadro atual acerca das características e aproveitamento das águas subterrâneas do aquífero Cristalino no Estado, e na área estudada em particular, tem demonstrado os seguintes aspectos:

- O aquífero Cristalino apresenta no Estado uma área de ocorrência superior à área total dos meios aquíferos porosos, ocupando cerca de 60% (31.000 Km²) da superfície estadual;
- Grande parte desta superfície é caracterizada por um clima árido a semi-árido;
- Nesta região de rochas cristalinas e clima semi-árido, existe um contingente populacional expressivo, que na maioria das vezes não tem outra fonte de suprimento hídrico, a não ser as águas do aquífero cristalino;
- Mesmo com a existência de açudes, as águas do aquífero cristalino são freqüentemente utilizadas, principalmente nos trechos não alcançados pelos espelhos d'água;
- As águas em geral são limitadas em quantidade e qualidade, e ainda assim podem atenuar as deficiências hídricas de inúmeras comunidades, e até mesmo de algumas cidades;
- Contudo nem todos os poços perfurados têm alcançado êxito, sendo estimado entre 30% e 40% o percentual de poços secos, requerendo assim tecnologias mais avançadas para avaliação e exploração do sistema;

Figura 3.1.1 - Seção hidrogeológica A - A'

Figura 3.1.2 - Seção hidrogeológica B - B'

3.1.3 - Seção hidrogeológica C - C'

3.1.4 - Seção hidrogeológica D - D'

SW-NE

3.1.5 - Seção hidrogeológica E - E'

- A vazão dos poços em geral é pequena e bastante variável, com valor médio da ordem de 3 m³/h, e teores de Sólidos Totais Dissolvidos em torno de 2.000 mg/L;
- As águas, em geral, são aceitáveis ao uso animal, e, em poucos casos, são adequadas ao consumo humano e à irrigação. Porém, não havendo outra alternativa, são mesmo assim utilizadas pela população local, exceto nos casos de extrema salinidade;
- Os custos para perfuração de poços no cristalino são relativamente menores que nos poços perfurados nas bacias sedimentares costeiras, a norte e leste do Estado;
- Nos últimos anos (1996 a 1999) o governo do Estado do Rio Grande do Norte, através da Secretaria de Recursos Hídricos (SERHID), vem procurando amenizar o problema da oferta e da qualidade das águas nestas áreas, através da construção de adutoras e instalação de Dessalinizadores por Osmose Reversa.

Conforme os aspectos relatados, tem-se constatado que o aproveitamento e a utilização das águas subterrâneas do aquífero cristalino são difíceis e problemáticos, em função da própria complexidade do meio fissural associada aos mecanismos de recarga, circulação, salinização das águas e fatores de produção dos poços.

Entre os estudos recentes mais significativos sobre os aquíferos cristalinos na Região Nordeste, destacam-se os desenvolvidos por Costa (1986), que resultaram numa importante contribuição sobre a influência de fatores hidroclimáticos e hidrogeológicos na produtividade dos poços, e os efetuados por Filho (1996), que concebeu o método de Capacidade Específica Fractal para avaliação da capacidade de produção dos poços no meio fissural.

Na área estudada o aquífero cristalino ocorre aflorando na porção oeste/sudoeste, envolvendo basicamente os municípios de Taipu e Poço Branco, sendo encobertos ao norte e ao leste pelos sistemas aquíferos Cretáceos e Tércio-quadernários, respectivamente.

3.1.1 - Recarga do aquífero Cristalino

A recarga do sistema aquífero cristalino se processa através da infiltração e acumulação de águas de chuva nas rupturas existentes nas rochas (fraturas e/ou falhas), que em geral coincidem com as direções de elementos de drenagem, motivo pelo qual recebem a denominação de “riachos-fenda”.

Os terrenos cristalinos são praticamente impermeáveis, ocasionando rápido escoamento superficial das águas, que aliado às altas taxas de Evapotranspiração e à pouca

homogeneidade espacial das fendas, resulta em baixas taxas de infiltração até mesmo em setores onde as rochas apresentam elevado índice de fraturamento. Desta forma não deve ser aplicada a taxa de infiltração de 18%, encontrada na área através do balanço hídrico (Item 2.1.6, Página 16).

A hipótese mais provável é que a recarga efetiva deva ocorrer a partir da infiltração de águas subterrâneas de aluviões, regolitos e/ou coluviões mais espessos, nas fendas encobertas. Neste caso, as coberturas funcionam como elemento regulador que receptam, armazenam e transmitem águas de chuva às fissuras subjacentes.

Na área enfocada, destacam-se as águas da Barragem de Poço Branco, que se constituem em fonte de recarga quase perene do manancial subterrâneo das rochas fraturadas, submersas pelo espelho d'água.

3.1.2 - Escoamento das águas subterrâneas no aquífero Cristalino

No presente trabalho, bem como em outros desenvolvidos a nível regional, não têm sido investigados os aspectos relativos ao escoamento e aos mecanismos de circulação subterrânea das águas do aquífero cristalino do Estado.

É provável, contudo, que haja comunicabilidade hidráulica entre fraturas ou sistemas de fraturas que se interceptam, em geral, indicadas pelo cruzamento de trechos retilíneos da drenagem, indicativos de riachos-fenda. Tal comunicação deve favorecer a circulação das águas subterrâneas, principalmente quando da exploração por poços, para onde devem convergir as linhas de fluxo.

3.1.3 - Exutórios do aquífero Cristalino

Um dos principais Exutórios naturais pode estar associado a Evapotranspiração. Não foram constatadas perdas naturais através de fontes. Os poços constituem Exutórios artificiais.

3.1.4 - Poços inventariados no aquífero Cristalino

Na região estudada, foram levantadas informações de 14 poços, conforme dados apresentados no cadastro do Anexo 01.

As profundidades dos poços variaram de 23,80 a 63,60 metros, com valor médio de 48,00 metros. As vazões obtidas em geral variaram de 0,15 m³/h a 2,60 m³/h, com um valor médio da ordem de 1,00 m³/h.

Os perfis revelaram que as coberturas do manto de intemperismo ou das aluviões (nos poços perfurados próximos ou no próprio leito de rios ou riachos) são inexpressivas, em geral variando de 0,60 a 13,80 metros, com predomínio das coberturas inferiores a 9,00 metros.

Com respeito às profundidades do nível d'água nos poços, os valores encontrados estão no intervalo entre 3,82 e 17,50 metros, com média de 10,00 metros. Os rebaixamentos variaram desde 2,35 até 27,20 metros.

A profundidade das entradas d'água (fraturas com água) variou de 4,00 a 57,20 metros, sendo mais freqüentes entre 5,00 e 30,00 metros. O valor médio estimado foi da ordem de 20,00 metros.

3.2 – AQUÍFERO AÇU

O aquífero Açú (representado pelos sedimentos da Formação Açú, e pertencente ao domínio da Bacia Potiguar), consiste num sistema hídrico subterrâneo que se sobrepõe diretamente ao aquífero Cristalino.

Trata-se de um aquífero que ocorre como um sistema livre no trecho noroeste da área estudada (zona aflorante), sendo na sua maior parte confinado pelos calcários do aquífero Jandaíra, que por sua vez são encobertos pelo aquífero Barreiras. O poço 31 (Engenho Igarapé) é surgente, retratando bem o confinamento do aquífero Açú.

Os registros de ocorrência do aquífero Açú foram obtidos nos seguintes poços: 02 (Manguari); 03 (Várzea de Dentro I); 04 (Várzea de Dentro II); 05 (Fazenda São João); 13 (Capela); 22 (Mineiro); 31 (Engenho Igarapé); 43 (Duas Passagens) e 85 (Riacho).

3.2.1- Aspectos dimensionais e litológicos do aquífero Açú

O aquífero Açú abrange uma superfície de aproximadamente de 289,00 Km² em subsuperfície, mais uma pequena faixa aflorante no setor noroeste, em torno de 10,00 Km².

De acordo com os dados cadastrados, a real espessura do aquífero Açú só foi possível de ser obtida em alguns casos, visto que a maioria dos poços não atravessou todo o pacote sedimentar Tércio-Quaternário e Cretáceo. A Tabela 3.1, a seguir, apresenta as espessuras encontradas.

Tabela 3.1: Espessuras e Profundidades do topo do Aquífero Açu – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Nº Poço	Espessura do aquífero Açu (metros)	Profundidade do Topo do aquífero	Observações
02	36,00	64,00	Espessura parcial
04	18,00	45,00	Atingiu o cristalino
05	44,00	66,00	Espessura parcial
13	24,00	54,00	Espessura parcial
22	8,00	102,00	Espessura parcial
31	50,00	136,00	Poço a leste de C. Mirim
43	36,00	33,00	Atingiu o cristalino
85	21,00	48,00	Atingiu o cristalino

Embora a quantidade de pontos não tenha possibilitado a elaboração de um mapa de iso-espessuras do aquífero Açu, foram feitas as seguintes constatações:

- As espessuras encontradas variaram entre 8,00 e 50,00 metros;
- Os poços, na sua maioria, não penetram toda a espessura do aquífero, até atingir o embasamento cristalino;
- Os perfis litológicos e as seções hidrogeológicas das Figuras 3.1 (Páginas 36 a 40) demonstram o controle estrutural sobre as variações dos aspectos dimensionais dos aquíferos Cretáceos.

Com base nas observações acima foram caracterizadas três faixas distintas quanto ao comportamento geológico-estrutural e dimensional do aquífero Açu, que são: Faixa situada a noroeste; Faixa englobando a porção norte/noroeste; Faixa situada no setor leste/nordeste de C. Mirim. A Tabela 3.2 resume alguns dados acerca das características dimensionais e potencial do aquífero Açu nos setores citados.

Tabela 3.2 – Setores do Aquífero Açu e seus aspectos dimensionais/potenciais associados – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Setor	Local	Prof. Topo (m)	Espessura do aquífero (m)	Vazão (m ³ /h)
Noroeste	Lagoa da Conceição a Riacho	33 – 45	18 – 36	2 – 8
Norte – noroeste	Veados a Lagoa do Cajueiro	54 – 102	8 – 44	8 – 12
Leste – nordeste	Lagoa do Cosmo a Contendas	136	50	> 12

As espessuras do aquífero Açu variaram de 18,00 metros (nas áreas aflorantes e não aflorantes próximas ao substrato cristalino aflorante), até valores superiores a 50,00 metros nas áreas não aflorantes, e afastadas do substrato cristalino aflorante. O aquífero Açu mostra-se relativamente mais profundo e espesso no trecho oriental da área (leste de C. Mirim), e no geral deve aumentar sua espessura no sentido SW-NE. De fato o Poço 31 (Seção da Figura 3.1.2, Página 37) reforça esta hipótese, na medida em que o mesmo localiza-se na área do vale principal do Rio Ceará Mirim (altitude inferior a 30,00 m), apresenta uma profundidade de 196,00 metros, e não atinge o embasamento cristalino, sugerindo que a espessura do aquífero Açu deve superar a cifra de 50,00 metros encontrada no poço.

Litologicamente predominam arenitos de cores cinza e marrom, com granulometria variando em geral de fina a grosseira, além de camadas de argila de cores avermelhada, rósea, roxa e marrom.

3.2.2 - Recarga do Aquífero Açu

De acordo com o comportamento geológico-estrutural e ocorrência espacial das unidades aquíferas, o mecanismo de recarga do aquífero Açu na área estudada se processa

principalmente por filtração vertical descendente de águas subterrâneas provenientes do aquífero livre superior (Sistema Jandaíra - Barreiras).

O processo se manifesta mais especificamente nos setores em que o potencial hidráulico das águas subterrâneas do sistema livre é superior ao potencial do aquífero confinado (Açu), sendo a recarga efetuada a partir das áreas topograficamente mais elevadas (áreas de tabuleiros, situadas a norte e a sul do vale principal). Como consequência as áreas baixas do vale (terraços aluviais) correspondem a regiões de descarga, favorecendo a ocorrência de fenômenos de surgência (Poço – 31).

A recarga através da infiltração direta das chuvas só é possível no setor noroeste da área (norte de Taipu e Poço Branco), correspondente à zona de afloramento do aquífero Açu.

3.2.3 - Escoamento e Exutórios do aquífero Açu

O padrão de fluxo das águas subterrâneas do aquífero Açu corresponde ao caráter regional de escoamento das águas subterrâneas em aquíferos costeiros, que se desenvolve para o mar.

Os exutórios na área são representados principalmente pelas perdas devido ao escoamento natural das águas subterrâneas para o mar, e principalmente para o aquífero Jandaíra através de infiltração vertical ascendente, nos trechos onde o potencial hidráulico do aquífero Açu é superior ao do aquífero livre (Sistema Jandaíra-Barreiras). As áreas mais sujeitas às perdas por este processo ascendente estão situadas nas partes do vale do Rio Ceará Mirim, como constatado pelo poço surgente P-31 (Engenho Igarapé).

3.2.4 - Características Hidrodinâmicas do aquífero Açu

Os parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero Açu foram caracterizados através da reinterpretação de resultados de testes de bombeamento já existentes para os poços 31 (Engenho Igarapé) e 43 (Duas Passagens). Os parâmetros estimados foram a Transmissividade (T) e a Condutividade Hidráulica (K), admitindo uma espessura do aquífero em torno de 50,00 metros. A Tabela 3.3 a seguir apresenta os resultados encontrados. Na interpretação foi usado o método simplificado de Jacob, com procedimento semelhante ao adotado para o aquífero Barreiras (Item 3.4.5). Os valores apresentados servem como indicação preliminar das características hidrodinâmicas na área, visto que correspondem aos resultados em apenas dois pontos.

Tabela 3.3 – Parâmetros Hidrodinâmicos do Aquífero Açu nos pontos 31 e 43 – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Poço	Data do teste	T (m ² /s)	Espessura saturada - b (m)	K (m/s)
31	06.12.80	$3,3 \times 10^{-5}$	50,00	$6,6 \times 10^{-7}$
43	01.02.82	$9,3 \times 10^{-5}$	50,00	$1,86 \times 10^{-6}$
Valor Médio		$6,3 \times 10^{-5}$	50,00	$1,26 \times 10^{-6}$

O valor médio de “T” encontrado acima é menor que o valor médio encontrado por Feitosa (1996) na região do aquífero Açu em Mossoró (da ordem de $3,8 \times 10^{-3}$ m²/s), sugerindo a menor potencialidade do sistema na área. O Coeficiente de Armazenamento (S) não foi determinado diretamente neste trabalho, sendo indicados na Tabela 3.4 alguns valores obtidos em estudos anteriores. Adotou-se como mais representativo da área, o valor de S avaliado em Macaíba, da ordem de 5×10^{-4} .

Tabela 3.4 – Coeficientes de Armazenamento do aquífero Açu (dados regionais)/RN.

Fonte	Local	Coeficiente de Armazenamento (S)	Ano
SUDENE	Macaíba	5×10^{-4}	1967
IPT	Mossoró	$1,4 \times 10^{-4}$	1981
SERHID/Hidroservice	Mossoró	$1,7 \times 10^{-4}$	1998

3.2.5 – Estimativa de Reservas do aquífero Açu

Na área estudada o aquífero Açu é na maior parte confinado pelos calcários do aquífero Jandaíra, caracterizando que o volume d’água armazenado está sob pressão. Para os cálculos das reservas, os seguintes parâmetros foram considerados:

- Área de ocorrência do aquífero (A) - 359,28 Km² ;

- Espessura média do aquífero (b) - 50,00 metros;
- Coeficiente de armazenamento (S) - 5×10^{-4}

Considerando que as reservas permanentes (Rp) na área são definidas pela equação abaixo, temos que:

$R_p = A \times b \times S$, então:

$$R_p = 359 \times 10^6 \times 50 \times 5 \times 10^{-4}$$

$$R_p = 9 \times 10^6 \text{ m}^3.$$

As reservas permanentes, avaliadas em torno de **9 milhões de m³**, são insignificantes para o contexto da área, em especial quando comparadas às reservas do aquífero Barreiras e do aquífero Jandaíra. As reservas exploráveis, que poderiam ser estimadas com base no conhecimento da recarga anual do aquífero, não foram avaliadas, em função da inexistência de dados suficientes com vistas a determinação da vazão de escoamento natural, e em especial do gradiente hidráulico.

3.3 – AQUÍFERO JANDAÍRA

O aquífero Jandaíra se superpõe às seqüências clásticas do aquífero Açu, correspondendo ao aquífero superior do sistema hídrico subterrâneo da Bacia Potiguar, numa área estimada em 348,50 Km² (sendo 325,30 Km² não aflorante, e apenas 23,18 Km² aflorante).

Na maior parte da área o aquífero Jandaíra é encoberto pelos depósitos clásticos da Formação Barreiras, que constitui o aquífero Barreiras.

3.3.1 - Poços inventariados do aquífero Jandaíra

De acordo com o cadastro de pontos d'água do Anexo 01, o aquífero Jandaíra foi detectado em 22 poços correspondentes aos seguintes pontos: 01, 02, 03, 04, 05, 07, 12, 13, 14, 15, 22, 30, 31, 43, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 85. Os poços que se revelaram com menores profundidades e captam somente o aquífero Jandaíra, são os de número: 01, 14, 15, 30, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79.

Os seguintes aspectos foram caracterizados:

- Considerando os poços que captam somente o aquífero Jandaíra (11 poços), as profundidades variaram entre 49,00 e 80,00 metros, com uma profundidade média da ordem de 61,00 metros;
- As profundidades do nível d'água variaram de 6,09 metros (Poço 74 – Fazenda Betânia), até 31,72 metros (poço 30 – Granja Olho Grande), sendo o valor médio de 19,00 metros;
- As vazões registradas foram em geral inferiores a 11,00 m³/h, sendo a máxima de 34,80 m³/h (Matas), a mínima de 3,00 m³/h (Fazenda São José), e a vazão média da ordem de 9,00 m³/h.

3.3.2 - Aspectos dimensionais e litológicos do aquífero Jandaíra

Na região estudada o aquífero Jandaíra ocorre predominantemente em subsuperfície, sendo constituído por rochas carbonáticas da Formação Jandaíra, principalmente calcários, dolomitos e arenitos calcíferos, variando de pouco argilosos a argilosos.

O aquífero Jandaíra se comporta em geral como um aquífero livre, formando um sistema único com o aquífero Barreiras (sobrejacente) em grande parte da área, tendo em vista não ter sido detectadas diferenças significativas de cargas hidráulicas entre os dois sistemas. No entanto pode ocorrer semi-confinamentos locais, proporcionados por camadas argilosas situadas na transição do topo do Jandaíra para a base do aquífero Barreiras. Este aspecto foi constatado nos poços de número 03, 04, 15, 43 e 85, onde as espessuras das camadas de argila variaram entre 4,00 e 18,00 metros.

A profundidade do topo e as espessuras da camada aquífera são mostradas na Tabela 3.5. Verifica-se que as espessuras variaram entre 6,00 metros e 115,00 metros, com valor médio da ordem de 39,00 metros. O topo do aquífero Jandaíra varia de 12,00 metros (Poço 03 - Várzea de Dentro) a 54,00 metros de profundidade (Poço 15 - Fazenda Pedregulho),

De acordo com a distribuição espacial dos valores de profundidade do topo e das espessuras da camada, o aquífero Jandaíra se apresenta mais profundo e com maiores espessuras na porção oriental da área (trechos norte/nordeste e sudeste). Esse comportamento reflete também o controle estrutural por falhas de gravidade associadas ao Graben de Ceará Mirim (Item 2.3.4), que provocaram um maior afundamento do substrato cristalino e uma maior acumulação de sedimentos no setor oriental da área. Este aspecto é ilustrado também nas Seções Hidrogeológicas das Figuras 3.1.

Tabela 3.5 – Parâmetros Dimensionais do Aquífero Jandaíra – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Poço	Topo do aquífero (metros)	Aquífero captado	Espessura da camada (metros)	Observações
01	33,00	B-J	35,00	EP
02	34,00	A	30,00	ET
03	12,00	A	33,00	ET
04	12,00	J-A	33,00	ET
05	27,00	A	36,00	ET
07	15,00	B	2,00	EP
12	21,00	B-J-A	6,00	ET
13	21,00	B-J-A	6,00	ET
15	54,00	B-J	33,00	EP
22	30,00	J-A	72,00	ET
30	30,00	J	34,00	EP
31	21,00	A	115,00	ET
43	15,00	A	18,00	ET
76	15,00	J	35,00	EP
85	18,00	B-J	30,00	ET (atingiu o cristalino)
Valor médio	23,87	-	38,87	-
Obs.:				
a) B – aquífero Barreiras; J – aquífero Jandaíra; A – aquífero Açu.				
b) Espessura Parcial – EP; Espessura Total - ET				

3.3.3 – Recarga do aquífero Jandaíra

De acordo com os aspectos dimensionais e estruturais do aquífero Jandaíra, a recarga se processa fundamentalmente por infiltração vertical descendente das águas

provenientes do aquífero Barreiras sobreposto, principalmente quando não ocorre confinamento ou semi-confinamento impostos por camadas argilosas situadas na base.

Neste caso a recarga nos calcários está condicionada em geral às flutuações do nível das águas subterrâneas do sistema como um todo (Jandaíra/Barreiras), sendo no entanto refletidas diretamente pelas variações sazonais do nível das águas subterrâneas do aquífero Barreiras.

Vale salientar que em muitos trechos do setor ocidental da área, em que o aquífero Barreiras apresenta pequenas espessuras (5 a 10 metros), o rebaixamento devido às variações climáticas sazonais provoca o posicionamento do nível das águas subterrâneas abaixo do topo do aquífero Jandaíra, no período de estiagem (Lagoa do Cajueiro, Riacho e Lagoa do Ferreira). Neste caso o aquífero Barreiras (a exemplo dos poços 76 e 85), torna-se insaturado.

Nos calcários Jandaíra aflorantes, a recarga se processa principalmente por infiltração direta das águas de chuva. A taxa de infiltração encontrada na área segundo o balanço hidrometeorológico (Item 2.1.6), da ordem de 18%, não deve ser aplicada para os calcários, tendo em vista se comportarem como um meio aquífero cárstico-fissural, bastante heterogêneo e anisotrópico. Neste caso foi estimada a recarga anual do aquífero Jandaíra no trecho ocidental (por infiltração direta das águas de chuva), aplicando uma taxa de infiltração de 1,3% da precipitação, adotada por Filho (1970), sendo conhecidos os seguintes parâmetros:

- Área aproximada do aquífero Jandaíra (no setor aflorante, e não aflorante com pequena cobertura do aquífero Barreiras), onde deve ocorrer infiltração direta: 120 Km^2 (ou $120 \times 10^6 \text{ m}^2$);
- Precipitação média local (entre Taipu e Poço Branco): 0,7787 mm/ano;
- Volume Precipitado: $93,44 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$;
- Recarga Anual (1,3% do volume precipitado): **$1,21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$** .

3.3.4 – Escoamento e Exutórios das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra

Considerando que em boa parte da área o aquífero Jandaíra forma um sistema único com o aquífero Barreiras, o comportamento das curvas iso-potenciométricas do aquífero Barreiras (Figura 3.2) poderá indicar as condições de fluxo do conjunto.

O principal exutório corresponde às perdas por filtração vertical descendente para o aquífero confinado Açu, onde o potencial hidráulico do aquífero Açu é inferior ao do aquífero Jandaíra/Barreiras (trechos de encostas e patamares de tabuleiros a norte e a sul do vale). Perdas

também devem ocorrer por filtração vertical ascendente para o aquífero Barreiras quando da ocorrência dos semi-confinamentos do sistema Jandaíra, resultando em potencial hidráulico superior ao aquífero Barreiras.

Uma parcela importante das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra também deve ser escoada e perdida para o oceano, tendo em vista a própria condição natural de fluxo subterrâneo regional dos aquíferos costeiros.

3.3.5 - Parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero Jandaíra

As características hidrodinâmicas do aquífero Jandaíra, especificamente no âmbito da área estudada, foram determinadas com base em dados conhecidos e adotados em termos regionais, conforme mostrados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero Jandaíra (dados regionais)/RN.

Fonte	Ano	T (m ² /s)	K (m/s)	S _y (%)
SUDENE	1970	$2,40 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-4}$	5
IPT	1981	$1,56 \times 10^{-3}$	$8,21 \times 10^{-6}$	5
Mistretta	1984	$3,15 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-2}$	5
SERHID/Hidroservice	1998	$3,05 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-5}$	-
Valor médio		$2,59 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	5

A Transmissividade obtida nos trabalhos da SUDENE refere-se a um único ponto, sendo excluída da avaliação da média. Com isso a Transmissividade adotada compreende a média entre os valores obtidos pelo IPT, Mistretta e SERHID/Hidroservice, ou seja, **T = 2,59 x 10⁻³ m²/s**.

Aplicando o valor de **T** estimado pela SERHID/Hidroservice, e considerando uma espessura média saturada do aquífero Jandaíra na área em torno de 38,00 metros, foi encontrado um valor para a Condutividade Hidráulica **K = 7,9 x 10⁻⁵ m/s**. Verifica-se que o valor de K obtido segundo Mistretta (1984) contrasta bastante com os valores obtidos pelo IPT e SERHID/Hidroservice. No entanto, admitindo o pouco conhecimento dos parâmetros na área, será estimado um valor médio entre os três resultados existentes, sendo então **K = 1,2 x 10⁻² m/s**.

3.3.6 – Estimativa de Reservas do aquífero Jandaíra

As reservas permanentes compreendem o volume de águas subterrâneas estocadas no aquífero livre, abaixo do nível potenciométrico mínimo, relativo ao período de estiagem. Os parâmetros necessários à avaliação das reservas permanentes ($R_p = A \cdot b \cdot S_y$) foram os seguintes:

- . Espessura média saturada (b) – 37,90 metros;
- . Área de ocorrência do aquífero (A) – 348,50 Km²;
- . Porosidade específica (S_y) – 5%.

Desta forma as reservas permanentes são da ordem de **660,00 x 10⁶ m³**.

3.4 – AQUÍFERO BARREIRAS

O aquífero Barreiras constitui-se no mais importante manancial subterrâneo de água potável de todo o litoral oriental do Rio Grande do Norte, reconhecidamente pela excelente qualidade natural e volume de suas reservas hídricas, associadas às boas condições de recarga, circulação, renovação subterrânea e situação geográfica do aquífero.

De fato, o aquífero no litoral leste é favorecido pela ocorrência das maiores médias pluviométricas anuais do Estado, entre 1.000 e 1.500 mm/ano, que juntamente com suas propriedades litológicas (sedimentos essencialmente arenosos a areno-argilosos pouco consolidados), permitem a sua classificação como um aquífero de elevado potencial hidrogeológico. Vale salientar que no litoral norte do Estado as limitações climáticas não potencializam o armazenamento de águas subterrâneas nas amplas coberturas da Formação Barreiras, tratando-se neste caso de uma unidade aquífera pouco importante.

A área estudada insere-se no contexto do litoral oriental, sendo sua superfície ocupada em cerca de 53% (325,3 Km²) pelo aquífero Barreiras.

3.4.1 – Poços inventariados

No presente estudo a caracterização hidrogeológica do aquífero Barreiras envolveu um maior número de dados, que foram obtidos a partir das informações de 61 poços tubulares, enumerados no Anexo 01. Além desses pontos foram usadas as informações de 13 poços que

não captam o aquífero Barreiras (e captam o aquífero Jandaíra e Açu subjacentes), no sentido de complementar a avaliação acerca do sistema hídrico.

A Tabela 3.7 contém a relação dos valores médios de algumas características dos poços. É apresentada na Tabela 3.8 a relação dos poços que captam apenas o aquífero Barreiras, mesmo aqueles que não atravessam toda a sua extensão vertical, com indicação dos valores correspondentes de espessuras da camada aquífera e espessuras saturadas.

Tabela 3.7 - Características Médias dos poços do aquífero Barreiras – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Número de poços	Valores	Profundidade dos poços (metros)	Vazão (m ³ /h)	Profundidade do nível estático (m)	Rebaix. (metros)
61	Mínimo	17,00	1,00	0,00	0,00
	Máximo	110,00	31,68	38,73	37,68
Médios		55,91	8,02	16,68	8,20

3.4.1.1 - Profundidades dos poços

As profundidades dos poços, que foram usadas como indicativas das espessuras da camada aquífera, apresentaram valores inferiores a 73,00 metros em 79% dos dados; 18% mostraram valores entre 73,00 e 91,00 metros; e apenas cerca de 3% dos poços no aquífero Barreiras mostraram profundidades entre 91,00 e 110,00 metros. A Profundidade média foi estimada em **56,00 metros**.

3.4.1.2 - Profundidades do Nível estático

As profundidades do nível estático nos poços referem-se às medidas efetuadas durante a elaboração do cadastramento, correspondentes ao período entre 1997 e 1998. Os dados evidenciaram em aproximadamente 77% dos poços, níveis estáticos inferiores a 30,00 metros; entre o intervalo de 30,00 a 39,00 metros, foram registrados cerca de 23% dos dados. A profundidade média do nível estático obtida foi de **16,00 metros**. O mapa de profundidade do nível das águas subterrâneas é apresentado na Figura 6.3 (Página 137).

3.4.1.3 - Vazões dos poços

Com relação às vazões, cerca de 79% dos poços apresentaram cifras inferiores a 11,23 m³/h. Vazões entre 11,23 e 26,00 m³/h foram obtidas em aproximadamente 19% dos poços, com valores entre 26 e 32 m³/h correspondendo apenas a 2% dos dados. Vale salientar que as vazões encontradas são relativamente baixas para as reais potencialidades do sistema, sendo relacionadas as pequenas demandas a que são projetados os poços.

3.4.1.4 - Comprimento dos filtros

O início da zona filtrante nos poços variaram entre 7,00 a 70,00 metros de profundidade. Os comprimentos dos filtros variaram de 3,00 a 33,00 metros de extensão, sendo mais freqüente filtros com até 15,00 metros de comprimento, em cerca de 73% dos poços analisados. Os filtros são normalmente do tipo Geomecânico, sendo raros os filtros de aço inoxidável.

3.4.1.5 - Rebaixamentos dos poços

Os rebaixamentos dos poços do aquífero Barreiras na área variaram desde zero (0,00) até 37,68 metros, sendo que em cerca de 59% dos dados os rebaixamentos foram inferiores a 8,70 metros. Esta predominância reflete-se no valor médio encontrado, da ordem de **8,00 metros**.

3.4.2 - Características litológicas do aquífero Barreiras

O aquífero Barreiras constitui-se de sedimentos clásticos continentais pertencentes a Formação Barreiras, ocupando na área estudada uma superfície total da ordem de 325,30 Km². Se sobrepõe em grande parte aos sedimentos Cretáceos representativos dos aquíferos Açu e Jandaíra. Apenas em trechos da porção Oeste/Sudoeste o aquífero Barreiras se sobrepõe diretamente ao aquífero Cristalino.

Dada a sua natureza arenosa a areno-argilosa, e sua posição litoestratigráfica como unidade de cobertura, apresenta melhores condições de recarga, circulação e renovação subterrânea, revelando assim suas características de elevada potencialidade hidrogeológica, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo.

O aquífero Barreiras compreende um conjunto de estratos sedimentares exclusivamente clásticos, subhorizontais e descontínuos. O conjunto litológico caracteriza-se por mudanças faciológicas impostas por variações texturais, composicionais, granulométricas e dimensionais dos estratos, tanto na direção vertical como lateral.

Litologicamente os distintos estratos são constituídos por associações de areias e arenitos pouco consolidados de cores variadas, granulometria variando de fina a grosseria, caráter pouco a bastante argilosos, contendo freqüentes intercalações de argila plástica.

As lentes ou intercalações de argila são de cores variegadas, e se distribuem irregularmente tanto na direção horizontal quanto na vertical, com espessuras variando de 2,00 a 20,00 metros. Posicionam-se mais freqüentemente na parte superior do aquífero, diminuindo em geral na parte inferior.

De acordo com o comportamento litológico-estrutural da área, o aquífero Barreiras revela-se como um sistema aquífero poroso, granular e predominantemente livre, podendo ser localmente semi-confinado por níveis ou camadas de argila na porção média a superior.

3.4.3 - Estrutura Hidrogeológica do aquífero Barreiras

A estrutura Hidrogeológica do sistema aquífero foi definida com base em correlações de perfis litológicos dos poços, algumas observações em campo, análise de mapas (mapa geológico/hidrogeológico - Figura 2.7; mapa geológico do RN; mapa da Figura 2.10) e seções hidrogeológicas mostradas nas Figuras 3.1.1 a 3.1.5 (Páginas 36 a 40), correspondendo a duas direções longitudinais (E – W) e três transversais (N – S; SW – NE) ao vale principal do Rio Ceará Mirim.

As seções longitudinais **A – A'** (Figura 3.1.1, Página 36) e **B – B'** (Figura 3.1.2, Página 37) evidenciam mais nitidamente o deslocamento estrutural do embasamento cristalino por falhas geológicas, e seu controle e reflexo sobre as seqüências sedimentares. A análise detalhada por meio da correlação litológica entre os perfis permitiu a inferência de altos e baixos estruturais, que no contexto local evidenciam o Graben de Ceará Mirim definido por Campos & Silva, 1971 (In Melo, 1995). No contexto regional está relacionado ao Graben Natal, conforme a SERHID/Hidroservice (1998), relatado no item 2.3.4.

Tem-se então retratado o condicionamento estrutural sobre a geometria, distribuição e potencial das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, cuja base é representada na maior parte da área por calcários e arenitos calcíferos do aquífero Jandaíra.

Na medida em que a base do aquífero Barreiras esteja menos profunda (devido aos altos estruturais), ocorre redução na espessura do estrato sedimentar e também na espessura saturada. Isto ocorre principalmente no setor ocidental da área do aquífero, sendo bem evidenciadas nas seções hidrogeológicas **A-A'** (entre os poços P-43 e P-12, figura 3.1.1), e **B-B'** (entre os poços P-05 e P-07, figura 3.1.2). Conforme observações e análise dos dados, foram ainda constatados os seguintes aspectos:

- Em geral o controle por falhas caracterizou-se por um bloco mais elevado na porção ocidental da área, e outro mais rebaixado na porção oriental, sendo este comportamento associado a uma maior acumulação de sedimentos Cretáceos e Tércio-quaternários no trecho oriental;
- O topo dos calcários Jandaíra situa-se a menores profundidades (entre 15,00 e 30,00 metros), e em cotas altimétricas mais elevadas na porção ocidental da área, ao passo que a porção oriental encontra-se a profundidades acima de 30,00 metros, e em cotas menores, evidenciando o deslocamento vertical por falha (s);
- Como consequência o aquífero Barreiras (que encobre os calcários do aquífero Jandaíra) apresenta maior espessura na porção oriental, superiores a 75,00 metros, em que a maioria dos poços não atravessa toda a camada saturada. No setor ocidental, no entanto, as espessuras da camada aquífera oscilam entre 15,00 e 30,00 metros;
- A estrutura hidrogeológica permite a constatação de que o aquífero Barreiras na área constitui-se num sistema poroso, areno-argiloso, em geral livre, estando na maior parte sobreposto aos calcários ou arenitos calcíferos do aquífero Jandaíra (sistema cárstico-fissural);
- O aquífero Açú apresenta-se na maior parte da área confinado pelo aquífero Jandaíra, comportamento esse marcado pela diferença de potencial hidráulico entre ambos (nível potenciométrico do aquífero Açú acima do seu topo);
- É provável que exista conexão hidráulica lateral das águas potáveis do aquífero Barreiras do setor oriental, com as águas não potáveis do sistema Cretáceo (Jandaíra/Açú) do setor ocidental, por conta do contato lateral das formações Tércio-Quaternárias com as Cretáceas, estabelecido através de sistemas de falhas;
- O nível das águas subterrâneas do aquífero Barreiras, de um modo geral, acompanha o relevo da área;

- Denota-se que o aquífero Barreiras está hidráulicamente conectado ao aquífero Jandaíra em grande parte da área, constituindo um sistema único, com cargas hidráulicas em geral se ajustando uma mesma altura potenciométrica;
- Os níveis d'água nos poços do aquífero Barreiras se ajustam em geral a um mesmo nível potenciométrico; os níveis d'água dos poços do aquífero confinado (Açu), a depender da situação topográfica local, podem estar abaixo ou acima do nível freático do aquífero Livre (Barreiras/Jandaíra);
- Constata-se que, de um modo geral, as partes baixas do vale do Rio Ceará Mirim denotam condições de efluência das águas subterrâneas, submetendo o vale a constantes encharcamentos por ressurgência das águas do aquífero Barreiras, evidenciando assim uma subexploração deste sistema livre.

3.4.4 - Características dimensionais do aquífero Barreiras

O aquífero Barreiras ocorre numa faixa cujo comprimento médio é de 40 Km de leste a oeste, e larguras (norte-sul) entre 10,0 e 15,0 Km. É em parte encoberto na porção mais oriental por sedimentos de dunas fixas e móveis, e no vale por sedimentos aluviais, com os quais forma um sistema aquífero único.

Os limites Norte e Sul da área do aquífero foram estabelecidos pelo divisor topográfico de águas superficiais, muito embora o sistema tenha continuidade para as bacias hidrográficas adjacentes, a norte e a sul da mesma. A superfície total foi calculada em torno de 325,30 Km². Admitiu-se neste trabalho que o divisor da bacia hidrográfica coincide com o divisor de águas subterrâneas do aquífero Barreiras na sua área de ocorrência, como mostrado na Figura 2.7 (Página 20).

As **espessuras da camada** aquífera (Tabela 3.8) variaram entre 18,60 e 110,00 metros, com valor médio de 58,00 metros. Essas estimativas se basearam nas profundidades dos poços, que foram discutidas no item 3.2.4.1.

As **espessuras saturadas** (Tabela 3.8) mostraram grande amplitude de variação, entre 10,10 e 83,60 metros, embora cerca de 64% dos poços tenham revelado valores inferiores a 47,00 metros. O valor médio encontrado foi de 38,00 metros. A espessura saturada média obtida em estudos regionais foi estimada em 24,50 metros, conforme dados da SERHID/Hidroservice (1998), no âmbito do Plano Estadual de Recursos Hídricos do RN. Constata-se que o valor regional é relativamente menor do que o valor médio obtido na área

(cerca de 38,00 metros), revelando o pressuposto acerca do seu elevado potencial hidrogeológico.

O mapa de espessuras saturadas (Figura 3.2) demonstra em geral um aumento progressivo das espessuras de oeste/sudoeste para leste, alcançando valores acima de 50,00 metros no trecho nordeste da área. Além desse comportamento geral, destaca-se uma anomalia local positiva na porção sudeste, em que as espessuras saturadas aumentam subitamente de 25,00 para 45,00 metros, evidenciando o controle estrutural (trechos mais profundos do graben) sobre a potencialidade do sistema aquífero.

Tabela 3.8 – Valores de Espessuras da camada e Espessuras Saturadas do aquífero Barreiras – Área do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Poço	Espessura da camada (m)	Espessura saturada – b (m)	Poço	Espessura da camada (m)	Espessura saturada – b (m)
06	18,60	10,10	40	52,50	31,50
08	20,00	18,36	41	76,00	39,00
09	36,00	33,00	42	58,00	23,40
11	49,00	34,00	46	70,00	32,50
16	49,00	28,88	47	61,00	22,97
17	41,00	30,00	49	69,20	34,60
19	90,00	48,20	50	82,00	54,03
20	93,00	55,40	52	80,00	64,22
21	28,50	28,50	53	34,00	29,27
23	36,00	13,00	55	60,00	24,66
24	30,00	26,37	56	60,00	22,63
26	65,00	31,27	57	70,00	31,27
27	44,00	32,23	60	33,00	27,79
28	80,00	53,00	62	110,00	83,60
29	60,00	52,93	63	95,00	81,05
33	72,00	53,60	70	50,00	42,10
34	57,00	28,18	82	44,00	42,40
36	84,00	63,96	83	25,00	25,00
37	86,00	57,59	84	44,00	29,68
39	71,00	52,45	-	-	-
Média				58,56	38,27

3.4.5 – Características Hidrodinâmicas do aquífero Barreiras

Os Parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero Barreiras foram determinados a partir da interpretação dos resultados de 30 testes de bombeamento, dos quais apenas dois (02) testes foram executados no âmbito deste trabalho (poços 82, 83), como mostra a Tabela 3.9 (Página 65).

Foi empregado o método interpretativo de aproximação logarítmica, conhecido como “Método de Jacob”, e o “Método de Neumann”.

3.4.5.1 - Método de Jacob

A equação de Theis é dada por:

$$s = Q / [(4\pi T) * W(u)]$$

No desenvolvimento da função **W(u)** obtém-se uma série convergente, na qual para valores de “t” (tempo de bombeamento) elevados, o valor de “u” torna-se muito pequeno, logo, desprezível para fins práticos.

Desta forma Jacob mostrou que a equação de Theis indicada anteriormente, considerando $u < 0,01$ e $W(u) = \ln(0,562/u)$, pode ser escrita por:

$$s = \frac{0,183 Q}{T} * \text{Log} \frac{2,25 T t}{r^2 S}$$

Plotando em papel semi-logarítmico os dados de rebaixamento nas ordenadas, e os logaritmos dos tempos nas abcissas, obtém-se uma reta. Tomando-se uma diferença de rebaixamento (Δs) na referida reta para um ciclo logarítmico completo dos tempos (t), obtém-se uma simplificação da equação anterior, com a Transmissividade (T) e o Coeficiente de Armazenamento (S) podendo ser determinados por:

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s} \quad , \text{ e } \quad S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

Temos então que:

- T = Transmissividade, em m^2/s ;
- S = Coeficiente de Armazenamento (adimensional), que corresponde a Porosidade específica em aquíferos livres;
- Q = Vazão do teste de bombeamento do poço, em m^3/s ;
- Δs = Variação de rebaixamento, ou rebaixamento residual ($\Delta s'$), num ciclo logarítmico, em metros;
- r = Distância entre o poço bombeado e o poço observado, em metros;
- t_0 = Tempo para o qual o rebaixamento é nulo, em segundos, sendo obtido pelo prolongamento da reta do gráfico “Rebaixamento x Tempo”, até interceptar o eixo das abcissas (ou seja, de ordenada nula);

Considerando que a maioria dos poços foram testados sem poços de observação, foi utilizado o método do rebaixamento residual ($\Delta s'$), que corresponde a recuperação do nível d'água no poço dada pela diferença de rebaixamento medida após a parada da bomba. Desta forma a Transmissividade deverá ser obtida por:

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s'}$$

Não se dispondo de poços de observação, torna-se impossível a determinação do coeficiente de armazenamento (S) pelo método citado (rebaixamento residual).

3.4.5.2 - Método de Neumann

Em alguns casos analisados os gráficos da relação “Rebaixamento x Tempo” demonstraram que o aquífero se comporta como sendo do tipo livre, e revelando efeitos de **drenagem gravitacional retardada**, o que motivou a utilização do método de Neumann (1972) para avaliação dos parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero.

O fluxo em aquíferos livres com drenagem gravitacional retardada já havia sido admitido por Boulton (1954), que desenvolveu um método para avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos mediante a utilização de uma família de curvas denominadas de “Curvas padrões de Boulton”, obtidas a partir de valores tabelados dos parâmetros: W (u_A , u_Y , r/Dt);

$1/u_A$; $1/u_Y$; r/Dt . Neuman (1972) proporcionou maior refinamento do método descrito por Boulton, aplicando os princípios básicos por ele estabelecidos.

As curvas “Rebaixamento x Tempo” representativas de poços testados em aquíferos livres com drenagem gravitacional retardada, apresentam em geral três segmentos:

- O primeiro segmento corresponde ao período inicial de bombeamento, sem influência da drenagem retardada, sendo designado de ramo **Tipo A**, que obedece a equação de não equilíbrio de Theis;
- O segundo segmento corresponde ao estágio intermediário da curva que denota uma inflexão para a direita, indicando diminuição dos rebaixamentos por influência da drenagem gravitacional retardada de águas retidas nos interstícios da camada aquífera, acima do cone de depressão, anteriormente saturada;
- No último segmento, em que cessa o processo de drenagem retardada, os rebaixamentos voltam a crescer com o bombeamento do poço, e a curva volta a se comportar segundo a equação de Theis, sendo designado de ramo **Tipo Y**.

A equação básica adotada por Boulton (1954), para descrever o fenômeno descrito, é expressa por:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(u_{AY}/Dt) ;$$

sendo $T = K \times b$; $u_A = r^2 S_A / 4Tt$; e $u_Y = r^2 S_Y / 4Tt$, temos:

- s – rebaixamento medido no poço de observação situado a uma distância r do poço bombeado (m);
- Q – Vazão de bombeamento (m^3/s);
- T – Transmissividade (m^2/s);
- $W(u_{AY}/Dt)$ – Função do poço para o sistema aquífero considerado;
- r – distância do poço bombeado ao poço observado (m);
- S_A – Coeficiente de armazenamento correspondente ao ramo tipo A (tempo curto);
- S_Y – Porosidade efetiva correspondente ao ramo tipo Y;
- t – Tempo desde o início do bombeamento (s);
- K – Condutividade Hidráulica (m/s);

O método apresenta boa representatividade para valores de “N” no intervalo $10 < N < 100$, sendo N dado por: $N = 1 + S_Y / S_A$.

No presente trabalho foi utilizado um procedimento digital para avaliação dos parâmetros pelo método Neuman, com auxílio do programa de computador “AQTESOLV” (Duffield & Rumbough, 1992). O procedimento resumido para a determinação dos parâmetros através do programa, é o seguinte:

- Entrada com os dados de campo (rebaixamentos e tempos) obtidos no poço de observação, através do teste de aquífero;
- Seleção da curva padrão de Boulton representada por β (ou r/Dt), que melhor se ajusta aos dados, inicialmente no ramo **tipo A**;
- Determinação automática do valor de **T** e **S_A** correspondente ao melhor ajuste para um determinado r/Dt ou β , previamente selecionado;
- Executa-se o mesmo procedimento de ajuste para as curvas **tipo Y**, mantendo-se o valor de r/Dt ou β usado anteriormente. Determina-se também automaticamente **T** e **S_Y**;
- A escolha da curva padrão r/Dt (ou β) deve ser feita de maneira que o valor de **T** no ramo **tipo A** seja aproximadamente igual ao valor de **T** no ramo **tipo Y**. A garantia de validade dos valores encontrados é estabelecida para $10 < N < 100$, como já citado anteriormente.

O procedimento evidenciou que o melhor ajuste dos dados corresponde à curva padrão referente ao valor de beta (β) = 0,0303 (Figura 3.3, Página 68).

3.4.5.3 - Resultados obtidos

A aplicação do método do rebaixamento residual de Jacob foi efetuada com os dados de 30 poços, conforme resultados mostrados na Tabela 3.9. Para o método de Neumann foram utilizados os dados do poço 82 (Guaramiranga). Os resultados são a seguir comentados.

a) Transmissividade (T) do aquífero Barreiras (Método de Jacob):

Os resultados indicaram, pelo método de Jacob, valores de Transmissividade variando entre $3,8 \times 10^{-6}$ a $5,84 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. O valor médio foi estimado em $2,42 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Tabela 3.9 - Parâmetros Hidrodinâmicos do aquífero Barreiras – Área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Poço	Data	T (m ² /s)	K (m/s)
03	20.08.80	$1,80 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-5}$
08	06.12.84	$1,49 \times 10^{-3}$	$1,06 \times 10^{-4}$
12	-	$1,2 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-5}$
15	-	$1,3 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-5}$
16	20.10.83	$2,54 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-4}$
17	31.03.84	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,69 \times 10^{-4}$
24	05.01.95	$5,84 \times 10^{-3}$	$2,24 \times 10^{-4}$
25	-	$5,85 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-5}$
26	-	$1,0 \times 10^{-3}$	$3,23 \times 10^{-5}$
28	31.05.90	$2,63 \times 10^{-3}$	$4,96 \times 10^{-5}$
29	05.12.84	$9,3 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-7}$
33	-	$5,08 \times 10^{-3}$	$1,69 \times 10^{-4}$
36	-	$2,6 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-5}$
37	25.06.80	$2,1 \times 10^{-3}$	$8,3 \times 10^{-5}$
38	10.09.82	$2,7 \times 10^{-3}$	-
39	-	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$
40	22.07.80	$5,08 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-4}$
46	01.02.84	$4,2 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-4}$
49	05.11.82	$7,1 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-6}$
50	06.09.83	$1,9 \times 10^{-3}$	$6,3 \times 10^{-5}$
52	14.08.83	$4,1 \times 10^{-3}$	$1,01 \times 10^{-4}$
53	-	$2,13 \times 10^{-3}$	$8,19 \times 10^{-4}$
56	-	$1,27 \times 10^{-3}$	$5,29 \times 10^{-5}$
62	02.10.82	$3,8 \times 10^{-6}$	$4,5 \times 10^{-8}$
65	-	$1,44 \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-5}$
70	-	$3,7 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-4}$
71	-	$1,7 \times 10^{-3}$	$4,25 \times 10^{-5}$
74	28.07.83	$1,83 \times 10^{-3}$	-
82	12.08.98	$4,99 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-4}$
83	11.08.98	$5,59 \times 10^{-3}$	$1,86 \times 10^{-4}$
Média		$2,42 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-4}$

b) Condutividade Hidráulica (K) do aquífero Barreiras (Método de Jacob):

Foi obtida mediante a relação “ $K = T / b$ ”, tendo sido obtidos valores de **K** variando entre $4,5 \times 10^{-8}$ a $8,19 \times 10^{-4}$ m/s, com valor médio da ordem de $1,1 \times 10^{-4}$ m/s.

c) Porosidade específica (S_Y) do aquífero Barreiras (Método de Jacob):

A porosidade específica foi determinada pelo método de Jacob, considerando também os dados do Poço de observação distanciado a cerca de 15,00 metros do poço bombeado P-82 (Guaramiranga).

A equação aplicada foi a seguinte:

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2} ;$$

em que S é correspondente a S_Y , e os outros termos são descritos no Item 3.4.5.1.

Considerando que a Transmissividade no ponto considerado (P-82) foi de $T = 4,99 \times 10^{-3}$ m²/s, o tempo $t_0 = 252$ segundos, e $r = 15,00$ metros, a Porosidade específica (S_Y) é da ordem de $1,26 \times 10^{-2}$, ou, 1,26%. O valor encontrado revela-se muito baixo, quando comparado aos valores da porosidade específica do aquífero Barreiras que atualmente vêm sendo encontrados na região costeira oriental do Estado (da ordem de 10 a 20%). Não se justifica, portanto, para efeitos práticos, a utilização do valor de $S_Y = 1,26\%$ encontrado pelo método de Jacob, o que se deve provavelmente a própria heterogeneidade do sistema, pouca precisão e más condições de realização dos testes, e também pela pouca representatividade do método.

Em estudos efetuados por Melo (1995) na região de Natal, a Porosidade Específica encontrada foi relacionada aos estratos afetados pelas flutuações do nível freático, tendo sido adotada a equação:

$$S_Y = \frac{Q}{A \Delta H} , \text{ sendo os termos definidos por:}$$

- S_Y = Porosidade específica, adimensional;

- Q = Vazão de escoamento subterrâneo, igual a $72,87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Item 3.4.7);
- A = Área de ocorrência do aquífero, igual a $325,3 \times 10^6 \text{ m}^2$;
- ΔH = Variação média do nível das águas subterrâneas entre os níveis estáticos máximos e mínimos, obtidos desde o início de funcionamento dos poços, estimada em 2,50 metros.

Desta forma foi encontrada uma Porosidade específica da ordem de 8%, que representa um valor mais próximo das condições geológicas e hidrogeológicas na área.

d) Método de Neumann

Conforme relatado no início deste capítulo, os dados analisados em muitas curvas “Rebaixamento x Tempo” evidenciaram efeitos de drenagem gravitacional retardada, pelo que resultou na presente tentativa de se avaliar os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Barreiras pelo método de Neumann.

Como o método requer a existência de poços de observação, a avaliação se procedeu utilizando apenas o poço P-82 (Guaramiranga), cujo poço de observação situava-se a cerca de 15,00 metros de distância. Mediante aplicação do método de Neumann com as técnicas computacionais já citadas, foi obtida a curva ajustada aos dados de campo ilustrada na Figura 3.3.

Os parâmetros obtidos foram os seguintes:

- Transmissividade (T) = $3,09 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;
- Porosidade Específica (S_y) = 0,1061 (10,61%).

Esses resultados se aproximam dos valores obtidos em estudos recentes realizados no aquífero Barreiras na região do litoral oriental, onde o aquífero foi concebido como um sistema livre, e foram obtidos valores de porosidade específica entre 10% e 20%, sendo adotado mais frequentemente um valor de 10%.

Figura 3.3- Gráfico "Rebaixamento x Tempo" - Método de Neumann.
Poço 82 - Guaramiranga (Ceará-Mirim/RN)

e) Parâmetros Hidrodinâmicos Representativos do Aquífero Barreiras

De acordo com os dados apresentados, e considerando as potencialidades do sistema aquífero na região costeira oriental do Estado, foram adotados neste trabalho os seguintes valores representativos do aquífero Barreiras na área estudada:

- **Transmissividade (T) = $2,42 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$;**
- **Condutividade Hidráulica (K) = $1,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$;**
- **Porosidade Específica (S_Y) = 10%.**

3.4.6 – Aspectos da Recarga do Aquífero Barreiras

A recarga do aquífero Barreiras está relacionada fundamentalmente à infiltração de águas de chuva que percolam verticalmente pelo sistema “solo-zona não saturada” (através dos estratos mais permeáveis), até alcançarem a zona saturada. O aquífero Barreiras, até mesmo com a contribuição e associação hidráulica com o aquífero Aluvial, representa o sistema com melhores condições de recarga, em especial por ser o aquífero superficial com melhores características de porosidade primária intergranular, que possibilita maior homogeneidade espacial, maior taxa de infiltração e melhor circulação das águas no meio poroso.

3.4.6.1 - Volume Precipitado

A área de ocorrência do aquífero Barreiras é da ordem de $325,30 \text{ Km}^2$, ocupando o trecho desde o litoral, até imediações de Taipu. Para efeito de cálculo do volume precipitado, foi determinada a precipitação média anual entre Ceará Mirim ($1.260,00 \text{ mm}$) e Taipu ($771,10 \text{ mm}$), que é da ordem de $1.015,60 \text{ mm/ano}$. O volume precipitado é dado por: $V_P = A \cdot P$, em que:

- V_P – Volume precipitado em m^3/ano ;
- A – área do aquífero, da ordem de $325.300.000 \text{ m}^2$;
- P – Precipitação média anual, em torno de $1.015,60 \text{ mm/ano}$.

Temos então um volume precipitado em torno de $330,00 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

3.4.6.2 - Taxa de Infiltração do aquífero Barreiras

As taxas de infiltração do aquífero Barreiras vem sendo continuamente reavaliadas através de estudos hidrogeológicos sempre mais atualizados, e os conhecimentos adquiridos têm proporcionado a definição de valores mais otimistas.

Estudos desenvolvidos em áreas do litoral oriental do Estado semelhantes à estudada, como na região metropolitana de Natal, vêm demonstrando um pronunciado aumento da exploração do aquífero com o tempo, sem ter acarretado até então algum risco de exaustão das reservas, o que deveria ocorrer se as taxas de recarga fossem baixas. Contudo, são necessários ainda estudos complementares, bem como programas de monitoramento acerca do assunto.

Até primórdios da década de 80 os valores adotados para a taxa de infiltração, em âmbito regional, eram inferiores a 16% (IPT, 1981). Estudos efetuados em áreas específicas por Melo (1995), Melo (1998) e pela SERHID/HIDROSERVICE (1998), foram encontrados valores entre 30 e 40%. Considerando os resultados do Balanço Hidrometeorológico da área (Item 2.1.6) foi estimada uma taxa de infiltração da ordem de 18,20%, que também é inferior aos valores acima citados.

Nas avaliações segundo o balanço hidrogeológico da área, em que o volume efetivamente infiltrado corresponde às Reservas Reguladoras, a recarga anual é da ordem de $81,00 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Sabendo que o volume precipitado foi estimado em $330,37 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, a taxa de infiltração (ou o volume efetivamente infiltrado) em relação ao total precipitado, é da ordem de **24,00%** para o aquífero Barreiras, portanto relativamente maior que o valor obtido pelo método de Thornthwaite.

3.4.7 – Escoamento das Águas Subterrâneas do Aquífero Barreiras

O fluxo das águas subterrâneas do aquífero Barreiras foi caracterizado por meio do mapa potenciométrico (Figura 3.4), elaborado com base no conhecimento das cotas dos níveis d'água subterrânea obtidas em poços selecionados a partir do Cadastro, numa área de 325,30 Km².

Foi admitido que o divisor natural das águas subterrâneas coincide em geral com o divisor topográfico da bacia hidrográfica, a norte e sul da área de ocorrência do aquífero Barreiras.

O divisor de águas subterrâneas do aquífero Barreiras a oeste foi traçado próximo ao seu limite aflorante, adjacente ao embasamento cristalino e aos sedimentos Cretáceos, tendo em vista também a própria condição topográfica deste setor.

As curvas iso-potenciométricas demonstram que a superfície das águas subterrâneas em geral acompanha a topografia, desta forma apresentando principalmente 02 (dois) altos potenciométricos coincidentes com as áreas dos tabuleiros norte e sul (carga hidráulica da ordem de 30,00 metros), que são as principais regiões de recarga do aquífero. A partir dos altos potenciométricos as águas subterrâneas escoam de forma radial e convergente em direção ao vale do Rio Ceará Mirim, que corresponde à principal zona de descarga do fluxo subterrâneo do aquífero, onde as cotas estão em geral abaixo de 5,00 metros.

O comportamento da potenciometria na área indica a ocorrência de fluxo subterrâneo sob condições naturais, em geral com pouca ou nenhuma influência do bombeamento dos poços existentes, o que deve ocorrer apenas de forma muito localizada. Desta forma não existe evidência acerca de uma inversão do fluxo natural devido ao bombeamento, sugerindo que a cunha salina encontra-se em equilíbrio.

O espaçamento entre as equipotenciais mostra-se a grosso modo variável, refletindo as diferentes condições litológicas e de permo-porosidade dos estratos sedimentares do aquífero Barreiras, originando assim gradientes hidráulicos espacialmente variáveis. Foram caracterizadas 03 (três) frentes de escoamento (Norte, Sudoeste e Sudeste), através das quais o fluxo subterrâneo converge para o vale, seguindo depois o sentido do fluxo regional para o mar.

A frente Norte apresenta gradientes hidráulicos em torno de 0,75% (0,0075), e engloba um trecho aproximado entre Alto do Sítio e Lagoa do Jenipapo. Na frente Sudeste os gradientes são ligeiramente menores, estimados na ordem de 0,65% (0,0065), entre a cidade de Ceará Mirim e a comunidade de Genipabu. Na frente Sudoeste, entre Taipu e Ceará Mirim, os gradientes são ligeiramente mais elevados, em torno de 1,8% (0,018).

A vazão do fluxo subterrâneo, através das frentes de escoamento citadas, foi estimada com base na lei de Darcy, dada por:

$$Q = K \cdot b \cdot i \cdot L, \text{ em que:}$$

- Q – descarga do fluxo subterrâneo na frente considerada, em m³/s;
- K – Condutividade Hidráulica média na frente considerada, em m/s;
- b – Espessura Saturada média do aquífero, em metros;

- i – gradiente hidráulico médio na frente considerada (adimensional);
- L – extensão ou largura da frente de escoamento, em metros.

A Tabela 3.10 ilustra os valores obtidos nas três frentes, tendo sido estimada uma descarga total da ordem de $73,00 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Tabela 3.10 – Descargas do Fluxo Subterrâneo do Aquífero Barreiras – Área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Setor	K (m/s)	b (m)	i (%)	L (m)	Q	
					m ³ /s	m ³ /ano
Frente Norte	$1,01 \times 10^{-4}$	41,91	0,75	40000	1,00	40×10^6
Frente Sudeste	$2,20 \times 10^{-4}$	27,00	0,65	26000	1,10	$31,85 \times 10^6$
Frente Sudoeste	$1,20 \times 10^{-5}$	15,00	1,80	10000	0,032	$1,02 \times 10^6$
Total de Descarga do Fluxo Subterrâneo					2,52	73×10^6

A vazão de escoamento natural encontrada foi relativamente baixa para a dimensão da área. Deve-se considerar que a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos tomou por base testes de bombeamento realizados na maioria sem poços de observação, possibilitando apenas a aplicação do método aproximativo de Jacob, que de certa forma pode mascarar a definição de valores mais realistas.

3.4.8 – Exutórios do aquífero Barreiras

As perdas de águas subterrâneas do aquífero Barreiras estão relacionadas principalmente às condições naturais de fluxo através das frentes de escoamento, estimadas em $73,00 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Parte deste volume alcança a superfície sob a forma de fontes e olhos d'água, indicados no cadastro do Anexo 01 como os pontos d'água **F1** a **F5**. Os olheiros e fontes são

alimentados por contribuições do manancial subterrâneo do aquífero Barreiras, ocorrendo nas encostas e partes baixas do vale que interceptam a superfície das águas subterrâneas.

Estudos efetuados pelo Consórcio Tahal-Sondotécnica (1969) na área, indicaram a existência de cerca de 330 olheiros/fontes, cujas descargas medidas entre Setembro/Outubro de 1968 foram estimadas em 500 litros/segundo, cerca de $16,00 \times 10^6$ m³/ano, com descargas unitárias variando entre 0,04 litros/segundo (1261,40 m³/ano), a 25,20 litros/segundo ($7,95 \times 10^6$ m³/ano). Medições isoladas efetuadas no Olheiro de Santa Teresa (Anexo 01 - Ponto F3), em 17/11/97, indicaram uma vazão de 315.360 litros/ano (0,01 litros/segundo).

As lagoas também funcionam como exutórios naturais do aquífero Barreiras, tendo em vista se constituírem em afloramentos da superfície freática condicionados por irregularidades topográficas, possibilitando uma atuação mais intensa dos processos de evaporação.

Os poços são os principais exutórios artificiais na área, cujas retiradas foram estimadas em $1,87 \times 10^6$ m³/ano (Item 3.4.9).

3.4.9 – Condições atuais de exploração do aquífero Barreiras

- Poços Tubulares:

As águas subterrâneas do aquífero Barreiras na região estudada consistem na principal fonte de abastecimento humano, animal e industrial, cujo volume explorado anualmente foi estimado a partir dos dados levantados acerca da extração de água e operação dos poços tubulares.

As Tabelas 3.11.1 e 3.11.2 apresentam os volumes explorados. Constata-se que cerca de 44% dos poços são de propriedade e operados pelo SAAE (Serviço Autônomo de Águas e Esgotos) de Ceará Mirim e Extremoz. Os poços são usados para abastecimento de comunidades, e operam com regime de exploração e vazão regularizados, em média com 12 horas/dia de funcionamento ininterrupto. O restante dos poços (cerca de 56%) são de propriedade particular e de algumas comunidades, não são operados pelo SAAE, e apresentam um regime de bombeamento médio de 6 horas diárias.

Constata-se que o volume total anualmente explorado do aquífero Barreiras por poços tubulares é somente da ordem de $1,87 \times 10^6$ m³/ano, ou 59,15 litros/segundo.

Tabela 3.11.1 – Volumes de água Explotados do aquífero Barreiras - Área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Poço	Local	Regime de bombeamento	Volume d'água explotado		
		(horas/dia)	M ³ /h	M ³ / dia	M ³ / ano
6	Lagoa grande	8	8,0	64,0	23360,0
7	Lagoa grande	6	2,3	13,5	4927,5
8	Tabuão	8	4,3	34,2	12468,4
9	Massangana	8	10,0	80,0	29200,0
10	S. João	2	10,0	20,0	7300,0
11	Sta. Maria	12	20,0	240,0	87600,0
12	Capela	12	9,0	108,0	39420,0
13	Capela	12	9,0	108,0	39420,0
14	Matas	12	34,8	417,6	152424,0
17	L. do Cosmo	8	21,4	171,2	62502,6
18	Eng. Mucuripe	2	6,0	12,0	4380,0
21	R. dos I. baixo	11	31,7	348,5	127195,2
23	Boa Aventura	2	0,6	1,3	457,0
24	Quiri	10	10,8	108,0	39420,0
25	Dest. Rochagro	6	8,0	48,0	17520,0
26	Mangabeira	6	4,0	24,0	8760,0
27	Eng. S. Leopoldo	6	6,3	37,8	13797,0
28	Boa Vista	12	9,0	108,0	39420,0
29	Coqueiros	12	9,0	108,0	39420,0
32	Raposa	12	9,0	108,0	39420,0
33	Nova Esperança	12	10,0	120,0	43800,0
34	S. Leopoldo	6	4,8	28,8	10512,0
35	Dest Boa água	3	10,0	30,0	10950,0
36	Faz. boa Vista	4	7,0	28,0	10220,0
38	Sítio S. José	3	6,0	18,0	6570,0
39	Coqueiros	4	2,4	9,6	3504,0
40	Alto do Sítio	12	18,4	220,8	80592,0
41	Sítio	3	1,5	4,5	1642,5
42	Lagoa grande	8	8,2	65,6	23944,0
46	Capim	8	8,0	64,0	23360,0
47	Faz. Retiro	2	2,0	4,0	1460,0
48	Faz. Alvorada	4	4,2	16,8	6132,0
50	Faz. Igarassu	4,2	6,0	9,6	3504,0
TOTAL 1					1.104.392,2

Tabela 3.11.2 – Volumes d'água Explotados do aquífero Barreiras (continuação).

No	Local	Regime de bombeamento	Volume d'água explotado		
		(horas/dia)	M ³ /h	M ³ / dia	M ³ / ano
51	Faz Sta. Gertrudes	3	6,0	220,8	80592,0
52	S. Firmino	4	4	16,0	5840,0
53	Vila de Fátima	12	20,5	246,0	89790,0
55	Murici	2	11	22	8030
56	Vila de Fátima	2	4,5	9	3285
57	Alto Estivas	12	2,6	31,2	11388
59	Pedrinhas	12	10	120	43800
60	Araçá	12	14,264	171,168	62476,32
61	Gruta	12	15	180	65700
62	Ibiribeira	3	2	6	2190
63	Gr. São José	4	3	12	4380
64	Contendas	12	11,074	132,888	48504,12
65	Contendas	12	12	144	52560
68	Caiana	12	3	36	13140
70	Caiana	3	10	30	10950
71	Genipabu-Trevo	12	18	216	78840
80	Água Min. Sta. Inês	12	10	120	43800
81	Contendas	5	3	15	5475
82	Guaramiranga	10	17,21	172,1	62816,5
83	Oitizeiro	10	17,60	176,0	64240
84	Serrinha	10	10	100	36500
TOTAL 2					674.506,94
TOTAL GERAL					1.865.331,14

- Poços amazonas

Foram cadastrados 33 unidades de captação do tipo Poço Amazonas, nomeados como cacimbas (C₁ A C₃₃), que em geral são construídas em alvenaria, com diâmetro de 2,00 a 3,00 metros. As águas são captadas de maneira artesanal, geralmente com um balde de 20 litros preso a uma corda ou cabo de aço, que é descido através de uma roldana até o nível d'água. Em média o volume diário extraído de cada unidade é da ordem de 500 litros/dia, correspondendo a um volume de 6.022,5 m³/ano.

Considerando os poços tubulares e poços amazonas, o volume total explotado corresponde a **1.871.353,64 m³/ano**.

3.4.10 – Estimativa de Reservas de águas subterrâneas do aquífero Barreiras

Nas avaliações acerca das reservas hídricas do aquífero Barreiras, admitindo as características dimensionais, litológicas e hidrodinâmicas obtidas para o sistema, foram consideradas as Reservas Permanentes, Reguladoras e Explotáveis, que são a seguir apresentadas.

3.4.10.1 - Reservas Permanentes (R_P) do aquífero Barreiras:

As reservas permanentes ($R_P = A \cdot b \cdot S_Y$) foram determinadas de acordo com os seguintes dados:

- A – Área de ocorrência do aquífero Barreiras, em torno de 325,3 Km²;
- b – Espessura média saturada, estimada em 38,27 metros;
- S_Y - Porosidade específica, avaliada em 10%.

Em função dos parâmetros conhecidos, as reservas permanentes totalizaram **1.245,00 x 10⁶ m³** (1,25 x 10⁹ m³, ou, 1,25 bilhões m³).

3.4.10.2 - Reservas Reguladoras (R_R) do aquífero Barreiras

Correspondem ao volume de água da zona saturada, armazenado sob condições de flutuação sazonal do nível das águas subterrâneas (devido a fatores climáticos e Hidrodinâmicos) em um aquífero freático.

Representam, portanto, a recarga anual do aquífero, cujo volume pode ser extraído sem acarretar riscos de esgotamento do sistema. As reservas reguladoras foram avaliadas pela equação:

$$R_R = A \cdot \Delta h \cdot S_Y, \text{ em que:}$$

- R_R – Reservas reguladoras, em m³/ano;

- A – Área do aquífero, da ordem de 325,3 Km²;
- Δh – Variação sazonal do nível das águas subterrâneas, estimada em 2,50 metros;
- S_Y - Porosidade específica, avaliada em 10%.

Considerando os valores representativos para o aquífero, as reservas reguladoras são da ordem de **81,00 x 10⁶ m³/ano**.

3.4.10.3 - Reservas Explotáveis do aquífero Barreiras (R_{EX}):

Admite-se que as reservas explotáveis correspondam às reservas reguladoras, da ordem de **81 x 10⁶ m³/ano**, representando assim o potencial recarregável do aquífero Barreiras. Isto possibilita a manutenção do equilíbrio necessário a preservação do volume d'água indicativo das reservas permanentes, sem risco de exaustão do sistema.

Constata-se assim que o atual nível de aproveitamento das águas subterrâneas do aquífero Barreiras (volume atual explotado de 1,87 x 10⁶ m³/ano) é da ordem de 2,3% das reservas explotáveis do aquífero Barreiras, indicando uma disponibilidade de quase 98%.

Tem-se constatada realmente uma subexplotação do sistema aquífero Barreiras nas atuais condições de aproveitamento na área, configurada em constantes encharcamentos das partes mais baixas do vale, decorrentes de ressurgências das águas subterrâneas em fontes e olhos d'água.

Deve-se enfatizar que as reservas reguladoras foram calculadas admitindo-se uma variação sazonal do nível potenciométrico de apenas 2,50 metros. No entanto variações da ordem de 7,00 metros foram registradas em setores do aquífero Barreiras situados a norte e sul de Natal (Melo, 1995), em que o aquífero é submetido a intensa exploração, sem denotar problemas de esgotamento do sistema.

Nestas condições admite-se que uma exploração mais efetiva do aquífero Barreiras na área poderia provocar um maior rebaixamento do nível das águas subterrâneas, além das oscilações naturais, favorecendo uma maior infiltração e indução de recarga, o que consequentemente aumentariam as reservas reguladoras e explotáveis do aquífero.

A nível demonstrativo, se fosse admitida uma variação anual do nível potenciométrico da ordem de 5,00 metros, e considerando a superfície do aquífero de 325,3 Km², com porosidade específica de 10%, resultariam em reservas explotáveis da ordem de 162,7 x 10⁶ m³/ano, ou seja, praticamente o dobro do volume anteriormente avaliado.

3.5 – AQUÍFERO ALUVIAL

O aquífero Aluvial corresponde aos sedimentos fluviais compostos por areias, argilas e cascalho em proporções variáveis. Em geral na parte inferior do aquífero predominam as frações arenosas médias a grosseiras, com cascalho e/ou pedregulho, comumente com poucas intercalações argilosas. Na porção superior os perfis revelam normalmente a predominância de areias finas, argilosas, com maior percentagem de intercalações de argila.

O aquífero Aluvial apresenta na área uma superfície da ordem de 154,00 km², e ocorre sob condições distintas nos seguintes trechos: entre Poço Branco e Taipu; e entre Taipu até a linha costeira. Entre Poço Branco e Taipu o aquífero aluvial ocorre sobreposto predominantemente às rochas cristalinas, com dimensões reduzidas (principalmente as larguras, entre 50 e 100 metros), muitas vezes apresentando interrupções da faixa sedimentar aluvial devido a ocorrência de soleiras do embasamento rochoso.

Entre Taipu e a linha de costa as aluviões apresentam larguras mais expressivas, variando de 500 a 1.500 metros, sendo desenvolvidas sobre os terrenos sedimentares da Formação Barreiras, com os quais se conectam hidraulicamente num sistema único.

Deve-se enfatizar que não existem informações suficientes para caracterização hidrodinâmica do fluxo subterrâneo, reservas e qualidade das águas do aquífero Aluvial, até porque na área estudada praticamente não ocorre um aproveitamento do seu potencial hídrico através de poços rasos, tendo em vista a oferta superficial de águas de boa qualidade liberadas por ressurgência do aquífero Barreiras na região do vale, entre Taipu e a linha de costa. No trecho do rio entre Taipu e Poço Branco, as aluviões são alimentadas em parte pelas águas da Barragem de Poço Branco.

Apenas o Poço 45 (Fazenda Pitombeira) é indicativo de captação direta do aquífero Aluvial, com águas de qualidade salobra e duras, evidenciando potabilidade medíocre a má.

4 – CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 – INTRODUÇÃO

O conhecimento acerca dos aspectos qualitativos das águas subterrâneas em qualquer estudo hidrogeológico é de extrema importância, tendo em vista que uma água de determinada qualidade natural pode se prestar a todos os fins, ou apenas para usos específicos, influenciando assim no seu fator econômico, e viabilizando o aproveitamento e gerenciamento dos sistemas aquíferos.

De uma maneira geral a qualidade natural das águas subterrâneas é resultante das interações que ocorrem no contexto “água-rocha” em subsuperfície, podendo ser modificada por mecanismos de poluição/contaminação passíveis de se processarem tanto na zona não saturada, ou diretamente nos sistemas aquíferos (zona saturada), condicionados por fatores físicos, químicos e biogeoquímicos.

No ciclo hidrológico as águas estão em constante movimento, e a situação ou condição física em que a mesma se encontra determina que processos físicos, químicos e biogeoquímicos devem prevalecer na definição de sua qualidade. Desta forma é que as águas superficiais e subterrâneas apresentam-se consideravelmente diferentes do ponto de vista qualitativo.

As águas subterrâneas têm a capacidade de dissolver mais intensamente o material sólido das formações geológicas pelas quais circulam, mediante vários processos e reações químicas (hidratação, hidrólise, dissolução, oxidação, complexação, geralmente na presença de ácidos orgânicos e minerais), formando os constituintes solúveis (cátions e ânions, por exemplo), e insolúveis. O material sólido do aquífero, por sua vez, têm a capacidade de filtrar grande parte dos microorganismos presentes na água. Por outro lado as águas superficiais são mais susceptíveis de apresentar elevada concentração de matéria orgânica biodegradável, muito material em suspensão e dissolvido, e alto nível de bactérias.

Uma vez que as águas superficiais contenham elevada concentração de matéria orgânica e outros poluentes/contaminantes, a sua eliminação vai depender do volume, intensidade e frequência de lançamento de carga poluidora no corpo d'água.

Em áreas costeiras a qualidade das águas continentais (superficiais e subterrâneas) também pode sofrer modificações pelo contato com as águas do mar. Em superfície, nas regiões baixas de ambientes costeiros, as águas do mar avançam sobre trechos de rios, riachos e lagoas de água doce perenes, formando ambientes lagunares e estuarinos. A influência das águas do

mar sobre as águas subterrâneas também ocorre em regiões costeiras, na medida em que existe uma interface “água doce - água salgada”, que se mantém em equilíbrio mediante a manutenção das condições naturais do fluxo subterrâneo para o mar. A quebra desse equilíbrio pode originar a intrusão salina nos aquíferos costeiros, decorrente da inversão do fluxo ocasionada por uma superexploração.

A qualidade das águas pode ser caracterizada por seus aspectos físicos, químicos e biológicos, a partir dos quais são classificadas quanto ao seu conteúdo mineral, potabilidade e toxicidade. As características físicas correspondem aos seguintes parâmetros: Turbidez, cor, sabor, odor, temperatura, Condutividade elétrica, salinidade. As características químicas são estabelecidas por: pH, DBO, DQO, OD, CO₂ dissolvido, conteúdo iônico, metais, compostos orgânicos e nutrientes.

O conteúdo iônico das águas subterrâneas é definido pelos constituintes químicos principais, que são: os cátions sódio, cálcio, magnésio, potássio e ferro; e os ânions cloreto, sulfato, bicarbonato, carbonato e nitrato. Os principais componentes biológicos avaliados são as bactérias do grupo Coliformes totais e fecais.

No presente estudo é feita uma caracterização geral sobre a qualidade das águas para os diversos usos, e quando possível são apontadas evidências de alterações do padrão natural. Neste caso poderão ser necessários pesquisas específicas e detalhadas acerca dos processos físicos-químicos-biogeoquímicos das zonas saturada e não saturada, as quais poderão ser conduzidas em trabalhos futuros, fora dos objetivos do presente estudo.

O balanço iônico estabelece a precisão e confiabilidade das técnicas de análises químicas adotadas para às amostras de água, mediante a avaliação do erro percentual (*e*) cometido em laboratório. O cálculo do erro é dado por:

$$e = \frac{r\Sigma C - r\Sigma A}{r\Sigma C + r\Sigma A} \times 100 \quad , \text{ em que:}$$

- $r\Sigma C$ – Somatório da concentração dos cátions (meq/L);
- $r\Sigma A$ – Somatório da concentração dos ânions (meq/L);

Para uma amostra analisada ser confiável, a concentração dos cátions principais deve ser a mais próxima possível da concentração dos ânions principais. Em geral admite-se que erros de até 5% podem considerar a análise como aceitável.

Na Figura 4.1 é indicado o mapa de distribuição espacial dos pontos em que foram realizadas amostragens de água na área estudada. Apesar de não conter um grande número de dados, os pontos de coleta e análise se apresentam com uma distribuição espacial satisfatória.

A Tabela 4.1 apresenta uma classificação da salinidade das águas baseada no Método de Mcneely et ali (1979), que varia em função do conteúdo de sólidos totais dissolvidos, e que foi adotada para as amostras analisadas neste trabalho.

Tabela 4.1 – Classificação das águas segundo a quantidade de Sólidos Totais Dissolvidos – Mcneely et ali (1979).

Classificação	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)
Para consumo humano	STD < 500
Doces	STD ≤ 1.000
Ligeiramente Salobras	1.000 < STD ≤ 3.000
Moderadamente Salobras	3.000 < STD ≤ 10.000
Salgadas	10.000 < STD ≤ 100.000
Salmoura	STD > 100.000

O Anexo 2.1 indica os resultados das análises químicas das amostras usadas no trabalho. O Anexo 2.2 contem os dados referentes às características físicas, e o Anexo 2.3 a classificação das águas quanto aos íons dominantes, dureza, potabilidade e irrigação, determinada para cada uma das amostras dos diferentes sistemas aquíferos. No Anexo 2.4 as amostras são relacionadas segundo a adequabilidade das águas para uso industrial.

Os aspectos qualitativos das águas subterrâneas do aquífero Cristalino na área de estudo foram descritos com base nas informações de 07 poços existentes. Foram reunidos resultados de análises químicas do período entre 1982 e 1993, e o balanço iônico indicou em cerca de 90% dos resultados, erros inferiores a 5%. O Anexo 2.1 contém os valores dos constituintes iônicos e outros parâmetros químicos obtidos, para as amostras analisadas. Os poucos dados referentes ao aquífero Cristalino, não permitiram fazer considerações estatísticas mais apuradas. Mesmo assim foi possível indicar as principais características químicas das águas subterrâneas do meio fissural, principalmente pelo seu comportamento claramente distinto das águas dos meios aquíferos sedimentares.

Figura 4.1 - Mapa de localização dos poços que contém análises químicas

Os aspectos qualitativos das águas subterrâneas dos aquíferos Cretáceos (Açu e Jandaíra) foram avaliados por meio dos resultados de análises químicas de 14 amostras d'água (13 poços; 01 cacimba), das quais 05 (cinco) amostras referem-se ao período mais recente (1997/1998), e 09 (nove) correspondentes a períodos mais antigos (1980 a 1991), como indicados no Anexo 2.1. O balanço iônico estabelecido revelou cerca de 95% das análises com boa representatividade, apresentando erros inferiores a 5%.

Nas avaliações sobre a qualidade das águas do aquífero Barreiras foram considerados 48 resultados de análises físico-químicas em 45 pontos d'água, incluindo 39 de poços tubulares, 05 de cacimbas e 01 (uma) fonte. Do total (48), vinte (20) amostras correspondem a análises preexistentes (período de 1980 a 1996). As amostras restantes foram analisadas no âmbito deste trabalho, no intervalo entre 1997 e 1998. O balanço iônico evidenciou em cerca de 96% das amostras, erros abaixo de 5%, sendo a maior parte das análises consideradas boas.

Com vistas a um reconhecimento prévio e visualização das características químicas das águas subterrâneas da área estudada, foi elaborado o mapa de IsoCondutividade Elétrica, tendo como base o conhecimento dos valores medidos em campo com condutivímetro portátil, em pontos selecionados, quando da elaboração do cadastramento em campo. A Figura 4.2 ilustra o mapa elaborado, o qual evidencia diferentes trechos da área com águas de diferentes salinidades. A análise e correlação analógica do mapa de Condutividade elétrica com os aspectos geológicos da área, possibilitou constatar a existência de uma variação espacial da salinidade das águas em função dos domínios lito-geológicos representativos dos diferentes sistemas aquíferos.

No setor oriental predominam águas subterrâneas menos salinizadas (Condutividade Elétrica entre 50 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), o que está de acordo com o comportamento estrutural e maior potencial hidrogeológico do aquífero Barreiras neste setor, tanto em termos quantitativos como qualitativos.

Percebe-se um aumento brusco da Condutividade desde 100 até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, numa faixa alongada de direção NW-SE, passando por Ceará Mirim, o que deve ser influenciado por uma diminuição progressiva das espessuras do aquífero Barreiras, e conseqüentemente maior influência de águas mais salinizadas do aquífero Jandaíra.

A partir de Ceará Mirim até Taipu as curvas de isocondutividade elétrica mostram um aumento desde 1.000 até 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que reforça a hipótese da maior influência do aquífero Jandaíra menos profundo e aflorante, e das menores espessuras do aquífero Barreiras condicionadas pelo comportamento estrutural.

No extremo oeste/sudoeste predominam valores de Condutividade elétrica variando de 2.000 a 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondendo à área de ocorrência do aquífero Cristalino.

4.2 – TIPOS DE ÁGUA, PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICOS DAS ÁGUAS

Para a caracterização dos tipos de água foi inicialmente determinada a concentração percentual dos teores de cátions e ânions principais (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , HCO_3 , CO_3), nas diferentes amostras d'água, que possibilitaram conhecer os íons dominantes.

Conhecendo-se os percentuais, foram definidos os tipos iônicos das águas, concedendo às mesmas (em cada amostra) a denominação do cátion e ânion predominante em mais de 50% das suas respectivas somas. Se a soma não ultrapassar esta cifra, a água é denominada pelos dois cátions e dois ânions mais abundantes, caracterizando as águas do tipo Mistas.

Foi utilizado o Diagrama de PIPER para plotar os teores percentuais dos cátions e ânions, como forma de permitir a definição e/ou visualização dos tipos de água. A Figura 4.3 ilustra as amostras dos aquíferos estudados no Diagrama de PIPER, e em seguida são feitos comentários sucintos acerca dos tipos de água mais frequentes nos diferentes sistemas.

4.2.1 – Aquífero Cristalino

Conforme análise do Diagrama de Piper (Figura 4.3), o aquífero Cristalino apresentou os seguintes tipos de águas:

- Cloretadas – Sódicas (05 amostras);
- Mistas: Cloretadas–Sódico–Magnesianas (01 amostra); Cloretadas–Magnesiano–Sódicas (01 amostra).

De acordo com os parâmetros e propriedades físico-químicas das 07 amostras d'água consideradas (Anexo 2.1), foram encontrados os valores médios, máximos e mínimos mostrados nas Tabelas 4.2.1/4.2.2.

Figura 4.3 - Diagrama de Piper

Tabela 4.2.1 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Cristalino – área do baixo a médio curso da bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Valor	Na	Ca	Mg	K	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NH ₃	NO ₂	NO ₃
MIN	305,9	15,82	44,52	8,21	0,0	438,8	57,8	63,26	0,0	0,0	0,0	0,0
MÁX	1521,	638,5	765,6	151,0	5,07	4949	542	455,2	7,28	0,15	0,13	204,0
MED	889,7	251,9	290,2	49,22	0,82	2421	158	194,7	1,40	0,04	0,05	69,59
Obs.:												
<ul style="list-style-type: none"> • Valores em mg/L; • Número de amostras: 07 												

Tabela 4.2.2 - Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Cristalino (continuação)

Valor	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L, CaCO ₃)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Dureza (mg/L, CaCO ₃)	pH
MIN	51,85	1605,6	1854,4	220,36	6,1
MAX	373,13	11206,0	12768,0	4035,0	8,4
MED	163,73	5393,4	6635,5	1823,7	6,94

Com respeito aos aspectos físicos das águas (Anexo 2.2), o maior destaque ficou por conta dos teores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD), situados entre 1.605,60 mg/L e 11.206,0 mg/L, sendo o valor médio de 5.393,0 mg/L (Tabela 4.2.2). Com isso as águas se classificam como moderadamente salobras a salgadas, conforme a classificação da Tabela 4.1.

4.2.2 – Aquíferos Cretáceos

Os parâmetros médios são apresentados nas Tabelas 4.3.1 a 4.3.6, e na Figura 4.3 (Pág. 87) as amostras no Diagrama de Piper. As águas subterrâneas do sistema aquífero Cretáceo evidenciaram, de forma preliminar, tipos iônicos dominantes dependentes dos níveis de captação dos aquíferos, ou seja, as seguintes possibilidades: poços captando o aquífero Barreiras mais o Jandaíra; captando só o aquífero Jandaíra; captando só o aquífero Açu; captando o aquífero Jandaíra mais o Açu; captando os aquíferos Barreiras, Jandaíra e o Açu. Foram constatados os seguintes aspectos:

- As águas dos poços com captação mista (filtros posicionados nos aquíferos Açu, Jandaíra e na base do aquífero Barreiras), apresentaram-se quimicamente como águas Mistas (Sulfatadas, Cloretadas e Bicarbonatadas), segundo as seguintes classes:
 - Sulfatadas-Cloretadas-Cálcico-Magnesianas (01 amostra);
 - Sulfatadas-Cálcico-Sódicas (01 amostra);
 - Cloretadas-Bicarbonatadas-Sódicas (01 amostra);
 - Bicarbonatadas-Cloretadas-Sódico-Cálcicas (01 amostra);
 - Bicarbonatadas-Cloretadas-Sódico-Magnesianas (01 amostra);
 - Bicarbonatadas-Cloretadas-Sódico (01 amostra).
- As águas dos poços captando o aquífero Jandaíra revelaram-se do tipo Cloretadas Sódicas e Mistas, ou seja:
 - Cloretadas-Sódicas (01 amostra);
 - Cloretadas-Cálcico-Sódicas (01 amostra);
 - Cloretadas-Magnesianas-Sódicas (01 amostra);
 - Cloretadas-Sódico-Magnesianas (01 amostra);
- Com respeito às águas dos poços captando o aquífero Açu, foram revelados os tipos:
 - Cloretadas-Sódicas (02 amostras);
 - Cloretadas-Bicarbonatadas-Sódicas (01 amostra);
 - Cloretadas-Magnesianas-Cálcicas (01 amostra).

Tabela 4.3.1 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas dos aquíferos Cretáceos (valores máximos, médios, mínimos) – Captação Mista – área do baixo a médio curso da bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Valor	Na	Ca	Mg	K	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NH ₃	NO ₂	NO ₃
MIN	7,26	1,64	0,62	0,25	0,0	6,99	2,78	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MÁX	285,7	324,3	147,9	20,00	0,16	593,9	944	268	0,0	0,5	0,02	75,88
MED	121,3	110,4	50,05	10,68	0,07	189,4	317	156,5	0,0	0,12	0,01	20,21
Obs.:												
<ul style="list-style-type: none"> • Valores em mg/L; • Número de amostras: 06. 												

Tabela 4.3.2 - Parâmetros químicos das águas subterrâneas dos aquíferos Cretáceos (valores máximos, médios, mínimos) – Captação Mista (continuação)

Valor	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L, CaCO ₃)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Dureza (mg/L, CaCO ₃)	pH
MIN	10,06	57,20	48,64	6,66	6,55
MAX	189,43	2555,4	2617,4	1418,97	8,9
MED	135,68	982,9	1013,59	481,93	7,54

Tabela 4.3.3 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra (valores máximos, médios, mínimos) - área do baixo a médio curso da bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Valor	Na	Ca	Mg	K	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NH ₃	NO ₂	NO ₃
MIN	193,7	97,11	80,21	6,25	0,0	421,4	68,4	248,6	0,0	0,0	0,0	3,26
MÁX	400,5	229,3	229,4	23,16	0,10	1314	348	314,1	0,0	0,0	0,8	50,7
MED	287,1	178,4	148,9	13,09	0,03	877,4	138	276,9	0,0	0,0	0,21	20,4
Obs.:												
<ul style="list-style-type: none"> • Valores em mg/L; • Número de amostras: 04 												

Tabela 4.3.4 - Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra (valores máximos, médios, mínimos) - (continuação).

Valor	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L, CaCO ₃)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Dureza (mg/L, CaCO ₃)	pH
MIN	203,8	1551,8	2394,0	572,8	6,4
MAX	257,5	2436,8	3231,9	1517,0	7,6
MED	227,2	2168,1	2783,5	1012,28	7,2

Tabela 4.3.5 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Açu (valores máximos, médios, mínimos) - área do baixo a médio curso da bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Valor	Na	Ca	Mg	K	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NH ₃	NO ₂	NO ₃
MIN	200,0	52,89	38,1	15,6	0,0	248,1	73,5	163,0	0,0	0,01	0,0	0,0
MÁX	356,3	231,4	142,9	18,8	0,04	943,1	308	333,9	0,0	0,04	0,04	20,0
MED	266,5	131,2	78,84	17,4	0,02	591,7	165	259,9	0,0	0,03	0,02	6,46
Obs.:												
<ul style="list-style-type: none"> • Valores em mg/L; • Número de amostras: 04 												

Tabela 4.3.6 - Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Açu (valores máximos, médios, mínimos) - (continuação).

Valor	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L, CaCO ₃)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Dureza (mg/L, CaCO ₃)	pH
MIN	142,2	928,4	1295,8	289,1	7,1
MAX	273,7	2247,8	2685,6	1166,1	8,2
MED	221,3	1613,4	2177,6	652,2	7,78

Em geral constata-se a predominância de águas mistas do tipo “Cloretadas Mistas” nos aquíferos Jandaíra e Açu. Nos poços com captação mista as águas são predominantemente Mistas (Sulfatadas e Bicarbonatadas). Foi evidenciado que as águas mistas Bicarbonatadas ocorrem de preferência nas partes superiores do aquífero Jandaíra, ou seja, mais próximas a base

do aquífero Barreiras. As águas provenientes exclusivamente das partes mais profundas do aquífero Jandaíra, e do aquífero Açú, revelaram-se como Cloretadas.

No Anexo 2.2 estão relacionadas as características físicas das águas dos poços estudados. Considerando os níveis de captação anteriormente citados, foram constatados os seguintes valores médios de Sólidos Totais Dissolvidos (STD):

- Captação mista (aquíferos Barreiras, Jandaíra, Açú): Valor médio de STD igual a 983,0 mg/L (06 amostras);
- Captação do aquífero Jandaíra: Valor médio de STD igual a 2.168,3 mg/L (04 amostras);
- Captação do aquífero Açú: Valor médio de STD igual a 1.613,4 mg/L (04 amostras).

Os dados também evidenciaram os seguintes aspectos:

- Nas amostras de água oriundas dos poços com captação mista, a concentração salina é em média inferior que nos aquíferos Jandaíra e Açú captados isoladamente, sendo classificadas como “águas doces” (< 1000 mg/L). Este fato deve estar relacionado à mistura das águas dos três (03) sistemas aquíferos, ocasionando uma maior diluição dos sais;
- As amostras d’água oriundas dos poços que captam o aquífero Jandaíra apresentaram teores de Sólidos Totais Dissolvidos superiores aos encontrados nas amostras d’água dos poços que captam o aquífero Açú, embora ambos os casos se enquadrem na categoria de “águas ligeiramente salobras” ($1.000 < \text{STD} \leq 3.000$ mg/L).

As águas do aquífero Jandaíra (Tabelas 4.3.3/4.3.4) revelaram-se, individualmente, como as mais salinizadas do sistema aquífero sedimentar, devido a maior facilidade de dissolução dos componentes minerais até saturação, provocando maior concentração de sais.

Considerando o conjunto de poços que captam os aquíferos Açú e Jandaíra (Tabela 4.3.1/4.3.2), foi observado que a maior parte dos seus parâmetros químicos médios indicaram concentração salina superior à do aquífero Barreiras (valor médio dos STD = 120 mg/L). No entanto as águas dos aquíferos Cretáceos apresentaram concentração salina muito inferior às águas do aquífero Cristalino (STD = 5.400 mg/L).

Os teores médios de nitrato nas águas dos poços do aquífero Jandaíra e dos poços com captação mista (Tabelas 4.3.3 e 4.3.1, respectivamente) são semelhantes (cerca de 20 mg/L), sendo no entanto significativamente maiores que nas águas dos poços do aquífero Açú (6,00 mg/L). Isso deve refletir a menor vulnerabilidade do aquífero Açú aos processos de poluição/contaminação, principalmente devido a sua maior profundidade e proteção do sistema

pelos aquíferos superpostos, capazes de atenuar e reter boa parte de carga poluente/contaminante.

4.2.3 – Aquífero Barreiras

Os Anexos 2.1 e 2.2 apresentam os parâmetros químicos e físicos das amostras do aquífero Barreiras. As Tabelas 4.4.1 e 4.4.2 contém os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros, considerando um total de 48 amostras de água.

A cor das águas apresenta como limite permissível o valor de 30 (relativo a placa de platina-cobalto), estabelecido pela Associação Americana de Saúde Pública (A.P.H.A). Os dados indicaram em cerca de 85% das amostras (41 poços) índices inferiores a 30, segundo a A.P.H.A.

As temperaturas encontradas variaram de 18^oC a 28^oC. No entanto cerca de 97% das amostras evidenciaram temperaturas entre 20 e 28^oC. O sabor e odor das águas estão predominantemente dentro dos limites de potabilidade, indicados por característica “Não objetável”.

Os números indicativos da Turbidez nas águas revelaram, na maioria das amostras (85%), teores abaixo do limite permitido de 5,00 uT (Unidades de Turbidez).

O conteúdo de Sólidos Totais Dissolvidos, segundo a classificação de Mcneely (1979), indicou que 97% das amostras são classificadas como **águas doces**, com cerca de 3% de águas ligeiramente salobras.

As águas subterrâneas do aquífero Barreiras, de acordo com as amostras analisadas, apresentaram os seguintes tipos iônicos, que também são mostrados no Diagrama de Piper (Figura 4.3):

- Cloretadas (24 amostras) – 52%;
- Bicarbonatadas (10 amostras) – 22%;
- Mistas (12 amostras) – 26%.

Tabela 4.4.1 – Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Barreiras (valores máximos, médios, mínimos) - área do baixo a médio curso da bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Valor	Na	Ca	Mg	K	Fe	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	NH ₃	NO ₂	NO ₃
MIN	0,0	0,41	0,32	0,0	0,0	6,99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MÁX	175,0	96,1	69,56	9,5	1,62	539,4	30,9	108,4	23,2	0,46	0,18	30,1
MED	14,79	10,19	4,23	2,69	0,14	30,60	3,42	34,92	0,61	0,07	0,01	3,20
Obs.:												
<ul style="list-style-type: none"> • Valores em mg/L; • Número de amostras de água: 48 												

Tabela 4.4.2 - Parâmetros químicos das águas subterrâneas do aquífero Barreiras (valores máximos, médios, mínimos) - (continuação)

Valor	Alcalinidade de Bicarbonato (mg/L CaCO ₃)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Dureza (mg/L, CaCO ₃)	pH
MIN	0,0	11,4	46,3	3,61	4,5
MAX	89,3	1212,4	1707,0	526,31	11
MED	26,87	120,5	149,26	42,80	6,74

As águas “**Cloretadas**” predominantes são do tipo “Cloretadas Sódicas” (em 23 amostras), sendo uma (01) amostra classificada como “Cloretada Magnésiana” (amostra 37).

As águas “**Bicarbonatadas**” apresentaram os seguintes tipos:

- Bicarbonatadas – Cálcicas (06 amostras);
- Bicarbonatadas – Sódicas (03 amostras);
- Bicarbonatadas – Magnésianas (01 amostra).

As águas “**Mistas**” evidenciaram os seguintes tipos:

- Cloretadas – Sódico – Cálcicas (01 amostra);
- Cloretadas – Sódico – Magnésianas (01 amostra);
- Cloretadas – Cálcico – Magnésianas (01 amostra);
- Cloretadas – Bicarbonatadas – Sódicas (01 amostra);
- Cloretadas – Bicarbonatadas – Sódico – Cálcicas (01 amostra);
- Bicarbonatadas – Cálcico – Magnésianas (04 amostras);
- Bicarbonatadas – Cálcico – Sódicas (03 amostras).

4.3 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA CONSUMO HUMANO

Os limites padrões de qualidade das águas, adotados tanto a nível nacional como em outras partes do mundo, indicam o conteúdo máximo de impurezas que é permitido nas águas para os diversos fins, cujo suporte legal é estabelecido por órgãos oficiais. Para as águas subterrâneas os padrões de maior interesse são definidos com vistas à classificação das águas para uso humano (potabilidade), uso industrial e na agricultura.

A Tabela 4.5 apresenta os teores limites para consumo humano das principais características físicas, químicas (orgânicas e inorgânicas) e organolépticas de água potável usada no Brasil, conforme Portaria Nº 36 de 01/01/1990 do Ministério da Saúde, e determinação da Organização Mundial de Saúde (OMS).

A classificação segundo Schoeller estabelece classes de potabilidade das águas em função dos teores de parâmetros químicos encontrados na amostra analisada, como mostra a Tabela 4.6. A representação das classes é feita no diagrama de potabilidade de Schoeller, através do qual pode-se identificar famílias de curvas indicativas de águas com características

químicas semelhantes, que são representativas dos respectivos sistemas aquíferos. O diagrama consiste de escalas verticais onde são plotados os teores de cátions e ânions principais, além da dureza em graus franceses ($^{\circ}\text{F}$) e pH. Para conversão dos valores da dureza em mg/L de CaCO_3 usa-se a relação: $1^{\circ}\text{F} = 0,2 \text{ meq/L}$. As Figuras 4.4 (4.4.1 a 4.4.3) ilustram os diagramas de potabilidade com o conjunto de amostras dos aquíferos estudados.

A Tabela 4.7 apresenta as classes de Dureza das águas, e a Tabela 4.8 ilustra as características bacteriológicas exigidas para água potável, com base na concentração de bactérias do grupo Coliformes em amostras coletadas em redes de distribuição, e em pontos de águas não canalizadas. No entanto o presente trabalho não apresenta uma caracterização biológica das águas subterrâneas, tendo em vista a falta de dados e a impossibilidade de se efetuar uma amostragem e análise sistemáticas das águas dos poços.

4.3.1 – Aspectos da Qualidade das águas do aquífero Cristalino para Consumo Humano

A potabilidade das águas do aquífero Cristalino, segundo a classificação de Schoeller, é reconhecidamente baixa na maioria dos poços existentes no Estado, tendo sido constatada também nas amostras d'água avaliadas no âmbito deste trabalho.

Foram caracterizadas águas com potabilidade Medíocre a Momentânea (Anexo 2.3), que no Diagrama de Schoeller (Figura 4.4.1, Pág. 101) são indicadas por curvas posicionadas em patamares de águas não potáveis.

As concentrações iônicas das águas, segundo os teores encontrados nas amostras (Anexo 2.1 e Tabelas 4.2.1 e 4.2.2), evidenciaram também a sua inadequabilidade para consumo humano, normalmente ultrapassando os limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde (Tabela 4.5).

Merecem ser destacados os elevados teores de Nitrato, cujo valor máximo foi de 204,0 mg/L, e valor médio da ordem de 70,00 mg/L, refletindo a maior vulnerabilidade do sistema aquífero à poluição/contaminação, principalmente pela pouca espessura do capeamento sedimentar (regolito e/ou colúvio), que não permite uma autodepuração eficiente, e também pela pequena profundidade da superfície freática, em geral inferior a 10,00 metros.

Tabela 4.5 – Padrões de Potabilidade das águas

Características	Portaria do Ministério da Saúde (Nº 36, de 19/01/90)	OMS (VMP)
<u>I – Físicas e organolépticas</u>		
Turbidez (uT)	1	5
Cor (uH)	5	5
Odor	Inobjetável	Inobjetável
Sabor	Inobjetável	Inobjetável
Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (mg/L)	1000	1000
<u>II – Químicas</u>		
Dureza total (mg/L Ca CO ₃)	500	500
Cloretos (mg/L Cl)	250	500
Sulfatos (mg/L)	400	200
Cálcio (mg/L)	-	200
Magnésio (mg/L)	-	200
Nitrato (mg/L)	-	45
Ferro (mg/L)	0,3	0,3
Manganês (mg/L)	0,1	0,1
Cobre (mg/L)	1,0	1,0
Zinco (mg/L)	5,0	5,0
Chumbo (mg/L)	0,05	0,1
Arsênio (mg/L)	0,05	0,02
Bário (mg/L)	1,0	0,3
Selênio (mg/L)	0,01	0,05
Cromo (mg/L)	0,01	0,01
Cádmio (mg/L)	0,005	0,05
Cianeto (mg/L)	0,1	0,01
Fenol (µg/L)	0,1	0,1
VMP – Valores Máximos Permissíveis; OMS – Organização Mundial de Saúde.		

Tabela 4.6 – Classes de Potabilidade segundo Schoeller

Parâmetro (mg/l)	Potabilidade Permanente				Potabilidade Momentânea
	Boa	Passável	Medíocre	Má	
Resíduo Seco	0 - 500	500 – 1000	1000 - 2000	2000 - 4000	4000 – 8000
Na ⁺	0 - 115	115 – 230	230 - 460	460 - 920	920 – 1840
(Mg ⁺⁺ /12 + Ca ⁺⁺ /20)	0 - 5	5 – 10	10 - 20	20 - 40	40 – 50
Cl ⁻	0 – 177,5	177,5 – 355	355 - 710	710 - 1420	1420 – 2840
SO ₄	0 - 144	144 – 288	288 - 576	576 - 1152	1152 – 2304

Tabela 4.7 – Classes de Dureza segundo Custódio & Llamas,1983.

Classe de Dureza	Teor de CaCO ₃ (mg/l)
Branda	< 50
Pouco Dura	50 – 100
Dura	100 – 200
Muito Dura	> 200

Tabela 4.8 – Características Bacteriológicas exigidas para águas potáveis, segundo a Portaria N^o 36, de 01/01/1990, do Ministério da Saúde.

Tipo de Bactéria	Coleta de Amostras d'água			
	Na entrada da rede	Na rede de distribuição	Nos sistemas sem tratamento	Águas não canalizadas, sem tratamento (poços, fontes, nascentes)
Coliformes fecais	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Coliformes totais	Ausentes	Ausentes em 95% das amostras; tolerados até 3 Coliformes em 5% das amostras.	Ausentes em 98% das amostras; tolerados até 3 Coliformes em 2% das amostras	Ausentes em 95% das amostras; tolerados até 10 Coliformes em 5% das amostras.

T2839

Figura 4.4.1- Potabilidade das águas subterrâneas do Aquífero Cristalino - região do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim/RN.

4.3.2 – Aspectos da Qualidade das águas dos aquíferos Cretáceos para Consumo Humano

A Figura 4.4.2 ilustra a distribuição das amostras de água dos aquíferos Cretáceos no diagrama de Schoeller. As amostras d'água provenientes dos poços com captação mista (Tabela 4.3.1 e 4.3.2) revelaram, em sua maioria, teores iônicos abaixo dos limites permissíveis pelo Ministério da Saúde e OMS, exceto os teores médios de nitrato, que ultrapassaram a cifra de 10 mg/L.

Com respeito ao aquífero Jandaíra, as águas são em geral classificadas como “ligeiramente salobras”, em que os seguintes parâmetros apresentaram teores médios acima dos limites permitidos pela OMS e Ministério da Saúde (Tabela 4.5): Cloreto, dureza, Sólidos Totais Dissolvidos.

As águas dos poços do aquífero Açu mostraram-se também “ligeiramente salobras”, estando os teores médios de cloreto, dureza e STD acima dos limites de Potabilidade, embora sejam relativamente menos salinizadas que as águas do aquífero Jandaíra.

Em síntese constata-se que nas águas dos aquíferos Cretáceos geralmente podem ser ultrapassados os limites de cloretos, nitratos, dureza e STD, cujas concentrações no aquífero Jandaíra são maiores. Os dados não indicam, entretanto, que tais condições ocorram de forma generalizada em todo o sistema aquífero, visto que existem locais em que as águas dos poços são satisfatórias para consumo humano. O diagrama de Schoeller (Figura 4.4.2) corrobora com este fato, pois demonstra-se que algumas amostras situam-se numa faixa de potabilidade essencialmente “boa”, e segue uma transição para águas de potabilidade passando por “passável” até “medíocre”.

Figura 4.4.2- Potabilidade das águas subterrâneas dos Aquíferos Cretáceos - região do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim/RN.

4.3.3 – Aspectos da Qualidade das águas do aquífero Barreiras para Consumo Humano

Considerando a classificação de Schoeller (Tabela 4.6), as águas do aquífero Barreiras foram caracterizadas como de Potabilidade predominantemente Boa, em cerca de 87% das amostras (Anexo 2. 3). As classes representadas no respectivo diagrama (Figura 4.4.3) evidenciaram que as amostras d'água do aquífero Barreiras concentram-se numa família de curvas situadas no patamar mais baixo do diagrama.

Os teores dos Cátions, Ânions e outros parâmetros químicos, para efeito de adequabilidade ao consumo humano, podem ser comparados aos limites estabelecidos na Tabela 4.5, que em geral apresentaram as seguintes características:

- Sódio (Na): Todos os valores não indicaram restrições ao consumo humano, pois até mesmo o valor máximo de 175,00 mg/L, está abaixo do limite permitido de 200,00 mg/L. 87% dos teores estão abaixo de 35,00 mg/L;
- Cálcio (Ca): 100% dos teores são menores que 100,00 mg/L, portanto muito aquém do limite permitido (200,00 mg/L);
- Magnésio (Mg): 100% das amostras apresentaram teores abaixo de 70,00 mg/L;
- Potássio (K): O valor máximo foi de 9,50 mg/L;
- Ferro (Fe): O valor máximo tolerado ao consumo humano (0,3 mg/L) foi ultrapassado em 14% das amostras. Cerca de 77% dos teores estão entre 0,00 e 0,10 mg/L;
- Cloreto (Cl): Foi caracterizado em 97% das amostras, teores de cloreto até 83,00 mg/L, com apenas 3% dos dados situados entre 463,35 e 539,41 mg/L, portanto acima do limite permitido para consumo humano;
- Sulfato (SO_4): Cerca de 82% dos dados apresentaram teores abaixo de 4,42 mg/L. No restante os teores variaram até 30,94 mg/L. Logo, todos os valores são menores que 250,00 mg/L (limite máximo permitido);
- Bicarbonato (HCO_3): Todos os dados indicaram teores abaixo de 110,00 mg/L, sendo que 73% dos mesmos estão entre 0,00 e 43,37 mg/L;
- Carbonatos (CO_3): Apresentam concentrações muito baixas nas águas do aquífero Barreiras, conforme indicado por 97% das amostras analisadas, cujos teores variam de 0,00 a 3,31 mg/L. No restante dos dados, os teores não ultrapassam 24,00 mg/L;

Figura 4.4.3- Potabilidade das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras - região do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim/RN.

- Nitrogênio amoniacal (NH_3): Os teores variaram entre 0,00 e 0,46 mg/L, sendo que 97% dos teores estão abaixo de 0,28 mg/L;
- Nitrito (NO_2): Os teores variaram de 0,00 a 0,18 mg/L, sendo que 98% dos dados abaixo de 0,09 mg/L;
- Nitrato (NO_3): Os dados revelaram que 86% dos teores estão abaixo de 10 mg/L, e nenhuma amostra chega a ultrapassar a cifra de 31,00 mg/L, portanto todos abaixo do limite máximo;
- Alcalinidade de bicarbonato: Os teores variaram entre 0,00 e 89,30 mg/L;
- Condutividade Elétrica: Em 97% dos dados os teores variaram de 46,30 a 283,79 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Apenas 3% evidenciaram teores mais elevados, entre 1469,00 e 1707,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O valor médio é de 149,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Sólidos Totais Dissolvidos (STD): Em 94% dos dados os teores oscilaram entre 11,40 e 251,60 mg/L; 3% entre 491,80 e 732,00 mg/L, e 3% entre 972,20 e 1212,40 mg/L. Neste caso as águas do aquífero Barreiras são predominantemente doces, conforme a classificação de Mcneely (1975);
- Dureza: O Anexo 2.3 apresenta as classes de dureza das amostras d'água do aquífero Barreiras, com base na Tabela 4.7. Cerca de 69% dos dados indicaram teores de dureza entre 0,00 e 50,00 mg/L de CaCO_3 , sendo consideradas águas brandas. 18% das amostras evidenciaram águas pouco duras (entre 50 e 100 mg/L, CaCO_3), e 13% distribuídos entre águas duras (100 a 200 mg/L, CaCO_3), e muito duras (> 200 mg/L, CaCO_3).
- pH: Cerca de 98% dos dados revelaram valores de pH entre 4,5 e 8,97, com apenas 2% entre 10,59 e 11,00.

4.4 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA USO NA AGRICULTURA

Os padrões de qualidade das águas para uso na agricultura inclui classes de água para consumo de animais domésticos, e uso na irrigação. Para o consumo animal os limites estabelecidos levam em conta os sólidos totais dissolvidos na água, em mg/L, de acordo com a Tabela 4.9.

A classificação das águas para uso na irrigação considera principalmente o conteúdo de sais solúveis, expresso pela Condutividade elétrica, e o teor de sódio, cuja presença nas águas acima de determinados limites pode resultar na salinização do solo, e afetar o crescimento das plantas.

Tabela 4.9 – Classificação das águas para consumo animal.

Animal	Limite de Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)
Aves	2.880
Porcos	4.220
Cavalos	6.435
Gado (leite)	7.180
Gado (corte)	10.000
Carneiro	12.900

Usualmente adota-se o modelo americano de classificação (United States Salinity Laboratory - U.S.S.L), onde são definidas 04 (quatro) classes segundo os valores de Condutividade Elétrica (C_1 a C_4), e 04 (quatro) classes correspondentes ao risco de sódio (SAR - S_1 a S_4). O SAR é definido como sendo a Razão de Adsorção de Sódio, pela expressão seguinte:

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{(rCa + rMg)/2}}$$

Os Cátions são expressos em Miliequivalentes por litro (meq/L), simbolizado por “r”. As características das classes, em função da concentração de sais, são dadas por:

- C_1 – Água de baixa salinidade. Condutividade elétrica entre 100 e 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25⁰ C (equivalente a 64 – 160 mg/L de sólidos dissolvidos). Podem ser utilizadas na irrigação na maioria das culturas, e em quase todos os solos, salvo aqueles de permeabilidade extremamente baixa.
- C_2 – Água de salinidade média. Condutividade entre 250 e 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25⁰ C (equivalente a 160 – 480 mg/L de sólidos dissolvidos). Podem ser utilizadas se existe uma lixiviação moderada do solo, para culturas que apresentem uma moderada tolerância de sais.

- C₃ – Águas de alta salinidade. Condutividade entre 750 e 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25^o C (equivalente a 480 – 1440 mg/L de sólidos dissolvidos). Podem ser utilizadas somente em solos bem drenados, e para culturas que apresentem boa tolerância salina.
- C₄ – Águas altamente salinas. Condutividade entre 2250 e 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25^o C (equivalente a 1440 – 3200 mg/L de sólidos dissolvidos). Não são apropriadas a irrigação e só podem ser utilizadas em solos muito permeáveis, para culturas que apresentem altíssima tolerância salina.
- As águas que apresentam Condutividade elétrica superior a 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25^o C não podem ser utilizadas para irrigação, qualquer que seja o tipo de solo e cultura.

As características das classes em função do SAR, são:

- S₁ – Águas de baixo teor em sódio. Podem ser utilizadas na maioria dos solos, com escassas possibilidades de acumulação de quantidades nocivas de sódio trocável.
- S₂ – Águas com teor médio em sódio. Apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, e com boa permeabilidade.
- S₃ – Águas com alto teor em sódio. Não são recomendáveis devido às possibilidades de acumular quantidades perigosas de sódio na maioria dos solos. Podem chegar a ser utilizadas onde existe uma boa drenagem e com adição de matéria orgânica. Em solos contendo gipsita o risco é menor.
- S₄ – Águas extremamente Sódicas, geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global for fraca ou pelo menos média. Podem ser aplicadas em solos altamente drenáveis, ricos em carbonatos.

A Figura 4.5 ilustra a distribuição das amostras no gráfico correspondente à classificação americana (U.S.S.L.).

LEGENDA:

- × AMOSTRA DE ÁGUA DOS AQUIFEROS CRETÁCEOS (JANDAÍRA, AÇU)
- AMOSTRA DE ÁGUA DO AQUIFERO BARREIRAS
- AMOSTRA DE ÁGUA DO AQUIFERO CRISTALINO
- * AMOSTRA DE ÁGUA DO AQUIFERO BARREIRAS - CACIMBAS

Figura 4.5- Classes de água para uso na irrigação, segundo as amostras de água dos diferentes sistemas aquíferos.

4.4.1 – Aspectos da qualidade das águas do aquífero Cristalino para uso na Agricultura

As águas do aquífero Cristalino revelaram-se praticamente impréstáveis para irrigação, exigindo condições muito especiais de drenagem (excepcionalmente excelente), e tipos de solos adequados e muitas vezes de difícil ocorrência. As classes variaram de C_3S_2 a C_5S_4 , como apresentadas na Figura 4.5 (U.S.S.L.), e no Anexo 2.3.

Para uso animal as águas do aquífero cristalino revelaram-se impróprias para aves (exceto para a amostra 87), sendo a maior parte permitida para gado de corte (limite de 10.000 mg/L, de Sólidos Totais Dissolvidos), e todas permitidas para dessedentação de carneiros. Existem restrições para uso na dessedentação de porcos, cavalos e gado para produção de leite, devendo-se analisar os valores de Sólidos Totais Dissolvidos encontrados em cada caso.

4.4.2 – Aspectos da qualidade das águas dos aquíferos Cretáceos para uso na Agricultura

De acordo com a Figura 4.5 e o Anexo 2.3, as classes encontradas foram as seguintes:

- Poços com captação mista: C_1S_1 (01 amostra); C_2S_1 (02 poços); C_3S_2 (01 amostra); C_3S_3 (01 amostra); C_4S_4 (01 amostra);
- Poços com captação no aquífero Jandaíra: C_3S_2 (01 amostra); C_4S_3 (01 amostra); C_4S_4 (02 amostras);
- Poços com captação no aquífero Açú: C_3S_2 (01 amostra); C_3S_3 (01 amostra); C_4S_3 (01 amostra); C_4S_4 (01 amostra).

Os dados plotados no Diagrama da Figura 4.5 demonstram a ampla distribuição de classes correspondentes aos aquíferos Cretáceos, desde a classe C_1S_1 até C_4S_4 . No entanto considerando a distribuição de classes acima, e conforme o nível aquífero captado, os aquíferos Jandaíra e Açú quando captados isoladamente do aquífero Barreiras, evidenciaram águas de qualidade menos favorável para irrigação, superior a classe C_3S_2 .

Considerando o uso animal, as águas dos aquíferos Cretáceos apresentaram Sólidos Totais Dissolvidos (STD) com teores permissíveis para todos os animais domésticos, pois não ultrapassaram sequer o limite inferior que é estabelecido para aves (2.880 mg/L).

4.4.3 – Aspectos da qualidade das águas do aquífero Barreiras para uso na Agricultura

Considerando o uso na irrigação, foram encontradas as classes abaixo, que são indicadas na Figura 4.5 (U.S.S.L.), e no Anexo 2.3. Os dados demonstraram os seguintes percentuais:

- C_1S_1 - 33 amostras (75%); C_2S_1 - 05 amostras (11,4%); C_2S_2 - 02 amostras (4,5%); C_3S_3 - 02 amostras (4,5%); C_4S_2 - 01 amostra (2,3%); C_1S_2 - 01 amostra (2,3%).

Os dados revelaram que as águas com melhores características para irrigação (classes C_1S_1 , C_2S_1 , C_2S_2 , C_1S_2) perfazem cerca de 93% das amostras do aquífero Barreiras, indicando a possibilidade de serem usadas na maioria dos casos sem a necessidade de utilização de formas de manejo dos solos, e para a grande maioria das culturas.

Com respeito ao uso animal, as águas do aquífero Barreiras podem ser utilizadas para consumo por todos os animais domésticos. Uma certa precaução deve-se tomar quanto a cacimba - 26, cujo valor dos STD (2.790,80 mg/L) está próximo ao limite permitido para Aves (de 2.880 mg/L).

4.5 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA USO INDUSTRIAL

A qualidade das águas usadas na indústria depende da atividade industrial envolvida, podendo a água servir como matéria prima ou ser usada em processos industriais como resfriamento, lavagem, em caldeiras, produção de vapor, etc.

Embora as águas naturais possam apresentar qualidade insatisfatória para determinado uso industrial, existem técnicas de tratamento que as tornam, na maioria das vezes, adequadas a qualquer uso. No entanto deve-se considerar os custos envolvidos nestes processos, que podem inviabilizar a aplicação das técnicas. Neste caso se faz necessária a caracterização hidroquímica das águas no sentido de se avaliar sua permissibilidade para usos industriais, aproveitando suas condições físico-químicas naturais.

A Tabela 4.10 demonstra os critérios de qualidade das águas exigidos para utilização nas indústrias. O procedimento considerou basicamente em verificar a adequação das águas para uso na indústria, mediante comparação dos resultados das análises físico-químicas com os limites adotados para os diferentes tipos de indústrias. O Anexo 2.4 apresenta os tipos de indústria associados à qualidade das águas das amostras analisadas.

Tabela 4.10 – Critério de Qualidade das águas para uso nas indústrias (modificado de Water Quality Criteria, 1972; In: Mestrinho, 1998).

Parâmetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	-	-	7,5	-	6,5 - 7	-	8	-	-
Dureza	50	180	50-80	30-100	50-75	25	50	50	100
Alcalin.	-	-	80-150	-	-	128	135	-	-
Ca ⁺⁺	-	-	500	20	200	-	-	10	-
Cl ⁻	-	30	-	20	100	250	-	100	75
Fe	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	0,05
Mn	0,5	0,1	0,2	-	0,1	0,2	0,2	0,25	0,05
RS	-	500	850	-	1000	850	-	-	200
NO ₃ ⁻	-	30	15	-	10	-	-	-	-
NH ₃ ⁻	-	traços	0,5	-	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁻	-	60	-	20	-	250	-	100	-
F ⁻	-	-	1,0	-	1,0	30	-	-	-
Mg ⁺⁺	-	-	-	10	30	-	-	-	-

Notas: 1 – Águas usadas para Refrigeração; 2 – Indústria de Laticínios; 3 – Indústria de Conservas alimentícias; 4 – Indústria Açucareira; 5 – Cervejaria; 6 – Indústria de Bebidas e Suco de Frutas; 7 – Curtumes; 8 – Indústria Têxtil; 9 – Indústria de Papel.

Obs. : Valores em mg/L, com exceção do pH (adimensional); Dureza e Alcalinidade em mg/L de CaCO₃.

4.5.1 – Aspectos da qualidade das águas do aquífero Cristalino para Uso Industrial

No aquífero Cristalino da área estudada, os parâmetros físico-químicos das amostras analisadas apresentaram teores que não se enquadram nos critérios de qualidade exigidos para uso nas atividades industriais, de acordo com os limites apresentados na Tabela 4.10.

4.5.2 – Aspectos da qualidade das águas dos aquíferos Cretáceos para Uso Industrial

Considerando o total de 14 amostras analisadas nos aquíferos Cretáceos, 50% apresentou qualidade físico-química compatível com as exigências de uso nas indústrias Têxtil, Papel e Bebidas. A outra parte (50%) não apresentou evidência que pudesse indicá-la para uso industrial (amostras 22, 30, 31, 43, 75, 76 e C₁₅).

A dureza, os Sólidos Totais Dissolvidos, Cloretos, Cálcio e Magnésio são os constituintes com teores que mais frequentemente limitam o uso das águas subterrâneas dos aquíferos Cretáceos para uso na indústria.

Em alguns casos, como na amostra 15, em que o aquífero Cretáceo e o aquífero Barreiras são captados no mesmo poço, a mistura das águas as tornam adequadas para uso em todas as indústrias consideradas (Refrigerantes, Laticínios, Conservas, Cervejaria, Bebidas e Sucos, Curtume, Têxtil, Papel).

4.5.3 – Aspectos da qualidade das águas do aquífero Barreiras para uso industrial

Com respeito ao aquífero Barreiras, cujo total de pontos amostrados foi de 48, cerca de 40% (19 poços) revelaram águas cuja qualidade físico-química permite sua utilização em todas as indústrias consideradas na classificação adotada (Refrigerantes, Laticínios, Conservas, Cervejaria, Bebidas e Sucos, Curtume, Têxtil, Papel). Incluem-se neste caso os poços: 09, 16, 21, 26, 27, 32, 33, 34, 36, 37, 40, 46, 52, 53, 60, 63, 70, 80, 81, e 84.

A situação espacial destes poços, em sua maioria, corresponde aos locais em que o aquífero Barreiras demonstra elevado potencial hidrogeológico (maiores espessuras saturadas e Transmissividades), o que favorece as condições de circulação do fluxo subterrâneo e uma maior renovação das águas do sistema aquífero, tornando-as potáveis.

Em se tratando da outra parcela de dados (60%), uma parte revelou em geral que as águas podem servir para a maioria das indústrias, e apresentar restrições a outras (normalmente para as indústrias de Laticínios, Conservas e Cervejaria), basicamente devido aos teores um pouco elevados de Dureza e Ferro (Poços 10, 17, 20, 49, 56, 82, 83). No entanto em alguns casos as águas do aquífero Barreiras somente são permitidas para poucas indústrias (normalmente para Curtumes, Têxtil e Papel), não sendo adequadas para a maioria, conforme revelaram os resultados das análises dos poços 06, 08, 24, 39, 41 e 55. Apenas o poço 23 (Sítio Boa Ventura) demonstrou águas insatisfatórias para uso industrial.

5 – RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Os recursos hídricos superficiais da área são representados pelos corpos d'água aleatoriamente distribuídos no contexto do baixo e médio curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim, cuja foz situa-se a aproximadamente 10 Km a norte de Natal. A bacia como um todo consiste num sistema com formato geral alongado na direção leste-oeste, e nascentes situadas na região Centro-leste do Estado (no município de Lajes), a mais de 100 Km a oeste da cidade de Ceará Mirim (Figura 1.1, Página 03).

A bacia possui comprimento médio aproximado de 120 Km, desde o limite oeste até a costa. As larguras variam de 50 Km no setor ocidental, até cerca de 6 Km no setor oriental. A área total da bacia é estimada em 2.635 Km², sendo a área estudada (com 610 Km²) correspondente a 23% da superfície total. O escoamento médio anual do Rio Ceará Mirim é estimado em 27×10^6 m³/ano (SERHID, 1998).

No âmbito da área estudada os recursos hídricos superficiais são enquadrados em duas (02) categorias:

- Águas superficiais de origem subterrânea;
- Águas superficiais armazenadas em reservatórios artificiais.

O regime natural do Rio Ceará Mirim e seus afluentes, na maior parte da bacia (alto e médio cursos) é considerado intermitente ou temporário, em especial desde as nascentes a oeste até imediações da cidade de Taipu, onde predominam rochas cristalinas Pré-cambrianas. No baixo curso predominam os sedimentos do aquífero Barreiras, cujas ressurgências de águas subterrâneas garantem a regularização e o fluxo de base neste trecho do vale, correspondendo às vazões restituídas no período de recessão.

Desta forma é que se originam as fontes e olhos d'água distribuídos na base das escarpas dos tabuleiros, ou na própria planície aluvial. As águas escoam em superfície por canais naturais até as áreas do estuário na porção leste, onde se comunicam com as águas do mar e formam os manguezais. Parte das águas, antes de alcançarem o estuário, são desviadas por canais artificiais para áreas de plantio de cana de açúcar e outras culturas, alterando o escoamento e a drenagem superficial do vale.

As lagoas formam corpos d'água superficiais que ocorrem em vários setores da área considerada. Contudo as águas são usadas para fins menos nobres pelas comunidades rurais, tendo em vista a sua baixa potencialidade e potabilidade, e a alta Vulnerabilidade à

poluição/contaminação. Em alguns trechos as lagoas constituem afloramentos do lençol freático, e são influenciadas pelas oscilações climáticas sazonais da superfície das águas subterrâneas. Como exemplo temos as lagoas do Cajueiro, Mineiro, Jenipapo, Gravatá, etc.

As lagoas situadas nas áreas mais baixas do Vale do Ceará Mirim normalmente permanecem perenes por mais tempo, constituindo-se em exutórios naturais por efluência das águas subterrâneas do aquífero Barreiras sob a forma de nascentes, como ocorre nas lagoas do Manguari, Lagoa Grande, etc.

Os reservatórios artificiais de águas de superfície, na Bacia do Rio Ceará Mirim, compreendem as seguintes obras:

- **18 açudes públicos**, cujas capacidades individuais de armazenamento são superiores a 01 (um) milhão de metros cúbicos, totalizando um volume acumulável de $139,72 \times 10^6 \text{ m}^3$. A **Barragem de Poço Branco**, que está inserida na área estudada, armazena a maior parte deste volume, sendo sua capacidade de acumulação estimada em $136 \times 10^6 \text{ m}^3$;
- **130 açudes particulares**, que podem acumular cerca de $25,32 \times 10^6 \text{ m}^3$.

5.1 – BARRAGEM DE POÇO BRANCO

O Açude Público Engenheiro José Batista do Rego Pereira, conhecido como a Barragem de Poço Branco, representa o principal reservatório de águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim, estando situado a cerca de 300,00 metros a sul da cidade de Poço Branco (Figura 5.1). Sua construção foi concluída em 1970, e a barragem intercepta um trecho do vale seco do Rio Ceará Mirim composto por rochas cristalinas Pré-cambrianas, controlando uma área de 2.040,00 Km² a montante. O espelho d'água abrange uma bacia hidráulica de 1.300 ha, perfazendo uma capacidade de acumulação estimada em $136 \times 10^6 \text{ m}^3$. As características construtivas das obras são apresentadas na Tabela 5.1.

Dentre os objetivos a que se destinaram a construção da obra na época, podem ser destacados os seguintes:

- Abastecimento d'água da sede municipal e arredores;
- Aproveitamento com culturas de vazante;
- Atividade pesqueira, com produção média anual de 116.100 Kg;
- Controle das cheias periódicas que inundavam mais de 8.000 ha do vale úmido do Rio Ceará Mirim, a jusante.

Tabela 5.1 – Barragem de Poço Branco – Características construtivas de acordo com dados do DNOCS, 1969.

BARRAGEM	
Tipo: Maciço de terra zoneada; Altura máxima: 45,00 metros; Extensão pelo coroamento: 640,00 metros (maciço principal + maciço auxiliar); Largura do Coroamento: 9,00 metros; Cota do Coroamento: 81,00 metros; Volume total de terra: 1.950.000,00 m ³ ; Talude de montante: 3,5:1 ; Talude de jusante: 2,5:1 .	
SANGRADOURO	
Tipo: Perfil CREAGER (soleira espessa); Largura: 177,00 metros; Revanche: 4,00 metros; Altura da lâmina máxima: 2,00 metros; Cota da soleira: 77,00 metros.	
TOMADA D'ÁGUA	
Tipo: Galeria com torre de comando, e comportas "STOP-LOG" (duas); Diâmetro: 1,55 metros.	

5.2 – SITUAÇÃO E USO ATUAL DAS ÁGUAS DA BARRAGEM DE POÇO BRANCO

Considerando os objetivos da construção da barragem, tem-se verificado que o uso das águas para consumo humano não vem se verificando na atualidade, o que ocorreu até o ano de 1982, época em que as águas eram utilizadas para abastecimento público sob a coordenação da CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte), que controlava a distribuição.

A inutilização das águas para consumo humano decorreu da perda de sua potabilidade pelo processo de salinização progressiva, provavelmente condicionada pelo clima

(evaporação e precipitação de sais), retirada da cobertura vegetal nativa das áreas adjacentes à barragem, e também por aspectos construtivos, que impossibilitaram uma maior renovação.

As águas atualmente são utilizadas para consumo por animais domésticos (gado, aves, etc.), e também tem propiciado a atividade pesqueira, embora com pouco incentivo aos trabalhadores no que diz respeito a melhoria da produção e revenda do pescado.

A produção de culturas de subsistência (feijão, batata, milho, etc.) nas áreas de vazante e a jusante da barragem não tem expressiva conotação econômica, servindo em geral para atendimento de pequenos agricultores. É comum também a plantação de capim nas áreas de vazante, com vistas a obtenção de alimentação complementar para o gado.

A barragem tem evitado os prejuízos decorrentes das enchentes que periodicamente ocasionavam, há décadas, a devastação das plantações de cana de açúcar e outras culturas menores nos trechos do vale, a jusante. Em condições normais de funcionamento as águas eram liberadas através da abertura das comportas somente duas a três vezes no período de estiagem (Outubro a Janeiro), e por um intervalo de tempo entre 48 a 72 horas cada vez. Neste caso era liberado um volume de aproximadamente 1.000 L/s, que provocava um rebaixamento da lâmina d'água da ordem de 20 a 30 centímetros.

No entanto informações locais atestam que desde 1990 as comportas vêm apresentando problemas de vedação, e ainda não foram adotadas soluções para conserto, o que vem ocasionando a liberação e perda ininterrupta de água além do que foi projetado, sem qualquer controle operacional.

5.3 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

As características físico-químicas das águas superficiais foram determinadas através de análises executadas em quatro (04) pontos d'água: Barragem de Poço Branco, Lagoa do Jenipapo, Lagoa do Manguari e Rio Ceará Mirim (Tabelas 5.2.1 e 5.2.2).

Os Sólidos Totais Dissolvidos indicaram águas salobras, exceto na Barragem de Poço Branco onde foram classificadas como doces. Deve-se considerar que a amostragem na barragem foi feita no final do período chuvoso.

Os tipos iônicos são: Cloretadas Sódicas (Barragem de Poço Branco e Lagoa do Jenipapo), e Cloretadas-Sódico-Magnesianas (Lagoa do Manguari e Rio Ceará Mirim).

As águas não demonstraram potabilidade, que variou de Medíocre a Momentânea, e o teor de Nitrato no Rio Ceará Mirim mostrou-se acima do limite de 10 mg/L estabelecido pela OMS.

6 – FONTES DE POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS

As fontes de poluição/contaminação das águas subterrâneas e superficiais são indicadas neste trabalho com base no conhecimento geral acerca das atividades antrópicas desenvolvidas na área, que são capazes de gerar cargas potencialmente poluidoras dos recursos hídricos e dos ecossistemas aquáticos e terrestres, embora ainda não tenha sido possível a sua quantificação.

Os tipos de uso e ocupação do meio físico, a intensidade de geração e disposição de cargas poluidoras, e as características geológicas e hidrogeológicas de determinada área, possibilitam avaliar os riscos de poluição/contaminação das águas subterrâneas e dos corpos de água superficiais.

De uma maneira geral as atividades antrópicas que oferecem maiores riscos de poluição/contaminação correspondem às atividades urbanas, industriais, agrícolas e extrativa mineral. Dentre as atividades industriais destacam-se as de couro, química, metalúrgica e usinas de fabricação de álcool, aguardente e açúcar, na medida em que podem gerar os contaminantes mais agressivos sobre o meio ambiente geral, e sobre os recursos hídricos em particular, em especial pela disposição e manipulação inadequados de produtos tóxicos.

As principais formas de poluição/contaminação são os vazamentos de tanques/tubos, derramamentos acidentais, lançamento de efluentes e resíduos sólidos na superfície e nos corpos d'água, lagoas de efluentes, lixiviados de resíduos sólidos, drenos de pátios e material em suspensão.

A disposição de resíduos sólidos urbanos, bem como o lixiviado de lixões e aterros sanitários, são fontes potenciais em áreas urbanas, além da carga poluente gerada pelo saneamento "IN SITU". Nestas áreas também é preocupante os vazamentos de combustíveis dos postos de abastecimento, e os contaminantes provenientes de instalações inadequadas de cemitérios e lagoas de oxidação.

As atividades agrícolas originam fontes de poluição/contaminação das águas pelo uso de fertilizantes, pesticidas (inseticidas, fungicidas, herbicidas), e formação de nitratos. Além do mais existem as fontes poluidoras decorrentes da criação de animais domésticos.

As atividades de mineração de substâncias metálicas, não metálicas, petróleo e gás natural geram resíduos sólidos, líquidos e gasosos, ligados a substâncias móveis e tóxicas.

6.1 – AVALIAÇÕES SOBRE AS FONTES DE POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO NA ÁREA

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 6.1) ilustra vários aspectos relacionados à ocupação e utilização antrópica dos recursos ambientais da área, possibilitando evidenciar os prováveis e mais importantes impactos que podem originar as fontes potenciais de poluição/contaminação do meio físico-ambiental, em geral, e das águas em particular.

O mapa foi elaborado de forma esquemática, com base em informações obtidas na Subcoordenadoria de Gerenciamento Costeiro (SUGERCO), do Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte - IDEMA/ SEPLAN. Como ferramenta básica foi utilizado o mapa temático já existente sobre o uso e ocupação do solo do litoral oriental do Rio Grande do Norte, além de imagens de satélite LANDSAT e SPOT, e também informações obtidas em levantamentos complementares de campo. O mapa representa principalmente o trecho entre a linha de costa e a cidade de Taipu, porém a maioria das informações são válidas para o setor mais a oeste. O conteúdo temático faz referências a três (03) legendas básicas, que são as áreas construídas, as atividades produtivas e a cobertura vegetal.

As áreas construídas, referentes a trechos onde existem concentrações de moradias (cidades, povoados, vilas, loteamentos, chácaras, etc.), denotam uma distribuição pontual, embora os esgotos domésticos gerados constituam-se em fontes e riscos potenciais de poluição/contaminação das águas decorrentes da falta de coleta e tratamento, e também pela sua disposição inadequada em subsuperfície, na maior parte dos aglomerados urbanos da área.

As atividades industriais também apresentam uma distribuição pontual, sendo a geração de cargas poluidoras associada diretamente a utilização da cana de açúcar para produção de açúcar, álcool e aguardente, em usinas e engenhos instalados no vale (agroindústria canavieira).

Os trechos com cobertura vegetal natural são muito insignificantes, se restringindo a algumas concentrações na porção mais oriental, e porções isoladas em outras partes da área.

As atividades produtivas agrícolas se sobressaem em termos espaciais, destacando-se as áreas de cultivo de cana de açúcar, e de forma secundária as de uso misto (cana de açúcar, cultura permanente e cultura temporária).

Sendo a cultura de cana de açúcar a mais extensa na área, os trechos por ela cultivados recebem maior carga de fertilizantes e pesticidas, além de serem irrigados com o vinhoto (efluente resultante da produção do álcool).

**Figura 6.1 - Mapa Esquemático de
Uso e Ocupação do Solo
Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim, RN**

A seguir são apresentados mais alguns aspectos acerca das principais fontes de poluição/contaminação associadas às áreas urbanas, às áreas agrícolas e às atividades industriais, conforme referências feitas no Mapa da Figura 6.1.

6.1.1 – Fontes de Poluição/Contaminação - Áreas Urbanas e Aglomerados Urbanos

No trecho estudado da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim estão inseridas três sedes municipais às margens do vale principal, compreendendo as cidades de Ceará Mirim, Taipu e Poço Branco. Além das áreas urbanas citadas, existem vários aglomerados urbanos distribuídos em diversas comunidades ribeirinhas como Lagoa Grande, Raposa, Trevo do Vale, Vila de Fátima, Quiri, Rio dos Índios, São Leopoldo, Matas, etc.

Entre as fontes potenciais de poluição/contaminação nos setores urbanos, os esgotos sanitários são as que se distribuem de forma mais difusa, tendo as outras fontes um caráter mais pontual (lixões, cemitérios, postos de combustível, matadouros, indústrias).

Nas áreas urbanas das sedes municipais (Ceará Mirim, Taipu e Poço Branco), a exceção dos matadouros (que têm conotação industrial), praticamente não existem indústrias, na medida em que o comércio é a atividade econômica de maior destaque. As atividades industriais são desenvolvidas em estreita relação com as áreas agrícolas, pois a cana de açúcar cultivada abastece diretamente a indústria de açúcar e álcool nas usinas e engenhos. Temos então nas áreas urbanas as seguintes fontes de poluentes mais importantes:

- Esgotos Sanitários:

Das cargas poluidoras geradas pelos sistemas urbanos, as oriundas da falta de esgotamento sanitário tem se revelado como as de maior risco à degradação da qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos da área. Os esgotos domésticos (ou sanitários) são originados predominantemente das habitações, mediante a utilização de instalações sanitárias, lavagem de utensílios domésticos, pias, banheiros, roupas, etc.

Um fator agravante na área tem sido a pouca extensão ou mesmo falta de rede coletora de esgotos. As informações no município de Ceará Mirim indicaram que 40% da cidade vem sendo beneficiada por ligações de esgotos, que são coletados e enviados a uma estação de tratamento composta por 02 (duas) lagoas de estabilização anaeróbica. As lagoas funcionam em paralelo (quando uma esvazia, a outra enche), e após tratamento os efluentes são lançados no Rio Ceará Mirim. Estão em andamento as obras complementares do esgotamento

sanitário da cidade (correspondente aos 60% restantes), que estão sendo conduzidas pelo SAAE (Serviço Autônomo de Águas e Esgotos)/Ceará Mirim-RN, e cuja conclusão está prevista até o final do ano 2000.

Nas comunidades rurais, bem como nos municípios de Taipu e Poço Branco, não existe rede de coleta e tratamento de esgotos, sendo utilizado o saneamento "in situ" através de sistemas residenciais individuais de fossas sépticas e fossas negras. Neste caso os riscos de poluição são ainda maiores devido a localização de muitas comunidades em encostas suaves, no sopé dos tabuleiros, ou mesmo na área do vale, onde o nível das águas subterrâneas encontra-se em geral a menos de 5,00 metros de profundidade.

No município de Taipu existem projetos elaborados pela CAERN para implantação do sistema de esgotamento sanitário da área urbana. Porém a falta de recursos e/ou prioridade dos seguimentos municipal e estadual, não permitiram até então a concretização das obras. No município de Poço Branco não se dispõe, sequer, de projetos preliminares.

Como os esgotos são lançados no subsolo, e sem tratamento, existem grandes riscos de percolação de poluentes/contaminantes em direção ao aquífero freático, ou mesmo carreamento em direção ao vale principal de parte da carga poluidora, devido ao escoamento superficial e subsuperficial de águas pluviais, por conta de encharcamento dos solos. Neste caso contaminantes inorgânicos (Cloretos, Sulfatos, nitratos), orgânicos (sabões e gorduras) e biológicos (bactérias, vírus) podem alcançar as águas subterrâneas e/ou os corpos d'água superficiais, acarretando riscos consideráveis à saúde humana, e ao equilíbrio dos ecossistemas terrestres e aquáticos.

A poluição/contaminação biológica das águas por microrganismos patogênicos (vírus, bactérias, vermes, etc.) oferece riscos de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Os microrganismos patogênicos são introduzidos na água por matéria fecal de esgotos sanitários, cujos indicadores mais freqüentes são as bactérias do grupo Coliformes. Estando as águas poluídas por material fecal, existem riscos de que as mesmas possam conter e transmitir microrganismos geradores de doenças.

A indicação da presença de microorganismos geradores de doenças foi estabelecida a partir de dados e resultados preexistentes. A Coordenadoria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte (CMA), do IDEMA, em projetos de monitoramento da região costeira estadual no ano de 1995, procedeu amostragens de águas superficiais no curso inferior do Rio Ceará Mirim, no trecho de Genipabu, tendo detectado índices de Coliformes fecais entre 33 e 112 colônias/100 ml água. Mesmos os dados não sendo representativos de toda a área estudada,

permitem evidenciar que os recursos hídricos são vulneráveis à poluição por material fecal, indicada pela presença de bactérias do grupo Coliformes.

Com efeito foram encontradas evidências acerca da manifestação de doenças de veiculação hídrica contraídas pela população, decorrentes da ingestão de águas contaminadas biologicamente, conforme é apresentado na Tabela 6.1.

Os dados revelaram que ao longo dos anos sempre existe ocorrência de doenças contraídas pela população. Considerando as principais doenças registradas (cólera, hepatite, febre tifóide e esquistossomose), a hepatite parece se manifestar com maior frequência nos sucessivos anos, seguida da febre tifóide e cólera. A esquistossomose apresentou um número relativamente elevado, de 640 casos no ano de 1997. Os anos que não apresentaram informações, provavelmente se deve a falta de coleta de dados pela instituição responsável, sendo mais evidente admitir que os casos de doenças de veiculação hídrica não foram registrados naqueles períodos.

As incidências de esquistossomose ocorreram em especial no município de Ceará Mirim, provavelmente devido ao maior número de habitações e falta de coleta e tratamento dos esgotos, possibilitando a geração de uma maior carga contaminante de origem fecal, que alcançou tanto o sistema aquífero mais raso, como os sistemas superficiais de água.

- Lixões:

A disposição de resíduos sólidos no solo, às margens de cursos d'água ou diretamente nos mananciais, poderá provocar alterações na qualidade das águas com respeito ao seu aspecto físico, químico ou biológico. Se a disposição se faz em aterros sanitários, o lixo depositado sofre decomposição formando o chorume, cuja DBO pode superar entre 30 e 100 vezes a do esgoto sanitário (Mota, 1995). Lixos industriais resultam na produção de líquidos com elevados teores de elementos ou compostos químicos, dependendo da origem.

Na área estudada os lixões estão implantados de forma aleatória e indiscriminada na superfície do solo, em geral sobre terrenos baldios situados nas vizinhanças das cidades e aglomerados urbanos, servindo assim de fonte e proliferação de insetos e roedores, e consequentemente de transmissão de doenças.

Tabela 6.1 – Número de ocorrências anuais de Doenças de Veiculação Hídrica. Área do baixo a médio curso do Rio Ceará Mirim/RN.

Doença	ANO – Município de Ceará Mirim										
	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Cólera	-	-	-	-	-	03	34	81	-	-	-
Hepatite	-	26	27	-	-	-	42	45	19	17	-
Febre Tifóide	01	-	01	05	01	-	-	-	-	-	-
Esquis-tosso-mose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	640
Doença	ANO – Município de Taipu										
	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Cólera	-	-	-	-	-	-	08	05	-	02	-
Hepatite	-	05	06	-	-	-	06	04	02	-	-
Febre Tifóide	-	-	-	-	01	-	-	-	-	-	-
Esquis-tosso-mose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Doença	ANO – Município de Poço Branco										
	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Cólera	-	-	--	-	-	-	-	15	-	01	-
Hepatite	02	02	-	-	-	-	04	07	-	-	-
Febre Tifóide	-	01	01	-	-	-	-	-	-	-	-
Esquis-tosso-mose	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Secretaria de Saúde Pública do Estado do Rio Grande do Norte; Fundação Nacional de Saúde.

Não se dispõe de aterros sanitários nem estações de tratamento de lixo, e os resíduos sólidos acumulados podem resultar em compostos de carga orgânica, metais pesados e aumento do teor de sais, com grandes riscos de alcançarem os mananciais subterrâneos e superficiais.

Na produção do álcool a partir da cana de açúcar, o principal efluente potencialmente poluidor liberado do processo é o vinhoto, o qual representa uma importante fonte de poluição/contaminação difusa na área, pois pode ser usado na irrigação e como fertilizante da própria cana de açúcar.

Os resíduos produzidos em áreas de comunidades rurais dispostos nas encostas e/ou terraços do vale fluvial, podem conter poluentes que são susceptíveis de serem carregados para os corpos d'água superficiais (lagoas, canais naturais ou artificiais perenes no vale), ou se infiltrar no aquífero freático situado a pequenas profundidades (< 5,00 metros).

- Cemitérios:

Os poluentes/contaminantes provenientes de cemitérios são principalmente de natureza biológica, originados por decomposição dos corpos. Pacheco et al. 1992 (In: Cavalcante, 1998) destaca algumas doenças transmissíveis por águas contaminadas com microrganismos em áreas de cemitérios, que são: tétano, gangrena gasosa, tuberculose, febre tifóide, disenteria bacilar, hepatite A, entre outras.

Os cemitérios na área estudada em geral situam-se dentro dos setores urbanos. Na cidade de Ceará Mirim (com dois cemitérios públicos) os riscos de contaminação dos mananciais são menores, pelo fato de estarem situados em trechos onde a profundidade do nível freático está a mais de 15,00 metros, e também pela sua distância em relação às áreas encharcadas situadas no vale úmido (500 a 1.000 metros).

Nos trechos dos municípios de Taipu e Poço Branco (com um cemitério público cada), podem haver riscos maiores, por estarem construídos sobre terrenos cristalinos praticamente impermeáveis, e com pequena cobertura de solo, não propiciando uma maior absorção da carga contaminante passível de infiltração, e com isso aumentando as chances de poluição/contaminação dos mananciais de água do Rio Ceará Mirim.

- Postos de Combustíveis

O vazamento de produtos em tanques de armazenamento de combustíveis, nos postos de abastecimento, e a conseqüente contaminação dos mananciais hídricos, vêm sendo

amplamente investigados na atualidade, pois os derivados do petróleo possuem compostos químicos de grande toxicidade que podem alcançar os mananciais e alterar a sua qualidade natural, tornando as águas impróprias para consumo e outros usos. Os principais contaminantes oriundos dos combustíveis são os compostos orgânicos e orgânicos sintéticos.

De acordo com informações obtidas em do escritório da PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A (Julho/1999), com sede em Natal, o volume de combustível que pode ser estocado em tanques de armazenamento dos postos existentes no âmbito da área, é da ordem de 270.000 litros, incluindo gasolina (75.000 litros), óleo diesel tipo B (105.000 litros) e álcool (90.000 litros).

Pelos números indicados, a carga potencialmente poluidora relacionada aos produtos químicos de combustíveis na área total estudada não é muito significativa, em função do pequeno número e capacidade de armazenamento dos postos de abastecimento. No entanto a falta de manutenção e/ou cuidados na vida útil dos tanques de armazenamento, bem como a instalação inadequada de novos postos, poderão originar problemas de vazamento e poluição/contaminação dos recursos hídricos locais. As instalações de novos postos deverão ser precedidas de análise das áreas de maior risco e/ou vulnerabilidade à poluição dos recursos hídricos.

- Matadouros:

Os matadouros ou abatedouros situados nos centros urbanos de Ceará Mirim, Taipu e Poço Branco, oferecem riscos de poluição dos recursos hídricos, na medida em que os resíduos resultantes podem apresentar as seguintes características:

- elevado teor de sólidos em suspensão;
- nitrogênio orgânico;
- DBO de 800 a 32.000 mg/L;
- mau cheiro (devido a decomposição);
- presença de sangue, gorduras, fragmentos de ossos;
- aspecto avermelhado;
- microrganismos patogênicos (se forem abatidos animais doentes).

As águas poluídas resultantes do uso no abate dos animais e lavagem das instalações, em geral são canalizadas e lançadas diretamente no rio, em especial nos municípios de Taipu e Poço Branco.

Apenas na cidade de Ceará Mirim as águas residuais do matadouro público são submetidas a um pré-tratamento, normalmente pela passagem através de filtros. Em seguida, dependendo da DBO, as águas passam por um processo de cloração, sendo por conseguinte lançadas na rede municipal de coleta de esgotos do SAAE, para depois serem submetidas a um tratamento final.

6.1.2 – Áreas Agrícolas

As principais fontes de poluição/contaminação associadas às atividades agropastoris são os pesticidas, os fertilizantes e os excrementos de animais.

Em áreas agrícolas os pesticidas podem alcançar e poluir as águas de maneiras variadas, quando: transportados pelo ar; aplicados por equipamentos aéreos; carregados pelas águas de chuva; após aplicação na agricultura; por infiltração em áreas onde foram aplicados; ou quando colocados diretamente sobre corpos d'água. Os maiores problemas são provenientes dos compostos organo-clorados (atualmente proibida a sua utilização), devido a sua maior persistência no solo, de até vários anos. Os compostos orgânicos fosforados, por sua vez, são menos persistentes no solo, permanecendo por algumas semanas ou meses.

A aplicação descontrolada de fertilizantes em áreas agrícolas, com vistas a incrementar nutrientes ao solo para melhorar o desenvolvimento e a produtividade das culturas, pode resultar no carregamento desses nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) para os mananciais hídricos, mediante escoamento superficial e/ou infiltração no subsolo.

Os dejetos animais oferecem riscos potenciais de poluição/contaminação das águas, também pela possibilidade de apresentarem microrganismos patogênicos que podem transmitir doenças, podendo aumentar a Demanda Bioquímica de Oxigênio da água.

Entre as atividades agrícolas desenvolvidas na área destaca-se o cultivo de cana de açúcar, que abrange grandes trechos do vale do Ceará Mirim e dos tabuleiros, pelo fato de ser a matéria prima utilizada na indústria de açúcar, álcool e aguardente.

Grandes trechos do vale do Rio Ceará Mirim (terraços fluviais), das respectivas encostas suaves e patamares dos tabuleiros adjacentes, principalmente entre a comunidade de Estivas e a cidade de Taipu (Figura 6.1), são usados para plantações de cana de açúcar, sendo estimada uma área cultivada em torno de 6.000 ha. Nessa área as atividades geradoras de cargas

potencialmente poluidoras são a adubação (uso de fertilizantes), irrigação (com vinhoto) e erradicação de pragas (uso de pesticidas/inseticidas, fungicidas e herbicidas). As informações disponíveis têm constatado como principal fertilizante o vinhoto (ou vinhaça), que é um subproduto da destilaria do álcool, usado através da irrigação.

Com relação aos pesticidas, alguns dos produtos usados incluem os herbicidas PROVENCE 240 e o GRAMOXONE. O composto PROVENCE é classificado como medianamente tóxico, e o GRAMOXONE como sendo altamente tóxico, de acordo com os padrões adotados pelo Ministério da Agricultura.

Os poluentes/contaminantes associados são os nitratos lixiviados, nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio), compostos orgânicos sintéticos, e sais. Embora ocorra em pequena escala, e de forma dispersa, a criação de animais também deve gerar carga poluidora formada por nitratos e microrganismos patogênicos fecais.

6.1.3 – Atividades Industriais

Os resíduos sólidos e efluentes industriais, além de gases e vapores lançados na atmosfera, constituem substâncias potencialmente poluidoras dos mananciais hídricos superficiais e subterrâneos, cuja intensidade agressora ao meio depende das suas formas de uso, manipulação, disposição e tratamento aplicados em determinada área.

A composição dos efluentes depende do tipo de processamento industrial utilizado, podendo apresentar as seguintes características: Demanda Bioquímica de Oxigênio elevada; compostos químicos tóxicos; temperatura elevada; cor, turbidez e odor; nutrientes; sólidos dissolvidos; ácidos e álcali; óleos e graxas; microrganismos patogênicos, etc.

No Brasil as indústrias mais poluidoras dos recursos hídricos são: fábricas de papel e celulose; indústria química; indústria de açúcar e álcool; aço e metais; têxtil; alimentícias (bebidas e laticínios); curtumes; matadouros; petroquímica (Mota, 1995).

A indústria de açúcar, álcool e secundariamente de aguardente, é a de maior destaque na região estudada, estando associada diretamente a agricultura de cana de açúcar, que é a matéria prima principal, apesar de outras substâncias químicas serem adicionadas para formar os produtos finais.

As sedes industriais localizam-se no setor norte/nordeste da cidade de Ceará Mirim (Figura 6.1, Página 122)), compreendendo a Usina São Francisco (álcool e açúcar), o Engenho São Leopoldo (aguardente), e o Engenho Mucuripe (aguardente). No trecho entre Taipu e Pureza (município situado a 17 Km a norte da bacia estudada), está sendo construída uma outra

usina para produção de álcool, que utilizará uma área de plantio de cana de açúcar da ordem de 1.000 ha.

A seguir são apresentadas algumas informações sobre a usina São Francisco, tendo em vista ser a de maior porte, e por dispor de maior número de informações.

- Usina São Francisco:

A Usina São Francisco, ou, Companhia Açucareira Vale do Ceará Mirim, utiliza na lavoura de cana de açúcar uma área em torno de 5.500,00 ha (55 Km²), de acordo com dados obtidos do cadastro de atividades industriais da CMA/IDEMA, referente ao período entre 1984 e 1990, e também informações recentes obtidas diretamente da gerência da empresa. A quantidade média de cana de açúcar utilizada varia da ordem de 450.000 toneladas/ano, até cerca de 2.000.000 toneladas/ano.

Além da cana de açúcar como matéria prima, uma série de outras substâncias químicas são incluídas no processo, destacando-se o enxofre, cal, ácido fosfórico, Superfosfato triplo, sulfato de amônia, sulfato de zinco, e em menor escala a soda cáustica, floclantes, bactericidas, ácido sulfúrico, ortofosfatos, etc. Os valores médios anuais dos produtos variaram segundo os seguintes intervalos:

- Enxofre: 107,35 a 263,00 toneladas/ano;
- Cal: 343,47 a 1.194,65 toneladas/ano;
- Ácido Fosfórico: 17,00 a 62,42 toneladas/ano;
- Superfosfato triplo: 13,5 a 14,00 toneladas/ano;
- Sulfato de Amônia: 14,00 a 17,00 toneladas/ano;
- Outros produtos: 33,00 a 221,50 toneladas/ano.

Em média a indústria funciona intensamente durante 06 (seis) meses ao ano, e os produtos fabricados apresentaram totais variando nos seguintes intervalos:

- Açúcar: 540.000 a 2.300.000 sacos de 50 Kg/ano;
- Álcool (anidro e hidratado): 3.500 a 120.450 m³/ano;
- Vinhaça: 686.200 a 1.806.000 m³/ano;

- Melão: 40.000 a 43.800 toneladas/ano;
- Torta: 36.500 a 43.800 toneladas/ano.

Os dados mais recentes revelaram uma produção bem inferior, entre 250.000 e 300.000 sacos/ano de açúcar, e entre 8.000 e 10.000 m³/ano de álcool.

O abastecimento de água na indústria local se faz com a captação de águas superficiais (Rio Ceará Mirim e afluentes; Fonte de Santa Teresa), sendo o consumo médio da ordem de 270 m³/h (6.480 m³/dia, ou, 2.365.200 m³/ano), considerando um período de produção de 06 (seis) meses.

Os resíduos sólidos provenientes das atividades industriais relacionadas à cana de açúcar são:

- Bagaço de cana: 122.000 toneladas/ano;
- Torta de filtro: 8.300 toneladas/ano.

O bagaço de cana é utilizado para queima nas caldeiras e ração animal, e a torta é usada na adubação.

Os dados apresentados denotam a magnitude da carga potencialmente poluidora gerada anualmente, resultante do processamento industrial para fabricação do açúcar, álcool e aguardente no vale do Ceará Mirim.

A vinhaça se constitui numa das principais fontes de poluentes dos recursos hídricos, tanto em termos quantitativos como qualitativos, sendo caracterizada como um resíduo concentrado de substâncias químicas usadas no processo industrial. De fato a produção anual de vinhaça, como especificada em parágrafos anteriores, é significativamente maior que o volume anual de álcool.

Os estudos desenvolvidos pelo I.A.A./PLANALSUCAR (1988) avaliaram a utilização da vinhaça como fertilizante na região da Usina São Francisco em Ceará Mirim/RN, e indicaram a matéria orgânica como o componente de maior concentração na sua composição, e potássio como o nutriente mineral predominante, seguido do ferro. Nos mesmos estudos foram também constatados que a vinhaça se constitui num dos poluentes mais perigosos aos recursos d'água, em função dos seguintes aspectos:

- Apresenta alta taxa redutora, exigindo uma alta taxa de oxigênio para se oxidar;

- Resiste a qualquer tipo de tratamento dos usualmente empregados para outros resíduos industriais, devido às suas características químicas;
- É um dos mais volumosos efluentes produzidos, sendo, em média, igual a 14 vezes a produção de álcool e 07 vezes a de aguardente;
- Dos resíduos poluidores, é um dos mais ácidos e corrosivos;
- Possui alta nocividade aos grandes animais aquáticos como: peixes, sapos e crustáceos, dizimando-os por asfixia, devido a alta D.B.O., que é em torno de 12.000 a 20.000 ppm;
- Afugenta a fauna marítima que procura as costas para o fenômeno fisiológico da desova, ameaçando a preservação de algumas espécies;
- Dizima os seres da microflora e microfauna, que formam o plâncton dos rios;
- Provoca à água poluída cheiro nauscoso, devido à formação de gases pútridos ocasionados pela decomposição anaeróbica ou putrefação da matéria orgânica coloidal, cor anormal, gosto desagradável, turbidez elevada e alta taxa de resíduo;
- Propicia o aparecimento de endemias, como amebiose e esquistossomose, devido a poluição das águas, além de aumentar extraordinariamente a população de pernilongos e insetos. Este fato inclusive foi confirmado pela população local, que afirma haver uma invasão de insetos na cidade de Ceará Mirim em certas épocas do ano

Quando da paralisação do processo de produção, a indústria promove uma lavagem dos equipamentos (decantador, tanques de colagem, etc.). As águas residuais provenientes da lavagem contém grande quantidade de matéria orgânica, e se forem lançadas “in natura” na superfície do solo e nas águas superficiais do Rio Ceará Mirim, podem ocasionar a sua poluição/contaminação devido à biodegradação da matéria orgânica por atividade bacteriana, aumentando a D.B.O. As águas poluídas, além da elevada D.B.O, também podem conter outras substâncias tóxicas, gerando grandes impactos negativos à fauna aquática, em especial sobre os peixes e crustáceos nos manguezais da porção oriental da área. Existem evidências de já ter ocorrido, em anos anteriores, o lançamento desses efluentes diretamente no rio, o que resultou numa grande mortandade de peixes no leito e estuário do Rio Ceará Mirim, tendo o fato sido amplamente divulgado pela imprensa.

As águas de uso sanitário (descarga, lavagem de banheiros, banhos, etc.) são lançadas no subsolo, em fossas sépticas. Na área da usina a profundidade das águas subterrâneas do aquífero freático situa-se em geral a menos de 5,00 metros, consistindo os despejos sanitários da usina numa fonte potencial de poluição/contaminação.

As emissões atmosféricas sob a forma de gases e vapores, nas chaminés, são lançadas com vazões da ordem de 160.000 m³/minuto, e temperaturas de 120⁰c, e não existem equipamentos de controle de poluição do ar.

Constata-se que as fontes de poluentes associadas ao uso do vinhoto e pesticidas, tanto pela sua nocividade ao meio hidro-ambiental, como pela sua aplicação espacialmente mais ampla na área, apresentam maiores riscos potenciais de degradação da qualidade das águas de forma difusa, num área aproximada de 6.000 ha.

Os poluentes oriundos da disposição inadequada de esgotos em geral podem gerar problemas de poluição/contaminação de forma mais localizada, principalmente no que se refere aos poluentes de origem biológica (vírus, bactérias), que têm resultado em doenças de veiculação hídrica (Cólera, Hepatite, Febre tifóide, Esquistossomose) contraídas pela população.

As concentrações de Nitrato (poluente inorgânico) nas águas, parte formado a partir dos efluentes de fossas e sumidouros, e parte proveniente da aplicação de fertilizantes químicos e vinhoto nas atividades agrícolas (principalmente de cana de açúcar), além dos processos naturais, normalmente apresentaram teores abaixo do limite máximo para consumo humano (45,00 mg/L), nas águas dos aquíferos Cretáceos e no aquífero Barreiras. No aquífero Cristalino os teores de nitrato são significativamente elevados (média de 70,00 mg/L), por conta da menor espessura dos solos que não possibilitam a sua efetiva retenção e/ou absorção, e portanto mais facilmente infiltrado nas fraturas do embasamento rochoso.

6.2 - VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS À POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO

Define-se Vulnerabilidade como sendo a susceptibilidade do sistema aquífero em sofrer agressão ou impacto de poluentes resultantes de ações antrópicas desenvolvidas na superfície do solo, podendo provocar modificações na qualidade natural das águas subterrâneas através de poluição e/ou contaminação.

O meio aquífero apresenta diversos parâmetros físicos que podem propiciar uma atenuação ou incremento nos mecanismos de infiltração dos poluentes, tais como: Condutividade Hidráulica, Conteúdo de Umidade da zona não saturada, Porosidade Efetiva, distribuição do tamanho dos grãos e macroporos do material, mineralogia da zona não saturada, etc. No entanto estes parâmetros em geral não são facilmente mensuráveis, ou não estão disponíveis durante trabalhos de avaliação.

Na prática são feitas simplificações dos parâmetros requeridos, sendo a vulnerabilidade determinada em função de três componentes básicos, ou seja:

- Forma de ocorrência da água subterrânea (aqüífero livre, confinado, semi-confinado, surgente, etc.);
- Características dos estratos acima da zona saturada, em termos de compactação e tipo litológico;
- Profundidade do nível das águas subterrâneas.

No presente trabalho a avaliação acerca da vulnerabilidade natural foi procedida mediante a aplicação da metodologia empírica de Foster (1987), que considera os três parâmetros citados mediante índices numéricos, conforme apresentado na Figura 6.2.

Procedeu-se inicialmente à elaboração do Mapa de Profundidade do nível das águas subterrâneas (Figura 6.3, Página 138), que foi analisado com os outros parâmetros para a determinação do nível de vulnerabilidade dos três principais sistemas aqüíferos da área (aqüífero Barreiras/aluvial; aqüíferos Cretáceos; aqüífero Cristalino), tendo-se adotada uma divisão em (06) seis classes de vulnerabilidade: “Baixa”, “Média a Baixa”, “Média”, “Média a Alta”, “Alta” e “Extremamente Alta”.

As classes de vulnerabilidade ocorrem em áreas específicas, conforme resumidas na Tabela 6.2, cuja distribuição espacial é apresentada no Mapa de Vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição/contaminação elaborado, ilustrado na Figura 6.4 (Página 141).

136

Tabela 6.2 – Classes de Vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição/contaminação. Área do Baixo/médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

ÁREA	AQUÍFERO	VULNERABILIDADE
1	Barreiras	Média a alta
1A	Aluvião/Barreiras	Alta
1B	Aluvião/Barreiras	Extremamente Alta
1C	Aluvião	Extremamente Alta
2	Barreiras	Média
3	Barreiras	Média a Baixa
4	Barreiras	Baixa
5	Jandaíra (aflorante)	Alta
5A	Jandaíra (aflorante)	Média
6	Açu(aflorante)	Média
7	Cristalino	Média

6.2.1 - Mapa de Profundidade do nível das Águas Subterrâneas

- Aquífero Barreiras:

A profundidade das águas subterrâneas do aquífero Barreiras (Figura 6.3) ocorre em geral condicionada ao relevo da área, sendo normalmente menor do que 5,00 metros na região do Vale do Rio Ceará Mirim.

Na região dos tabuleiros, a norte e a sul do vale, as cotas mais elevadas atingem até cerca de 60,00 metros de altitude, favorecendo a ocorrência do nível freático mais profundo, desde 5,00 metros até pouco mais de 30,00 de profundidade.

No trecho Nordeste de Ceará Mirim (Coqueiros, Alto do Sítio, Rio dos Índios, etc.) a profundidade do nível das águas subterrâneas é seguramente maior, predominando o intervalo entre 20,00 e 50,00 metros.

LEGENDA

- Cidade
- Lagoa
- Drenagem
- Limite de bacia hidrográfica
- Contato geológico
- Contato geológico inferido
- Curva de isopropriedade do nível das águas subterrâneas

UNIDADES QUE COMPÕEM OS SISTEMAS AQUIFÉROS

QUATERNÁRIO	Aluviões	AI	Areias, cascalhos, argilas, siltes
TERCIÁRIO	Formação Barreiras	Tb	Arenitos e/ou areias e argilas variegados
	Formação Jandaira	Kj	Calcarios, dolomitos
CRETÁCIO	Formação Açu	Ka	Arenitos médios a grosseiro, siltes, argilitos
PRÉ-CAMBRIANO	Grupo Caicó e Seridó	PC	Migmatitos, gnáisses, ortognáisses, micaxistos

LOCALIZAÇÃO

Figura 6.3 - MAPA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DO BAIXO A MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ-MIRIM/RN

AUTOR:
JOSÉ BRAZ DINIZ FILHO

DATA:
AGOSTO/1999

DIGITALIZAÇÃO/VECTORIZAÇÃO/EDITORIAÇÃO:
GILSON PEREIRA/MARIA CLÁUDIA/IVALDO JÁCOME

PROGRAMAS:
AutoCAD R14
CorelDRAW 8

Fonte: Cartas topográficas do Ministério do Exército-Depto. de Engenharia e Comunicação - Esc 1:100.000, Natal-MI-978 e João Câmara-MI-977.

No setor Noroeste de Ceará Mirim, por sua vez, o nível das águas acha-se menos profundo, entre 5,00 e 20,00 metros. O setor a sul do Vale (leste e oeste de Ceará Mirim) destaca-se por profundidades oscilando entre 10,00 e 20,00 metros, com uma pequena faixa de valores maiores (entre 20,00 e 50,00 metros) no extremo sudeste da área (Estivas, etc.).

– Aqüíferos Cretáceos (Açu e Jandaíra):

No trecho aflorante dos aquíferos cretáceos (setor oeste/noroeste da área estudada), predomina espacialmente o intervalo de profundidades entre 5,00 e 20,00 metros.

Considerando a região não aflorante, a superfície potenciométrica do aquífero Açu encontra-se a profundidades que podem ou não coincidir com o nível freático do aquífero Barreiras, visto estar confinado pelo sistema aquífero Jandaíra, gerando diferenças de cargas hidráulicas. Este fato foi constatado também através de análise das seções hidrogeológicas das Figuras 3.1 (Páginas 36 a 40).

Nas áreas do Vale ocorre o fenômeno de surgência das águas do aquífero Açu, conforme constatação feita no poço jorrante de 180,00 metros de profundidade, situado na localidade da Fazenda Igarapé (Poço 31), onde o nível potenciométrico está a cerca de 1,50 metros acima da superfície do terreno.

– Aquífero Aluvial

As águas subterrâneas do aquífero aluvial, tanto no âmbito de ocorrência dos terrenos cristalinos, como dos terrenos sedimentares da Formação Barreiras, apresentaram pequenas profundidades, em geral abaixo de 5,00 metros.

– Aquífero Cristalino:

A profundidade das águas subterrâneas do aquífero Cristalino mostra-se muito variável, sendo entretanto mais comum os valores entre 10,00 e 15,00 metros.

6.2.2 - Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas à poluição/contaminação

A Figura 6.4 ilustra a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição/contaminação, que são a seguir discutidas de acordo com os aspectos associados aos diferentes sistemas aquíferos.

- Aquífero Barreiras:

Os índices encontrados evidenciaram classes de vulnerabilidade variando de Baixa a Extremamente Alta, como ilustrado no mapa da Figura 6.4.

No geral a vulnerabilidade é menor nas áreas de tabuleiros, e aumenta no sentido do vale aluvial (áreas 4, 3, 2, 1, 1A, 1B), sendo essa sequência de vulnerabilidade indicada como de ordem crescente. Destacam-se como menos vulneráveis os setores nordeste e sudeste, onde os níveis d'água são em geral mais profundos, ocasionando maiores espessuras da zona não saturada, o que favorece uma maior atenuação no transporte de poluentes, e com isso proporcionando maior proteção natural do aquífero freático (área 04).

A área 04 apresenta uma maior distribuição espacial no setor nordeste, e inclusive demonstra um aspecto litológico mais argiloso, como constatado em campo através de afloramentos da Formação Barreiras em escarpas de 10,00 a 15,00 metros de altura, evidenciando a ocorrência de arenitos avermelhados bastante argilosos e argilas arenosas, semi-consolidados. Esse caráter é também demonstrado em subsuperfície, através das indicações nos perfis e seções hidrogeológicas, revelando camadas relativamente espessas de argila e arenitos argilosos (até 20,00 metros de espessuras), insaturadas, acima da superfície potenciométrica.

- Aquífero Aluvial (Área 1B):

Mesmo se comportando como um sistema único com o aquífero Barreiras, através de continuidade litológica e hidráulica, a vulnerabilidade é maior, sendo classificada como Extremamente Alta.

Figura 6.4 - Mapa de vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição/contaminação
Área do baixo/médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim

– Aqüíferos Cretáceos (Áreas 6, 5, 5A):

Na faixa aflorante (setor noroeste da área), o aquífero Açú apresenta vulnerabilidade Média (Área 6), e o aquífero Jandaíra (Área 5) revelou Alta Vulnerabilidade. Na faixa não aflorante, encoberta pelo aquífero Barreiras, são de vulnerabilidade Baixa.

– Aquífero Cristalino (Área 7):

Apresenta em geral vulnerabilidade média, semelhante ao comportamento regional demonstrado por estudos elaborados pela SERHID/HIDROSERVICE (1998).

– Aquífero Aluvial (Área 1C):

As aluviões que ocorrem sobrepostos às rochas cristalinas são também de vulnerabilidade Extremamente Alta, tendo em vista a pequena profundidade do nível freático, zona não saturada pouco espessa, e baixíssimo grau de consolidação dos pacotes litológicos.

6.2.3 – Considerações sobre os riscos de poluição/contaminação dos recursos hídricos subterrâneos

Algumas considerações sobre os riscos de poluição/contaminação das águas subterrâneas foram procedidas através de uma análise comparativa entre os processos de uso e ocupação do solo, e a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas à poluição/contaminação. Isto porque uma área bastante vulnerável do aquífero pode não apresentar riscos de poluição, na medida em que não exista a geração de cargas poluidoras em superfície.

– Aquífero Barreiras:

No que diz respeito à qualidade das águas subterrâneas na área estudada, constitui-se da maior importância a proteção do aquífero Barreiras, tendo em vista ser um aquífero freático com águas de elevada potabilidade natural, no entanto mais susceptível de receber elevada carga poluidora através dos estratos mais permeáveis da zona não saturada.

Considerando os usos antrópicos na superfície do solo, e conhecendo os aspectos litológicos, estruturais e dimensionais do aquífero Barreiras, admite-se neste trabalho que a

manifestação dos riscos de poluição/contaminação está diretamente relacionada às áreas de vulnerabilidade natural do sistema.

Na área estudada a carga poluidora oriunda da atividade agrícola da cana de açúcar apresenta uma distribuição difusa, sendo as demais (de atividades urbanas e industriais) de caráter pontual. Os principais poluentes avaliados (vinhoto, pesticidas, fertilizantes, esgotos) oferecem maiores riscos de degradação das águas nos setores do vale de fundo plano do Rio Ceará Mirim (1, 1A, 1B), especialmente em função da pequena espessura da zona não saturada (e portanto menor a capacidade de absorver a carga de poluentes), e também pela pequena profundidade do nível das águas subterrâneas (< 5,00 metros).

Sendo os riscos maiores, é necessário que nestas áreas do vale exista um maior controle no uso de agrotóxicos, bem como que sejam implantados sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos e industriais. Em alguns setores do vale é comum o uso de fossas sanitárias a pouco mais de 3,00 metros de poços tubulares e amazonas, muito dos quais já desativados por conta da qualidade indesejável das águas. A instalação de postos de combustíveis, cemitérios, lixões e matadouros não deve ser permitida em nenhuma hipótese nestas áreas do vale, caso não existam projetos adequados para construção das obras, nem sistemas de coleta e tratamento dos efluentes e resíduos produzidos.

Nas áreas 02 e 03 (Figura 6.4) os riscos são menores, tendo em vista a menor vulnerabilidade associada aos níveis d'água mais profundos, em geral de 10,00 a 15,00 metros. No entanto os riscos podem aumentar devido a intensidade de uso dos agrotóxicos, o que poderia resultar num aporte de poluentes maior que a capacidade de absorção do meio. No setor urbano de Ceará Mirim a carga de poluentes gerada pelos esgotos domésticos é significativa, conduzindo a uma situação semelhante, sendo maiores os riscos de infiltração dos poluentes mais persistentes (nitratos), mesmo com os níveis d'água sendo mais profundos. Neste caso a implantação do sistema de esgotamento sanitário propiciará uma maior proteção da qualidade das águas dos mananciais.

- Aquíferos Cretáceos

No setor aflorante dos aquíferos Cretáceos (noroeste da área), os maiores riscos ficam por conta do aquífero Jandaíra, por se constituírem num meio cárstico-fissural que favorece uma maior infiltração de carga poluidora gerada principalmente pelo uso de agrotóxicos. Neste tipo de aquífero a percolação de poluentes é facilitada pelas aberturas

secundárias existentes nas rochas, correspondentes aos canais de dissolução, originados ao longo de fraturas ou do acamamento sedimentar.

No restante da área em que os aquíferos Cretáceos não afloram, os riscos são menores, tendo em vista a ampla cobertura estabelecida pelo aquífero Barreiras, que propicia uma proteção natural contra a infiltração de poluentes.

- Aquífero Cristalino

Em geral apresenta alto risco de poluição/contaminação das águas subterrâneas, principalmente pelas condições climáticas que propiciam uma progressiva concentração salina nas águas através das fissuras, como também pelos riscos de infiltração de poluentes oriundos de despejos sanitários (fossas), cemitérios, lixões, dejetos animais, postos de combustíveis e matadouros em Taipu e Poço Branco.

Os terrenos cristalinos na área são praticamente impermeáveis, e com pequena cobertura de regolito ou solos, que praticamente não promovem uma efetiva absorção da carga poluidora, expondo as fraturas a um processo de infiltração quase que diretamente das fontes. Além desses fatores, a profundidade do nível das águas subterrâneas (em geral entre 5,00 e 10,00 metros) também contribui para aumentar os riscos de poluição no meio fraturado. Uma das evidências da maior vulnerabilidade e risco à poluição do sistema aquífero cristalino, foi a constatação dos elevados teores de nitrato nas águas da maioria dos poços cadastrados, atingindo valores superiores a 200,00 mg/L, com valor médio da ordem de 70,00 mg/L, acima do limite máximo permitido para consumo humano.

7 – ABASTECIMENTO PÚBLICO, APROVEITAMENTO, DEMANDA/OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS

7.1 – ABASTECIMENTO PÚBLICO

Neste item são apresentados alguns aspectos sobre a situação atual do abastecimento público na área do baixo/médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim, tendo como base o conteúdo de informações das áreas urbanas das sedes municipais de Ceará Mirim, Taipu e Poço Branco, e alguns dados de setores rurais de Ceará Mirim e Extremoz.

7.1.1 – Abastecimento d'água de Ceará Mirim

A sede municipal de Ceará Mirim e algumas de suas comunidades rurais são abastecidas por águas subterrâneas do aquífero Barreiras, captadas tanto no âmbito da bacia estudada, como também em áreas adjacentes, sendo o abastecimento coordenado pelo Serviço Autônomo de Águas e Esgotos (SAAE).

O abastecimento d'água na cidade de Ceará Mirim é efetuado por meio da captação de água em seis (06) poços tubulares situados às margens da Lagoa de Extremoz, que está incluída na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, adjacente e ao sul da bacia estudada. Os poços produzem um volume d'água estimado em 204.288 m³/mês, ou seja, da ordem de 2,45 x 10⁶ m³/ano. As principais características dos 04 (quatro) poços são apresentadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Características dos poços tubulares que abastecem a cidade de Ceará Mirim, situados no município de Extremoz/RN.

Poço	Local	Prof.(m)	Vazão (m ³ /h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Rebaix. (m)	Aquífero	Data
PT – 2	Extremoz	25,85	36,00	0,00	0,80	0,80	Barreiras	-
PT - 6	Extremoz	30,00	36,00	surgente	2,00	2,00	Barreiras	-
PT - 7	Extremoz	29,00	40,00	surgente	2,60	2,60	Barreiras	02/10/88
PT - 8	Extremoz	30,00	36,00	surgente	4,90	4,90	Barreiras	21/10/88

Apesar da área captada estar situada fora do contexto investigado neste trabalho, o comportamento litológico do aquífero, segundo os perfis, é semelhante, ou seja, exhibe alternância de seqüências de areias e arenitos pouco consolidados argilosos, finos a grosseiros, com intercalações de argilas. Em termos litoestratigráficos as seqüências são também pertencentes à Formação Barreiras, correspondentes ao aquífero de mesmo nome. Os poços são pouco profundos (de 25 a 30 metros), mas fornecem boas vazões (de 36 a 40 m³/h).

As águas captadas dos poços são aduzidas de Extremoz a um sistema distribuidor em Ceará Mirim, composto por 05 (cinco) reservatórios, cujas localizações, capacidade e áreas de influência, são mostradas na Tabela 7.2. O sistema de medição é o convencional.

A qualidade das águas revela baixos teores de nitrato (< 1,00 mg/L), e também baixo conteúdo de bactérias do grupo Coliformes Totais, entre 10 e 230 N.C./100 ml de água. Os Coliformes Fecais não foram identificados nas amostras existentes, no período de 1996 a 1997.

Tabela 7.2 – Reservatórios de distribuição de águas na cidade de Ceará Mirim. Fonte: SAAE/Ceará Mirim - RN (1998).

Reservatórios	Local	Capacidade (m ³)	Área de influência
R ₁	Extremoz	400,00	Ceará Mirim
R ₂	Ceará Mirim	750,00	Cidades Alta e Baixa
R ₃	Sede do SAAE	378,00	Cidade Alta
R ₄	Conjunto Luís Lopes Varela	50,00	Conjunto Luís Lopes Varela
R ₅	Barro Vermelho	50,00	Barro Vermelho; João de Barro

O sistema de esgotamento sanitário atual, em Ceará Mirim, constitui-se de 2.924 ligações (Janeiro/1999). É composto por 02 (duas) estações elevatórias de esgotos, que enviam os dejetos ao sistema de tratamento formado por uma calha PARSHALL, seguida de uma caixa de areia e duas lagoas de estabilização anaeróbicas. Após o tratamento os efluentes seguem por um extravasor em tubo PVC de 300 mm, sendo lançados em seguida para o corpo receptor, que é o Rio Ceará Mirim.

As comunidades situadas na bacia, que são abastecidas sob a coordenação do SAAE, também são apresentadas nas Tabelas 3.11.1 e 3.11.2 (Págs. 75 e 76). O abastecimento é feito por captação de águas subterrâneas do aquífero Barreiras, através de poços tubulares que,

normalmente, não chegam a atravessar toda a sua espessura saturada. Em geral, os poços são instalados com bombas submersas, e na tubulação de saída da água acrescenta-se uma certa concentração de Cloro para efeito de desinfecção. A distribuição da água é procedida tanto a partir de reservatórios de acumulação, como podem ser canalizadas diretamente dos poços para as residências, existindo atualmente cerca de 2.060 ligações. O volume médio anual consumido pelo sistema do SAAE é estimado em 1.326.823 m³/ano. Este valor representa 71% do volume anualmente explotado do aquífero Barreiras na área, que é da ordem de 1,87 milhões de metros cúbicos/ano (avaliado no Item 3.4.9).

7.1.2 – Abastecimento d'água dos Municípios de Taipu e Poço Branco

O abastecimento d'água das cidades de Taipu e Poço Branco compõe o **Sistema de Abastecimento Integrado de João Câmara**, que foi implantado e até então vem sendo controlado pela Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN). A operação foi iniciada em 1982, e abastece uma população urbana de 15.033 habitantes (municípios de João Câmara, Bento Fernandes, Taipu, Poço Branco).

O Sistema Integrado de João Câmara é composto por um conjunto de adutoras formadas por tubulações de ferro fundido, de comprimento total estimado em 58 Km, e diâmetros entre 150 e 400 mm. A distribuição das adutoras é ilustrada na Figura 7.1, e os seguintes equipamentos formam as unidades de bombeamento:

- Bomba Centrífuga horizontal, marca SULZERWEIS, modelo NLG-150/2, com potência de 250 c.v., rotação no eixo de 1750 rpm, altura manométrica de 143,0 mca, e vazão de 260 m³/h;
- Bomba Centrífuga horizontal, marca SULZERWEIS, modelo NLG-125/3, com potência de 125 c.v., rotação no eixo de 1750 rpm, altura manométrica de 102,0 mca, e vazão de 205 m³/h;
- Bomba Centrífuga horizontal, marca KING, modelo IRR-4X3, com potência de 30 c.v., rotação no eixo de 1760 rpm, altura manométrica de 20,1 mca, e vazão de 130,0 m³/h;

O sistema utiliza as águas captadas do manancial da Fonte de Pureza, situado no município de Pureza/RN a uma distância em torno de 17 Km a norte de Taipu, e 21 Km a nordeste de Poço Branco, portanto, fora do contexto da área estudada.

Obs.: Vazões determinadas pela pitometria

Figura 7.1- Sistema Adutor Integrado de João Câmara

A Fonte de Pureza, segundo a Planat (1979), constitui-se num manancial reconhecidamente perene, representando a principal nascente do Rio Maxaranguape (bacia hidrográfica situada a norte, adjacente à bacia do Ceará Mirim). As águas são de origem subterrânea, e afloram na zona de contato entre os calcários da Formação Jandaíra (Cretáceo, situados na base) e os sedimentos Cenozóicos da Formação Barreiras, sobrejacente.

As investigações efetuadas à época, com base em dados de análises físicas e químicas das águas (T^0 e Resíduo Seco), indicaram que a Fonte de Pureza poderia ter sua ocorrência associada a uma estrutura cárstica/fissurada, atuando como unidade coletora das águas drenadas de forma descendente, a partir da zona saturada da cobertura cenozóica. Ou seja, em função deste comportamento as águas da fonte teriam uma salinidade menor do que as águas que são exclusivas dos calcários da Formação Jandaíra (com salinidade entre 1.500 e 2.038 mg/L).

Os dados existentes com respeito às medições de vazão da Fonte de Pureza, são os seguintes:

- Medição com Molinete (SUDENE, 1966): **180 L/s** (21.11.66);
- Medição com Flutuador:
 - Medida 1 : **297 L/s** (Planat/CAERN, 26.08.79);
 - Medida 2 : **328 L/s** (Planat/CAERN, 26.08.79);
 - Medida 3 : **323 L/s** (Planat/CAERN, 04.09.79);
 - Medida 4 : **371 L/s** (Planat/CAERN, 26.09.79).

O valor médio da vazão é da ordem de **300 L/s**. Tomando por base a vazão obtida no período de estiagem (**180 L/s**) para atendimento da demanda, a Fonte de Pureza foi indicada como a mais viável para abastecimento d'água dos municípios de Pureza (demanda de 7 L/s), João Câmara (demanda de 100 L/s), Poço Branco (demanda de 14,2 L/s) e Taipu (demanda de 11,4 L/s). De fato, a demanda total das 04 (quatro) cidades, da ordem de 132,6 L/s, é inferior ao volume liberado da fonte na época de estiagem, resultando ainda numa disponibilidade de 47,4 L/s.

As águas da Fonte de Pureza demonstraram boa qualidade para consumo humano, conforme apresentado na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Parâmetros Químicos das Águas da Fonte de Pureza/RN.

Amostra	Data	Alcalinidade Total, mg/l CaCO ₃	Cloreto (mg/l)	Dureza (mg/l CaCO ₃)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	pH
01	14.08.79	115,00	72,00	170,00	285,00	7,7
02	14.08.79	115,00	72,00	170,00	243,00	7,7

Embora a dureza das águas tenha sido relativamente elevada em relação aos Sólidos Totais Dissolvidos, os valores permanecem dentro dos padrões para consumo humano.

As águas captadas da Fonte de Pureza são aduzidas a um reservatório central (R₁) situado a 17,2 Km a sudoeste da mesma, com capacidade de armazenamento de 350 m³ (Figura 7.1). A partir desse reservatório, as águas são transportadas por gravidade aos municípios de Poço Branco e Taipu, e são bombeadas para Bento Fernandes e João Câmara. A Tabela 7.4 apresenta os volumes médios diários consumidos pelos quatro municípios inseridos no sistema.

Tabela 7.4 – Volumes médios consumidos pelo sistema adutor de João Câmara/RN.

Município	Volume médio diário consumido (m ³ /dia)	Médias diárias de funcionamento (h)
Bento Fernandes	268,00	21,60
João Câmara	4.393,41	22,00
Poço Branco	1.512,00	21,60
Taipu	1.113,00	20,00

O volume médio mensal consumido pelos quatro municípios é de 218.592 m³/mês, equivalente a $2,62 \times 10^6$ m³/ano. Considerando apenas Poço Branco e Taipu, o volume médio anual consumido é de 958.125 m³/ano.

No geral, os totais de água consumidos anualmente, considerando as áreas urbanas e rurais, apresentaram as seguintes cifras:

- Ceará Mirim (área urbana): $2,45 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$;
- Ceará Mirim (área rural): $1,87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$;
- Sistema Integrado João Câmara: $2,62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (dos quais $958.125 \text{ m}^3/\text{ano}$, consumidos por Taipu e Poço Branco).

Como resultado tem-se um consumo humano anual de água na área estudada, da ordem de $5,28 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

7.2 – APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA

O aproveitamento das águas subterrâneas na área estudada, por meio de captação através de poços tubulares, é mais expressivo no que se refere ao aquífero Barreiras, notadamente em função das suas próprias condições naturais de ocorrência como um aquífero em geral livre, e com maior facilidade para renovação e recarga, resultando em águas predominantemente potáveis, e por isso, mais utilizadas para consumo humano.

No trecho mais oriental do vale o aquífero Barreiras apresenta condições de efluência, através de fontes e olhos d'água, permitindo que as águas liberadas livremente do aquífero perenizem certos trechos da planície aluvial do Rio Ceará Mirim. Neste caso, as águas são, em alguns casos, retiradas para consumo humano diretamente das fontes, sem a necessidade de captação por poços, sendo transportadas por animais e também por carros-pipa.

As águas que afluem das fontes e olhos d'água e formam os cursos superficiais, são amplamente aproveitadas no cultivo de cana de açúcar, e de forma secundária, em culturas permanentes e temporárias na região do vale. Neste caso, as águas são canalizadas para os setores de plantio, e retidas por meio de pequenos barreiros ou acumulações de terra, permitindo a aplicação local do método de irrigação por inundação.

Nas áreas dos tabuleiros, ou no sopé das escarpas da Formação Barreiras, as águas do aquífero Barreiras são captadas através de poços tubulares principalmente para abastecimento público de comunidades, sob a coordenação do SAAE, e também por particulares.

O aproveitamento das águas dos aquíferos Jandaíra e Açu é, em geral, limitado aos setores oeste e noroeste de Ceará Mirim, onde a estrutura hidrogeológica condiciona a ocorrência dos sedimentos Cretáceos em altos estruturais (e portanto a menores profundidades), resultando na redução das espessuras do aquífero Barreiras. No entanto, as águas são insatisfatórias para consumo humano, sendo mais usadas para uso animal e para gastos domésticos menos nobres.

Nos setores citados (oeste e noroeste de Ceará Mirim) a redução das espessuras saturadas do aquífero Barreiras limita também o seu aproveitamento através de poços tubulares. Porém, como as águas dos aquíferos Açu e Jandaíra são de baixa potabilidade, uma parcela da população procura sempre suprir suas necessidades com águas de melhor qualidade do aquífero Barreiras. Para tanto, são utilizados poços amazonas (profundidade, em média, de até 10,0 metros), mesmo que influenciados pelas oscilações sazonais do nível freático, o que diminui a oferta nos períodos de estiagem. Neste caso, a complementação é feita com a utilização de carros-pipa.

O aquífero Cristalino não apresenta potencial hídrico para uma utilização efetiva, e suas águas, na grande maioria dos casos, servem apenas para atender demandas localizadas que não sejam para consumo humano.

O panorama geral demonstra que as águas potáveis pertencentes ao aquífero Barreiras são potencialmente as mais utilizadas para todos os fins, ou seja, abastecimento público, irrigação, uso industrial e outros. No entanto, os fatores naturais limitam a sua ocorrência, dimensões e potencialidades, que se mostram mais favoráveis no setor oriental da área estudada.

A Barragem de Poço Branco, com capacidade de acumulação de $136 \times 10^6 \text{ m}^3$, apresenta atualmente um volume armazenado da ordem de $40 \times 10^6 \text{ m}^3$. Deve-se enfatizar que essa redução do volume armazenável se deu efetivamente por falta de manutenção no sistema de operação da barragem, pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), gerando defeitos nas comportas que vêm resultando na liberação de águas, para as áreas a jusante, em taxas superiores aos valores projetados.

Ou seja, não tem havido um aproveitamento potencial das águas superficiais da Barragem do Poço Branco, cuja contribuição tem sido basicamente na atividade agrícola restrita, e para obtenção de culturas de subsistência em propriedades pequenas e isoladas adjacentes ao espelho d'água (áreas de vazante), e para a pesca. Em geral a produção agrícola e da pesca são suficientes apenas para sobrevivência de trabalhadores rurais das comunidades ribeirinhas, sem muita representatividade em termos comerciais e de geração de renda, até mesmo pela falta de incentivos que visem uma melhoria da produção.

As águas para abastecimento público da região urbana de Ceará Mirim, como revelado em itens anteriores, não são oriundas da própria bacia do Rio Ceará Mirim, sendo utilizado o manancial subterrâneo da Bacia do Rio Doce, que corresponde a um pequeno sistema de drenagem situado a sul da cidade de Ceará Mirim. Em Taipu e Poço Branco as águas para

abastecimento também são de fonte externa (fonte do município de Pureza), que são captadas através de bombeamento e canalizadas por sistemas de adutoras.

Destaca-se então que os órgãos municipais e os responsáveis pelo abastecimento não têm procurado soluções mais acessíveis para resolver os problemas do abastecimento público em grande parte da área, provavelmente pelo pouco conhecimento que até então tinham acerca das potencialidades do sistema hídrico subterrâneo, em especial do aquífero Barreiras, e também pela falta de medidas de controle da qualidade e quantidade das águas da barragem de Poço Branco.

Como consequência ainda existe uma parcela da população rural que vem adotando como solução a utilização de carros-pipa com os poucos recursos próprios para aquisição de água potável, o que não condiz com a realidade natural da região, que demonstra um elevado potencial de recursos hídricos subterrâneos, porém mal gerenciados no que diz respeito a uma oferta mais abrangente.

De fato o SAAE vem coordenando o abastecimento d'água de algumas comunidades rurais que, coincidência ou não, correspondem àquelas situadas em áreas onde o aquífero Barreiras mostra-se com elevado potencial hidrogeológico (São Leopoldo, Sítio, Alto do Sítio, Rio dos Índios, Coqueiros, Tabuão, Massangana, etc.), em geral na porção oriental da região estudada (leste e nordeste de Ceará Mirim). Nos trechos em que o seu potencial tem se revelado baixo (Veados, Manguari, Lagoa do Cajueiro, etc.), o SAAE não tem atuado, sobrevivendo as comunidades com águas de poços amazonas no aquífero Barreiras, águas salobras dos aquíferos Jandaíra e Açu, e de carros-pipa.

O cenário demonstra a necessidade de uma política de controle, distribuição e ordenamento do uso dos recursos hídricos da área.

7.3 – COMPARAÇÃO ENTRE DEMANDA ESTIMADA, CONSUMO REAL E OFERTA DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA

A demanda total de água de uma região engloba as necessidades para abastecimento público de comunidades urbanas e rurais, desenvolvimento das atividades industriais e atividades agropecuárias (irrigação e criação animal).

Considerando as águas para abastecimento humano, e admitindo um consumo “per capita” estimado em 200 L/habitante.dia, foram estimadas as demandas urbanas das cidades de Ceará Mirim, Taipu e Poço Branco, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 7.5.1.

Para o meio rural foi utilizado um fator de consumo “per capita” de 100 L/habitante.dia, sendo as demandas rurais calculadas apresentadas na Tabela 7.5.2.

Tabela 7.5.1 – Estimativa de Demanda Urbana de água – área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Município	Ano 2000		
	População Urbana (habitantes)	Consumo Per Capita (litros/habitante.dia)	Demanda Urbana (litros/dia)
Ceará Mirim	28.960	200	5.792.000
Taipu	3.582	200	716.400
Poço Branco	5.977	200	1.195.400
Total			2.811.887.000 litros/ano (2,8 x 10 ⁶ m ³ /ano)

Tabela 7.5.2 – Estimativa de Demanda Rural de água – área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Município	Ano 2000		
	População Rural (habitantes)	Consumo Per Capita (litros/habitante.dia)	Demanda Rural (litros/dia)
Ceará Mirim	29.076	100	2.907.600
Taipu	6.712	100	671.200
Poço Branco	5.322	100	532.200
Total			1.500.515.000 litros/ano (1,50 x 10 ⁶ m ³ /ano)

A demanda industrial segundo o CNSOS, 1951 (In: Teixeira, 1988), é da ordem de 50 litros/habitante.dia. Considerando que a principal atividade do ramo industrial na área corresponde à indústria de açúcar, álcool e aguardente, que em média absorve diretamente cerca de 300 pessoas, a demanda é estimada em 5.475 m³/ano (0,0055 x 10⁶ m³/ano). No entanto o

consumo real na indústria avaliado na área (Item 6.1.3, Página 132), foi da ordem de $2,37 \times 10^6$ m³/ano, correspondente a 270 m³/h.

A demanda agrícola, de acordo com estimativas da CONESP/O.E.S.A, 1975 (In: Teixeira, 1988), tem por base o fator de necessidade de atendimento de água para irrigação, que é da ordem de 10.000 m³/ha.ano. Considerando que a área efetivamente irrigada no âmbito da bacia estudada foi estimada em 60 Km² (6.000 ha), a demanda calculada de água para irrigação é avaliada em 60×10^6 m³/ano. No entanto os dados levantados a nível local revelaram em média um consumo de água para irrigação em torno de 260 m³/h, equivalente a apenas 2.277.600 m³/ano, o que está de acordo com a realidade e virtual disponibilidade de água na área.

Em síntese os dados obtidos demonstraram as seguintes cifras:

Demandas calculadas de água (m³/ano)	Consumo real de água (m³/ano)	Situação de uso das águas
Demanda (urbana e rural): $4,3 \times 10^6$	Consumo (urbano e rural): $5,28 \times 10^6$	Desperdício
Demanda agrícola: 60×10^6	Consumo agrícola: $2,28 \times 10^6$	Subutilização
Demanda Industrial: $0,0055 \times 10^6$	Consumo industrial: $2,37 \times 10^6$	Desperdício

A demanda agrícola avaliada com base no fator da CONESP/O.E.S.A (10.000 m³/ha.ano) representa um volume virtualmente exagerado para o contexto da área, sendo indicado apenas para se caracterizar o volume de água que pode ser potencialmente utilizável na agricultura. De fato as atividades de irrigação na área utilizam as disponibilidades hídricas superficiais de fontes e do Rio Ceará Mirim, além do uso do vinhoto, sendo menos freqüente a captação do aquífero Barreiras por poços para este fim.

Na área total estudada foi avaliado um **consumo médio anual** de água para abastecimento público em torno de **$5,28 \times 10^6$ m³/ano** (Item 7.1, Página 150), que é fornecido por companhias de abastecimento d'água (SAAE, CAERN) captando águas do aquífero

Barreiras da área estudada ($1,87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), águas da Fonte de Pureza ($0,96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), e águas do aquífero Barreiras captadas fora da bacia estudada ($2,45 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$). A cifra avaliada se revela superior a demanda (urbana e rural) estimada para consumo humano, da ordem de $4,3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Os valores mesmo sendo insignificantes em termos de potencial utilizado, já configuram uma situação de desperdício (consumo maior que a demanda estimada), o mesmo ocorrendo em relação ao consumo industrial.

As **reservas explotáveis** do aquífero Barreiras foram avaliadas em torno de $81 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (Capítulo 3.2.4.7), demonstrando potencial hídrico muito superior ao consumo total na região, que é da ordem de $9,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ (consumo humano, industrial, agrícola). Com isso tem-se um **volume disponível** da ordem de $71 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, configurando uma **subexploração** do sistema aquífero Barreiras, embora já sejam demonstrados usos com desperdício de água.

Essas condições de subexploração do aquífero Barreiras são retratadas por encharcamentos quase constante em grande parte do vale durante todo o ano, refletindo-se em afloramentos do lençol freático em fontes e olhos d'água, consequência da pouca retirada a que vem sendo submetido o sistema.

As avaliações constataram que os órgãos responsáveis pelo abastecimento têm procurado outras fontes para atendimento da demanda de água para consumo humano na área estudada da bacia, sem ter considerado o elevado potencial hidrogeológico do aquífero Barreiras, cuja utilização mais efetiva poderia atender a demanda atualmente requerida, bem como complementar a sua ampliação através de atendimento dos setores que ainda apresentam problemas de falta d'água, inclusive nos setores rurais não contemplados pelos sistemas adutores ora implantados.

7.4 – OTIMIZAÇÃO DO USO E PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA

A gestão de recursos hídricos consiste num conjunto de procedimentos integrados de planejamento e de administração, através dos quais procura-se equacionar os problemas de escassez relativa e de uso sustentado das águas, mediante estabelecimento de medidas à proteção das reservas quanto à exaustão, e quanto à degradação da sua qualidade natural. Os recursos hídricos subterrâneos e superficiais da área estudada (com uma superfície de 610 Km^2) representam os principais mananciais de água de toda a bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim (área total de 2.635 Km^2), tanto no que diz respeito aos aspectos qualitativos como quantitativos. Desta forma retrata-se a necessidade de instrumentos de planejamento e proteção dos mananciais hídricos avaliados na área, como forma de garantir a sua efetiva utilização e

distribuição racionais em projetos futuros. Para efeito de concretização da implantação do gerenciamento, poderão ser observados os aspectos a seguir enfocados, no seu todo ou em partes, com vistas a otimização do uso e proteção dos recursos hídricos do baixo e médio curso do Rio Ceará Mirim/RN.

A Barragem de Poço Branco tem se revelado no mais importante manancial de águas superficiais da bacia do Rio Ceará Mirim, cuja função principal tem sido o controle das enchentes que se manifestavam sobre as áreas agrícolas a jusante. De forma secundária as águas são usadas na atividade pesqueira, e no plantio de culturas de subsistência em pequenas áreas de vazante. A capacidade de acumulação (cerca de 136 milhões de m³) acha-se reduzida praticamente pela metade, e grande parte do volume acumulado tem sido desperdiçado anualmente em quantidades superiores aos valores projetados para a obra. Como forma de estabelecer uma retomada da função social das águas da Barragem de Poço Branco, propõe-se as seguintes alternativas para viabilizar a sua maior utilização:

- Promover uma recuperação física do reservatório, onde necessário, bem como a substituição dos equipamentos das comportas e outros, com vistas a se restabelecer a sua capacidade de acumulação, inclusive com serviços de dragagem;
- Implantação e/ou recomposição das matas ciliares com espécies nativas e adaptadas aos solos locais, indispensáveis à formação de uma barreira natural que proteja a bacia hidráulica contra assoreamento, uso descontrolado das suas margens e carreamento de poluentes ao corpo d'água;
- Estabelecer um controle sobre o uso e ocupação do solo nas áreas de maior influência sobre a bacia hidráulica, desde as partes elevadas do divisor topográfico natural da bacia, até o próprio corpo d'água, assegurando a qualidade sanitária e físico-química das águas;
- Implantação do sistema de esgotamento sanitário, e coleta e disposição adequada do lixo produzido na cidade de Poço Branco e em comunidades assentadas à montante da barragem, tendo em vista evitar ou reduzir a poluição/contaminação das águas, e como forma de prevenção e erradicação de doenças de veiculação hídrica transmitidas pelo consumo e contato com águas contaminadas por vírus e bactérias, originadas dos esgotos domésticos e lixões. Este procedimento corretivo é de extrema importância ambiental na área de ocorrência da Barragem de Poço Branco, por conta das limitações naturais dos terrenos cristalinos (rochas cristalinas aflorantes ou encobertas por solos de pequena espessura, de 2 a

5 metros) em absorver a carga poluidora/contaminante, o que facilita o transporte dos poluentes ao corpo d'água;

- As águas da Barragem de Poço Branco poderão ser usadas para abastecimento de comunidades rurais situadas no âmbito dos terrenos cristalinos (setor sudoeste da área), na medida em que uma parte da população não tem sido até então contemplada com a rede de adutoras (“Agreste-Trairi-Potengi” e “Sertão-Central-Cabugi”) construídas pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado (SERHID), além de que os poços do aquífero Cristalino são em geral de baixa vazão e com águas salgadas. Deverão ser instalados dessalinizadores com vistas a equacionar o problema da salinização das águas da barragem e dos poços, propiciando o abastecimento humano;
- Utilização das águas da barragem, ou parte do volume acumulado, para efetuar recarga artificial dos aquíferos Cretáceos aflorantes (NW da área), através da implantação de técnicas de recarga como bacias de infiltração, valas de infiltração ou poços de injeção, que poderia inclusive propiciar uma redução na salinidade das águas dos aquíferos através da mistura com as águas de recarga;
- Fomentar o incremento das atividades pesqueiras e das culturas de vazante, com vistas a promover maior desenvolvimento econômico da região;
- Incentivar a criação e o desenvolvimento do turismo ecológico na região da barragem de Poço Branco, com a implantação de núcleos de educação ambiental que destaquem a importância da manutenção da qualidade e do volume das águas do reservatório para o equilíbrio da flora, fauna e microclima local, bem como sua importância ao desenvolvimento cultural e sócio-econômico dos municípios envolvidos, e até mesmo do Estado.
- Estabelecer um zoneamento espacial da bacia hidráulica, como forma de ordenamento e controle do uso das águas da barragem (balneários, pesca, área de captação, passeios de barco, mergulho, etc.), dotando toda infra-estrutura necessária a evitar a poluição/contaminação do corpo d' água.

O aquífero Cristalino apresenta sérias limitações naturais para aproveitamento de suas águas, tanto no que se refere ao potencial quantitativo como qualitativo. Em geral as águas prestam-se apenas ao consumo animal e gastos domésticos menos nobres, e muito raramente para consumo humano e uso na irrigação. A luz dos conhecimentos atuais e das condições de ocorrência dos demais recursos hídricos na área, o aproveitamento das águas do aquífero Cristalino não desponta como uma solução viável em se tratando de grandes abastecimentos,

devendo ser utilizado apenas em alguns casos para atender restritas e pequenas demandas. Neste caso os poços existentes, e os que vierem a ser perfurados, deverão ser incluídos em programas emergenciais com instalação de dessalinizadores, com vistas ao atendimento de pequenas comunidades e povoados não beneficiados pelos programas de adutoras do governo do estado, atualmente em operação nas imediações (“Sertão-Central-Cabugi” e “Agreste-Trairi-Potengi”).

As reservas e qualidade das águas do aquífero Açu avaliadas também não justificam um aproveitamento potencial do sistema. Com respeito ao aquífero Jandaíra, as reservas permanentes, da ordem de $660 \times 10^6 \text{ m}^3$, são significativas para o contexto da área, embora a sua qualidade natural não tenha até então estimulado um aproveitamento eficaz. Foi demonstrado que os poços captando conjuntamente o aquífero Jandaíra e o aquífero Barreiras produzem águas de potabilidade aceitável, proporcionada pela mistura de águas dos dois sistemas.

A proposta de uso mais efetivo das águas do aquífero Jandaíra deve compreender os seguintes aspectos:

- Captação do aquífero Jandaíra no setor ocidental da área, onde os calcários estão mais próximos à superfície e as espessuras saturadas do aquífero Barreiras são menores e mais afetadas pelos efeitos sazonais, devendo as águas naturais serem destinadas a consumo animal ou usos menos nobres, e/ou serem submetidas a dessalinização por osmose reversa para complementar o abastecimento humano nas áreas adjacentes às captações;
- Captação das águas do aquífero Jandaíra no setor ocidental da área, e diluição com águas do aquífero Barreiras captadas e transferidas do setor oriental, em dosagens previamente avaliadas. A mistura poderá ser realizada em reservatórios de acumulação (elevados e/ou apoiados), a partir dos quais poderão ser distribuídas para diversos usos, inclusive para complementação da demanda para consumo humano não só das vizinhanças, mas principalmente das áreas situadas no âmbito dos terrenos cristalinos e outros com carência de água potável;
- A captação das águas do aquífero Jandaíra no setor oriental não se faz necessário, na medida em que o aquífero Barreiras apresenta elevado potencial hidrogeológico e atende plenamente a demanda neste setor. Além desse fato deve-se considerar os maiores custos para captação do aquífero Jandaíra neste setor oriental, visto que a camada aquífera (calcários) é alcançada a maiores profundidades devido as maiores espessuras da cobertura (aquífero Barreiras).

É factível a existência de uma interface “água doce – água salgada” condicionada pela disposição dos blocos falhados que separam o Alto estrutural (trecho ocidental) do Graben de Ceará Mirim (trecho oriental), aproximadamente nas imediações da cidade de Ceará Mirim, permitindo que as rochas carbonáticas portadoras de águas com maior conteúdo salino (aquífero Jandaíra) do bloco ocidental, se limitem lateralmente em profundidade com as rochas clásticas portadoras de águas doces (aquífero Barreiras) do bloco oriental, fato este que pode ser constatado nas seções hidrogeológicas 3.1.1 e 3.1.2 (Páginas 36 e 37). Isto leva a crer que a captação mais intensa do aquífero Jandaíra no setor ocidental da área deverá propiciar um amplo rebaixamento da superfície das águas subterrâneas neste trecho, permitindo que haja uma inversão do fluxo e penetração das águas doces do setor oriental (aquífero Barreiras) para o ocidental, favorecendo uma renovação das águas salobras do aquífero Jandaíra.

O aquífero Barreiras representa o mais importante manancial de água doce e potável da área, com reservas permanentes que superam $1,2 \times 10^9 \text{ m}^3$, e reservas exploráveis da ordem de $81 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Considerando que a demanda atual (urbana, rural, agrícola e industrial) na área foi avaliada em $9,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o volume disponível perfaz $71 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, cuja utilização mais eficaz resultará em grandes benefícios atuais e futuros não somente do ponto de vista hidro-ambiental, como também econômico e social.

Como prioridades de uso do manancial subterrâneo do aquífero Barreiras podemos destacar:

- As águas do aquífero Barreiras deverão ser usadas exclusivamente para consumo humano, mediante complementação da demanda urbana e rural da população não beneficiada pelos sistemas de abastecimento do SAAE e CAERN. Neste caso são necessários projetos de transposição de águas do aquífero Barreiras das áreas de elevado potencial hidrogeológico, especialmente o trecho situado na porção oriental (leste/NE de Ceará Mirim) para áreas carentes, inclusive as comunidades abrigadas sobre a região de terrenos cristalinos;
- Uso em atividades industriais que incluam a água no produto final (laticínios, conservas, cervejaria, bebidas e sucos), na medida em que a qualidade requerida deve também apresentar elevado padrão físico-químico e sanitário;
- Uso dos recursos hídricos do aquífero Barreiras para aproveitamento como um bem econômico, mediante o maior desenvolvimento da mineração de águas por empresas cujas atividades tenham sido concedidas pelos órgãos competentes, e plenamente licenciadas pelos órgãos ambientais;

- Uso das águas na irrigação para qualquer cultura e solos, tendo em vista a excelente qualidade das águas para esse fim, com predomínio das classes C₁S₁ e C₂S₁.

Diante dos impactos a que estão expostos os recursos hídricos da área estudada, as avaliações e interpretações a respeito das fontes potencialmente poluidoras revelaram os seguintes aspectos:

- A região estudada apresenta uma configuração morfológica que potencialmente favorece a transferência de cargas poluidoras desde os divisores hidrográficos, cruzando as encostas, até a planície aluvial (terraços e talvegue), em que o nível das águas subterrâneas está a menos de 10,00 metros de profundidade;
- O vale do rio Ceará Mirim apresenta grande importância social para o homem do campo local, que em geral é desprovido de emprego e renda fixa, e utiliza os recursos naturais do vale (principalmente solo e água) para sua sobrevivência;
- Os recursos hídricos da área, tendo em vista a sua importância social, econômica e para o desenvolvimento da região como um todo, carecem de uma maior proteção e prevenção contra as modificações de sua qualidade, resultantes de impactos diretos e indiretos advindos da utilização inadequada das águas, e das formas de ocupação, uso do solo e disposição de efluentes e resíduos na superfície;
- A proteção dos recursos hídricos contra as cargas poluidoras provenientes de esgotos e resíduos domésticos e industriais, tanto nas áreas urbanas como rurais, só é seguramente possível com a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos, e disposição e tratamento adequado do lixo produzido;
- A atividade agrícola com a utilização de pesticidas, fertilizantes químicos e irrigação com vinhoto, se constitui na fonte de poluição que ocorre de forma mais difusa, necessitando de maior controle e proteção do solo e das águas. Neste caso é recomendável um conhecimento mais profundo acerca dos mecanismos de poluição no meio hidroambiental, na medida em que praticamente nada se conhece a respeito da influência da aplicação do vinhoto e uso dos pesticidas na qualidade das águas da área.

Portanto, pesquisas e estudos poderão ser conduzidos para uma avaliação mais criteriosa acerca da geração dos poluentes, cargas poluidoras e degradação da qualidade das águas, mediante análise da evolução do processo de poluição/contaminação nas zonas não saturada e saturada. As avaliações e resultados obtidos são de fundamental importância como forma de monitoramento do processo de poluição/contaminação das águas subterrâneas e superficiais, cujas evidências poderão evitar uma degradação generalizada da sua qualidade

físico-química e sanitária. Desta forma será possível uma maior proteção dos mananciais através da aplicação de medidas preventivas, corretivas e de remediação dos sistemas hídricos, embasadas no reordenamento do uso e ocupação do solo, e adequada aplicação e disposição de cargas potencialmente poluidoras na superfície.

8 – CONCLUSÕES

A área estudada caracteriza-se por uma situação complexa e diversificada do ponto de vista geoambiental e econômico de uma maneira geral, e com respeito aos recursos hídricos subterrâneos e superficiais em particular.

Os principais reservatórios de águas subterrâneas e superficiais da bacia hidrográfica do Rio Ceará Mirim (área de 2.635 Km²) situam-se no médio e baixo curso (área de 610 Km², ou 23% da área total), que também engloba dois tipos climáticos de distribuição regional, ou seja, o clima úmido a sub-úmido (precipitações entre 1.000 e 1.200 mm/ano), e o clima semi-árido (precipitações entre 700 e 1.000 mm/ano) numa pequena faixa a oeste.

Na faixa de clima úmido afloram predominantemente as formações geológicas Tércio-Quaternárias que compõem o aquífero Barreiras. É definido como um sistema essencialmente poroso e livre, cujas características de renovabilidade e armazenamento determinam sua elevada potencialidade hidrogeológica, inclusive demonstrando condições de efluência que mantém o vale sob um regime perene entre Ceará Mirim e a costa.

Nesse contexto ocorre também em subsuperfície o aquífero Jandaíra (Cretáceo), que está encoberto e hidraulicamente interconectado com o aquífero Barreiras. O aquífero Jandaíra, por sua vez, representa a camada confinante do aquífero Açu subjacente (também do Cretáceo).

Na faixa de clima semi-árido (entre Taipu e Poço Branco) afloram os aquíferos Cretáceos e o aquífero Cristalino, cujos potenciais hidrogeológicos têm se revelado muito baixos. Neste caso as condições geológicas e climáticas naquele trecho determinam a ocorrência de um vale seco devido a inexistência de fluxo de base, que vem sendo em parte perenizado pelas águas da Barragem de Poço Branco.

O aquífero Açu (no trecho não aflorante) não demonstrou potencial hidrogeológico importante, comparado com os aquíferos Jandaíra e Barreiras. As reservas permanentes estimadas são inferiores a 9,0 milhões de m³, águas de baixa potabilidade, e com limitadas condições hidrogeológicas de renovação.

No caso do aquífero Jandaíra as reservas permanentes são expressivas, da ordem de 660 milhões de m³, sendo esse potencial pouco aproveitável devido a má qualidade físico-química das águas. O aquífero Jandaíra se acha hidraulicamente interconectado ao aquífero Barreiras. Neste caso admite-se que uma maior exploração das águas do aquífero Barreiras também poderá estimular e induzir uma maior renovação e recarga das águas do aquífero Jandaíra.

O aquífero Barreiras representa o mais importante reservatório de água doce e potável, que na área revelou-se como um bem mineral cujo aproveitamento enseja em grande retorno financeiro, tendo em vista a sua excelente qualidade natural dispensar qualquer tipo de tratamento. Este fato tem sido constatado na área, na medida em que já existem empresas que atuam na mineração de águas através da captação, engarrafamento e comercialização como água mineral potável e de mesa.

Destaca-se assim a importância das águas do aquífero Barreiras como um recurso natural de elevado potencial ecológico e econômico na área em apreço. No entanto os fatores geológico-estruturais condicionam diferentes potencialidades hidrogeológicas ao sistema, e definem o setor oriental da área como o mais importante em termos de capacidade de armazenamento do aquífero Barreiras e qualidade das águas.

Foi constatada uma subexploração do aquífero Barreiras, na medida em que as reservas explotáveis são da ordem de **81 milhões m³/ano**, e o volume explotado por poços é de apenas **1,8 milhões m³/ano**.

Isto resulta em condições de efluência das águas subterrâneas, e quase nenhum efeito adicional sobre a variação do nível potenciométrico, que é condicionada apenas às variações climáticas sazonais. A efluência das águas subterrâneas vem propiciando encharcamentos do curso inferior do vale, e ocorrência de fontes e olheiros, favorecendo a perenização do rio neste trecho (leste de Ceará Mirim).

No entanto, os projetos futuros que visem otimizar uma maior exploração do aquífero Barreiras, deverão ser implantados com precauções, mediante avaliações das condições de rebaixamento máximo possível do sistema, como forma de prevenção da intrusão salina. Este fato deve sempre ser considerado, pois trata-se de um aquífero costeiro cuja interface “água doce/água salgada”, embora esteja em equilíbrio, é susceptível de sofrer influência de superbombeamento das águas subterrâneas.

As reservas hídricas superficiais se limitam principalmente às águas da Barragem de Poço Branco, e secundariamente pelas fontes e olheiros.

As lagoas existentes não apresentam condições de aproveitamento para abastecimento público, sendo ocasionalmente utilizadas para usos domésticos menos nobres (lavagem de roupas, utensílios domésticos, etc.), lazer (banho) e consumo animal. As águas liberadas da barragem para os setores a jusante não são potáveis, sendo aproveitadas também para fins menos nobres.

É necessário uma recuperação do principal reservatório superficial (Barragem de Poço Branco) da área estudada, com vistas a favorecer uma maior utilização das águas e uma retomada de sua função sócio-econômica.

Neste caso devem ser instalados dessalinizadores para obtenção de águas para abastecimento humano, de preferência das comunidades situadas no âmbito dos terrenos cristalinos que não têm sido favorecidas pelo “Sistema Adutor Integrado de João Câmara” (Fonte de Pureza), nem pelas adutoras “Agreste/Trairi/Potengi” e “Sertão Central Cabugi”, estas últimas construídas pelo governo do Estado para atender diversos municípios da região agreste (exceto Poço Branco, Taipu e Ceará Mirim).

Nas áreas de ocorrência dos terrenos sedimentares (principalmente dos aquíferos Açú e Jandaíra aflorantes, e do aquífero Barreiras), o uso principal do solo se concentra economicamente na agroindústria canavieira, com alguns setores usados para outras culturas permanentes, temporárias e pastagem, que por sua vez predominam nos terrenos cristalinos.

Tais atividades agrícolas, juntamente com a atividade industrial ligada a produção de açúcar e álcool, além das ocupações residenciais urbanas e rurais, cemitérios, lixões, postos de combustíveis e matadouros, acarretam riscos potenciais de poluição/contaminação dos recursos hídricos da área, principalmente das águas subterrâneas do aquífero Barreiras.

Desta forma as águas podem ser contaminadas pela disposição e lançamento aleatórios (no solo e nos corpos d’água) de efluentes, produtos químicos e resíduos sólidos produzidos no meio urbano e rural, ocasionando a incidência de doenças de veiculação hídrica que podem ser contraídas pela população, como também a geração de impacto e desequilíbrio sobre os ecossistemas terrestres e aquáticos, tais como: perda da fertilidade natural dos solos; mortandade de peixes e crustáceos nas áreas do estuário e mangues; restrições ao uso das águas em diversas atividades industriais; eliminação da potabilidade natural das águas subterrâneas, e outros.

Portanto, em etapas de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos a serem implantados na área, deve-se priorizar de imediato o uso sustentado e a proteção qualitativa e quantitativa do aquífero Barreiras, além de ser estimulado e otimizado o uso racional das águas superficiais da Barragem de Poço Branco.

A proteção qualitativa quanto aos poluentes originados de esgotos (nitratos, microrganismos patogênicos) deverá ser estabelecida com a implantação mais abrangente de sistemas de esgotamento sanitário, inclusive nas comunidades rurais.

Os principais poluentes originados da atividade agrícola (pesticidas, vinhoto, fertilizantes), principalmente usados no plantio de cana de açúcar, exigem que sejam adotadas

formas de proteção dos solos e das águas superficiais e subterrâneas, não só através da redução e controle das taxas de aplicação dos produtos, como também através de alternativas técnicas e menos impactantes, como o incentivo à utilização de adubos orgânicos, controle biológico de pragas e utilização de produtos naturais para combatê-las.

É necessária uma atuação e interferência mais efetivas das diversas esferas do governo (principalmente Estadual e Municipal), com respeito à implantação de um sistema de gerenciamento integrado dos recursos hídricos da bacia, não apenas no trecho do baixo a médio curso, enfocado neste trabalho, como também em toda a sua extensão.

Isto porque o trecho estudado apresenta potencial hidrológico e hidrogeológico que requer um maior controle e proteção dos recursos hídricos, tendo em vista que os mananciais de água doce e potável, ainda existentes, estão sempre sendo ameaçados de degradação pelos impactos gerados nas áreas de montante. Com efeito tem-se que, uma vez afetada a qualidade das águas dos mananciais, os prejuízos ambientais, sociais e econômicos serão incalculáveis, e de difícil remediação.

9 – BIBLIOGRAFIA

- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. (1988) Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, 1988. Anais. p. 753-760.
- ALHEIROS, M. M. & LIMA FILHO, M. F. (1991) A Formação Barreiras. Estudos Geológicos/UFPE. Série B, vol. 10. p. 77-88.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. (1977) Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 1977. Anais. p.363-391.
- AYOADE, J. O. (1983) Introdução à Climatologia para os Trópicos. 3ª Edição. Editora Bertrand Brasil S.A. 332 p.
- CAMPOS, R. A. ; DUARTE, U. (1998) Estudo da Potencialidade Hídrica do Aquífero Sedimentar da Formação Azángaro na Área de Ilave/Puno-Peru.. In: Congresso Latino-americano de Hidrologia Subterrânea, 4, Montevideu, 1998. Anais. Montevideu – Uruguai Volume 1. p. 423-441.
- CASTANY, G. (1975) Prospeccion y explotación de las águas subterráneas. Barcelona. Ediciones Omega, S.A. 738 p.
- CAVALCANTE, I. N. (1998) Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza - Estado do Ceará. São Paulo. 164p. (Tese - Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CELLIGOI, A.; DUARTE, U. (1990) Hidrogeologia da Cidade de Londrina-PR. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 6, Porto Alegre, 1990. Anais. Porto Alegre, p. 64-71.
- COSTA, W. D. (1986) Análise dos Fatores que atuam no Aquífero Fissural – Área piloto dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. São Paulo. 206p. (Tese - Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- COSTA, W. D. (1997) Estudo da Disponibilidade Hídrica da Lagoa do Bonfim no município de Nísia Floresta – RN. Natal/RN, SERHID/COSTA – Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. 83 p.
- CRUZ, E. F. (1983) Geologia do Litoral Oriental Potiguar - Área de Taipu/RN. Natal/RN. 257p. (Relatório de Graduação) - Departamento de Geologia/UFRN.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1983) Hidrologia Subterrânea. Barcelona, Editora Omega. Tomo I.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1983) Hidrologia Subterrânea. Barcelona, Editora Omega. Tomo II.
- DINIZ FILHO, J. B. (1993) Uma Análise Geoestatística da Distribuição de Clásticos Permeáveis em Depósitos Aluviais do Rio Grande do Norte. Recife. 80p. (Dissertação - Mestrado). Centro de Tecnologia, UFPE.
- DNAEE (1983) Glossário de termos Hidrológicos. Brasília – DF. 291 p.
- DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. (1990) Physical and Chemical Hydrogeology. Canada. 24 p.
- DUARTE, M. I. M. (1995) Mapeamento Geológico e Geofísico do Litoral Leste do Rio Grande do Norte: Grande Natal (Área I). Natal/RN. 55p. (Relatório de Graduação). Departamento de Geologia/UFRN.
- DUFFIELD, G. M & RUMBAUGH, J. O (1992) AQTESOLV: Aquifer Test Solver. 55p.
- FEITOSA, E. C. (1996) A Exploração do Aquífero Açú na Região de Mossoró – Caracterização da situação atual e perspectivas de atendimento da demanda futura. Brasília, CPRM, v.01. 44 p.

- FILHO, J. M. (1996) Desenvolvimento e Aplicação de Modelo de Dimensão Fractal para Análise de Testes de Produção de Poços em Meio Fissural. São Paulo. (Tese – Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FONSECA, V. P. (1991) O Registro Sedimentar Fanerozóico do Rio Grande do Norte. Natal/RN. 55p. (Monografia de Especialização). Departamento de Geologia/UFRN.
- FOSTER, S. (1987) Fundamental concepts in Aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. Conf. Vulnerability of Soil And Groundwater to Pollutants. Proc...Noordwijk, The Netherlands.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. (1991) Determinacion del Risco de Contaminacion das Águas Subterrâneas. Una metodologia basada em dados existentes. Lima/Peru, CEPIS Technical Report (OPS-OMS-HPE, CEPIS). 81 p. il.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979) Groundwater. New Jersey/USA. 604 p.
- HIRATA, R. C. A. (1993) Gestão da Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo: Bases técnicas para a implantação de uma política de proteção e controle. São Paulo/SP. 49p. (Exame de Qualificação). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- I.A.A-PLANALSUCAR. Programa Nacional de Melhoramento da Cana de Açúcar/Coordenadoria Regional Norte (1988) Projeto de Utilização Agrícola da Vinhaça – Usina São Francisco, Ceará Mirim/RN. 112 p.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEC/RN) (1991) Informativo Municipal de Ceará Mirim/RN. Natal/RN. 40 p.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEC/RN) (1991) Informativo Municipal de Poço Branco/RN. Natal/RN. 40 p.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEC/RN) (1991) Informativo Municipal de Taipu/RN. Natal/RN. 40 p.

- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEC/RN) (1995) Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Litoral Oriental do Estado do RN. Natal/RN. 83p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET (1992) Normais Climatológicas (1961 –1990). Brasília.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO/IPT (1982) Estudo Hidrogeológico Regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte. São Paulo. Vol. 1. 371 p.
- JARDIM DE SÁ, E. F. (1984) Geologia da Região do Seridó. Reavaliação de Dados. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 11, Natal,1990. Anais. Natal, p. 278-296.
- MABESOONE, J. M. (1972) Caracterização sedimentológica do Grupo Paraíba (Nordeste do Brasil). Estudos Sedimentológicos/UFPE. Vol. 2, p. 53-63.
- MABESOONE, J. M. (1991a) Histórico. Estudos Geológicos/UFPE. Série B, vol. 10, p.11-20.
- McNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. (1979) Water Quality Sourcebook; A guide to Water Quality Parameters. Ottawa – Canadá. 89 p.
- MELO, J. G. (1995) Impactos do Desenvolvimento Urbano nas Águas Subterrâneas de Natal/RN. São Paulo/SP. 196p. (Tese - Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MELO, J. G. (1998) Avaliação dos riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas de Natal/RN - Zona Norte. Natal/RN, Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN)/UFRN. 190p.
- MELO, J. G. & FEITOSA, E. C. (1998) Pesquisa Hidrogeológica do Complexo Lagunar do Bonfim/RN. Relatório Final. Natal/RN, SERHID/UFRN-FUNPEC. 100 p.

- MESTRINHO, S. S. P. (1998) Geoquímica e Contaminação de Águas Subterrâneas. Curso de Treinamento. Natal/RN, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia/UFRN. 102 p.
- MISTRETTA, G. (1984) O Aquífero Jandaíra da Bacia Potiguar. São Paulo. (Dissertação – Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MORAES, J. F. S. (1984) Depósitos de turfa do Nordeste Oriental. In: DNPM: Principais depósitos do Nordeste Oriental. Brasília. Série Geol. Econômica (4): p.409-437.
- MOTA, S. (1995) Preservação e Conservação de Recursos Hídricos. 2ª Edição. Rio de Janeiro, ABES. 200 p.
- NEUMANN, S. P. (1972) Theory of Flow in Unconfined Aquifers Considering Delayed Response of the Water Table. Water Resources Research - A journal of the Sciences of Water. Vol. 8, USP, São Paulo – SP.
- OLIVEIRA, A. I. ; LEONARDOS, O. H. (1940) Geologia do Brasil. DNPM. 450 p.
- PLANAT. Consultoria em Recursos Naturais. (1979) Pesquisa de Mananciais para Abastecimento de Água de João Câmara/RN. Relatório de Conclusão. Natal/RN. 33 p.
- PLANAT. Consultoria em Recursos Naturais. (1979) Pesquisa de Mananciais para Abastecimento de Água de Taipu/RN. Natal/RN. 34 p.
- PROJETO RADAMBRASIL (1981) Levantamento de Recursos Naturais (geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra). Folhas SB. 24/25 – Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro. Volume 23. 744 p.
- RAMOS, F.; Garcia, A; Cleary, R. (1989) Engenharia Hidrológica. Rio de Janeiro, Ed. UFRJ. 404 p.
- REBOUÇAS, A. C. (1994) Gestão Sustentável de grandes aquíferos. In: VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 8, Recife, 1994. Anais. ABAS/Recife, p.131– 139.

REBOUÇAS, A. C. (1997) Água na Região Nordeste: Desperdício e Escassez. Instituto de Estudos Avançados - USP. 11 (29). p.127-154.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ (1995) A Gestão dos Recursos Hídricos no Semi-árido Nordeste – A Experiência Cearense. Fortaleza – CE. 42 p.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE /SERHID-RN (1996) Legislação sobre os Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte. Natal – RN. 64 p.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE /SERHID-RN (1998) Plano Estadual de Recursos Hídricos. Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos do Rio Grande do Norte. Natal/RN. 78 p.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE /SERHID-RN (1998) Plano Estadual de Recursos Hídricos. Caracterização Hidroquímica dos Aquíferos do Rio Grande do Norte e Estudos de Vulnerabilidade. Natal/RN. 52 p.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE /SERHID-RN (1998) Relatório Diagnóstico dos Dados e Informações Disponíveis. Tomo I (Estudos Hidrológicos). Natal/RN.

SECRETARIA DE SAÚDE PÚBLICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (1996) RIO GRANDE DO NORTE (1997) Doenças de Notificação Compulsória. Séries Históricas. Natal – RN.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE/SUDENE (1970) Inventário Hidrogeológico do Nordeste. Folha Nº10 – Jaguaribe/NE. Recife/PE, SUDENE. 343 p.

TAHAL/SONDOTÉCNICA (1969) Aproveitamento Hidro-agrícola das Bacias do Rio Ceará Mirim e da Lagoa de Extremoz/RN. Natal – RN. Volume 1. 131 p.

- TEIXEIRA, J. A. (1988) Modelo Conceitual para Uso e Proteção dos Recursos Hídricos da Faixa Costeira Recife – João Pessoa. São Paulo. 254p. (Tese - Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TODD, D. K. (1959) Hidrologia de Águas Subterrâneas. São Paulo, Edgard Blucher Ltda. 319p.
- TUCCI, C. E. M. (1993) Hidrologia – Ciência e Aplicação. São Paulo - ABES. 150 p.
- VILAÇA, J.G. (1985) Geologia ambiental costeira da região de Extremoz/RN. Natal/RN. (Relatório de Graduação). Departamento de Geologia/UFRN.

ANEXO 01**CADASTRO DOS PONTOS D'ÁGUA**

ANEXO 01 - CADASTRO DOS PONTOS D'ÁGUA

No. Ponto D'água	Município	Local	Proprietário	Coordenadas		Dados de Perfuração			Nível Estático			Uso da Água	Aquífero
				N - S	E - W	Prof. (m)	Q (m³/h)	ND (m)	Prof. (m)	Cota NE (m)	Data		
01	Ceará Mirim	Veados	Franco Bezerra	9.377,499	229,499	68,00	7,00	18,48	16,80	5,00	11.07.97	P	B-J
02	Ceará Mirim	Manguari	Luís de Sena	9.377,4	227,609	100,00	8,50	42,00	6,30	13,7	20.10.97	D - P	A
03	Ceará Mirim	Várzea de dentro I	Comunidade	9.378,643	225,191	94,00	10,91	22,40	2,58	29,42	20.10.97	D - P	A
04	Ceará Mirim	Várzea de dentro II	Comunidade	9.378,667	224,221	66,00	8,00	16,38	15,18	16,82	20.10.97	D - P	J-A
05	Ceará Mirim	Faz. São João	Arnor Fco. Silva	9.379,3	223,7	110,0	9,980	56,50	16,65	17,35	11.07.97	D - P	A
06	Ceará Mirim	Lagoa Grande	SAAE	9.376,644	235,490	19,00	8,0	14,0	9,28	18,32	01.03.98	A P	B
07	Ceará Mirim	Lagoa Grande	comunidade	9.376,723	235,715	17,00	2,25	9,92	5,15	8,36	01.03.98	P - S	B
08	Ceará Mirim	Sítio Tabuão	SAAE	9.375,80	238,002	20,00	4,270	6,30	1,64	12,34	01.03.98	D	B
09	Ceará Mirim	Massangana	Comunidade	9.375,3	239,8	28,00	10,50	-	3,152	16,84	01.03.98	A P	B
10	Ceará Mirim	Faz. São João	Unaldo da Costa	9.376,995	242,286	30,00	5,00	7,20	5,78	7,82	01.03.98	D - P	B
11	Extremoz	Santa Maria	SAAE	9.375,656	245,500	49,00	20,00	19,80	15,95	7,00	01.11.97	A P	B
12	Ceará Mirim	Capela	SAAE	9.379,847	228,769	60,00	9,00	20,00	12,89	9,00	11.07.97	A P	B-J-A
13	Ceará Mirim	Capela	SAAE	9.379,897	228,636	60,00	9,00	22,00	8,25	24,75	11.07.97	A P	B-J-A
14	Ceará Mirim	Matas	SAAE	9.381,733	224,789	68,00	34,80	15,70	15,43	28,57	21.07.97	A P	B - J
15	Ceará Mirim	Faz. Pedregulho	Elmo Teixeira	9.384,390	226,018	49,00	4,00	28,20	11,75	45,00	01.11.97	P	B-J
16	Ceará Mirim	Faz. Pedregulho	Elmo Teixeira	9.380,988	226,011	87,00	4,235	23,41	20,12	15,00	12.10.83	Abandonado	B
17	Ceará Mirim	Lagoa do Cosmo	SAAE	9.382,843	233,576	41,00	21,405	14,30	11,00	30,00	01.03.98	A P	B
18	Ceará Mirim	Eng. Mucuripe	Rui Pereira	9.380,993	234,853	40,00	6,00	18,00	7,10	23,00	01.03.98	D - I	B
19	Ceará Mirim	Rio dos Índios	SAAE	9.381,850	240,038	90,00	15,00	56,00	31,80	6,2	21.07.97	A P	B
20	Ceará Mirim	Rio dos Índios	Escola	9.381,734	240,425	93,00	7,00	44,54	37,60	6,5	01.03.98	D	B
21	Ceará Mirim	R. dos Índ. Baixo	SAAE	9.380,861	241,189	28,50	31,680	2,80	0,0	28,00	01.03.98	A P	B
22	Ceará Mirim	Mineiro	SAAE	9.383,163	224,119	110,00	4,00	47,94	27,34	8,66	01.11.97	A P	J-A
23	Ceará Mirim	Boa Aventura I	Almir Silva	9.383,890	224,723	36,00	1,00	23,95	23,00	40,00	28.07.97	D - P	B
24	Ceará Mirim	Quiri	SAAE	9.382,072	234,124	30,00	4,6	6,312	3,63	28,00	01.03.98	A P	B
25	Ceará Mirim	Dest. Rochagro	Rochagro	9.381,418	237,143	30,00	8,00	12,5	10,9	24,71	28.07.97	I	B
26	Ceará Mirim	Mangabeira	Laecio Vanderley	9.382,997	234,961	72,00	4,00	8,00	33,73	5,27	28.07.97	D - P	B
27	Ceará Mirim	Eng. São Leopoldo	Jorge Cavalcanti	9.381,656	237,334	44,00	6,30	13,00	11,77	26,5	28.07.97	D	B
28	Ceará Mirim	Boa Vista	SAAE	9.381,049	242,935	80,00	7,50	32,00	27,00	20,00	01.03.98	A P	B

Uso da água

D - Domestico

P - Pecuária

S - Sanitário

A P - Abastecimento público

I - Industrial

Aquífero:

B - Barreiras

J - Jandaira

A - Arenito Açú

Al - Aluvião

C - Cristalino

Número do Ponto D'água:

12, 25, 81, etc. - Poço

C1, C13, etc. - Cacimba

F1, F2, etc. - Fonte

ANEXO 01 - CADASTRO DOS PONTOS D'ÁGUA

No. Ponto D'água	Município	Local	Proprietário	Coordenadas		Dados de Perfuração			Nível Estático			Uso da Água	Aqüífero
				N - S	E - W	Prof. (m)	Q (m³/h)	ND (m)	Prof. (m)	Cota NE (m)	Data		
29	Ceará Mirim	Coqueiros	SAAE	9.380,414	244,245	60,00	9,00	16,00	7,07	15,2	01.03.98	A P	B
30	Ceará Mirim	Granja O Grande	Ricardo Cavalcanti	9.374,854	230,551	64,00	8,20	43,405	31,722	-	-	D - P	J
31	Ceará Mirim	Eng. Igarapé	Geraldo Melo	9.377,852	235,279	196,00	12,00	32,07	+ 1,40	29,27	-	P	Açu
32	Ceará Mirim	Raposa	SAAE	9.374,060	241,328	60,00	8,00	-----	15,63	20,37	-	A P	B
33	Ceará Mirim	Nova Esperança	SAAE	9.373,962	243,666	72,00	4,00	16,40	18,40	18,00	-	A P	B
34	Ceará Mirim	Eng. São Leopoldo	Antônio Soares	9.381,75	237,575	57,00	4,80	29,10	28,82	9,18	08.11.97	D	B
35	Ceará Mirim	Dest. Boa Água	Antônio Soares	9.381,392	237,915	40,00	5,00	6,00	3,83	25,30	02.09.97	I	B
36	Ceará Mirim	Faz. Boa Vista	Fernando Melo	9.381,310	242,314	84,00	6,9	22,563	20,04	24,00	01.11.97	D - P	B
37	Ceará Mirim	Capoeira Grande	Flavio Araújo	9.380,716	243,429	86,00	3,789	42,76	28,41	16,0	01.11.97	D - P	B
38	Ceará Mirim	Sítio S. José	Estali Bezerra	9.380,388	243,809	22,00	5,00	14,50	13,07	14,00	01.09.97	D - P	B
39	Ceará Mirim	Escola Coqueiros	Escola	9.380,195	245,326	71,00	6,00	34,55	18,55	16,45	01.11.97	D	B
40	Ceará Mirim	Alto do Sítio	SAAE	9.379,948	245,503	105,00	8,00	33,40	21,00	16,00	01.11.97	A P	B
41	Ceará Mirim	Sítio	Comunidade	9.379,225	245,710	76,00	1,500	58,30	37,00	13,00	02.11.97	D	B
42	Ceará Mirim	Sítio	SAAE	9.379,002	245,840	66,00	8,20	34,20	34,60	8,60	02.11.97	A .P	B
43	Taipu	Duas Passagens	Comunidade	9.380,516	219,926	71,00	2,00	31,96	23,89	19,11	21.07.97	D - P	J
44	Taipu	Faz. Gameleira	Felizardo Moura	9.374,068	214,504	40,00	8,00	22,00	11,60	-	21.07.97	P	C
45	Taipu	Faz. Pitombeira	Neto Elias	9.378,663	219,018	8,00	5,00	3,10	2,80	36,20	21.07.97	P	AL.
46	Extremoz	Capim	SAAE	9.377,870	248,277	79,00	4,00	40,42	38,03	7,00	01.11.97	A P	B
47	Extremoz	Faz. Retiro	Carlos Silva	9.378,118	247,603	60,00	8,00	38,65	38,03	15,20	01.11.97	D	B
48	Extremoz	Faz. Alvorada	Orlando Monteiro	9.378,117	247,145	50,00	4,00	-----	33,00	12,00	-----	Abandonado	B
49	Extremoz	Faz. Alvorada	Orlando Monteiro	9.378,218	247,084	69,00	3,00	37,36	34,60	12,40	01.11.97	D - P	B
50	Extremoz	Faz. Igarassu	Auri	9.378,652	246,659	82,00	4,20	35,17	27,97	10,00	01.03.98	D - P	B
51	Ceará Mirim	Faz. Sta Gertrudes	Jairo Procopio	9.378,784	245,729	60,00	6,00	-----	26,20	11,00	10.09.97	D	B
52	Extremoz	Faz. São Firmino	Marcio Fernandes	9.377,354	249,524	80,00	4,00	39,02	35,42	18,0	19.06.82	D	B
53	Extremoz	Vila de Fátima	SAAE	9.374,850	246,10	34,00	20,50	8,60	4,73	12,3	01.03.98	D	B

Uso da água
D - Domestico
P - Pecuária
S - Sanitário
A P - Abastecimento público
I - Industrial

Aqüífero:
B - Barreiras
J - Jandaira
A - Arenito Açú
Al - Aluvião
C - Cristalino

Número do Ponto D'água:
12, 25, 81, etc. - Poço
C1, C13, etc. - Cacimba
F1, F2, etc. - Fonte

ANEXO 01 - CADASTRO DOS PONTOS D'ÁGUA

No. Ponto D'água	Município	Local	Proprietário	Coordenadas		Dados de Perfuração			Nível d'água			Uso da Água	Aquífero
				N - S	E - W	Prof. (m)	Q (m³/h)	ND (m)	Prof. (m)	Cota NE (m)	Data		
54	Extremoz	Vila de Fátima	Geraldo Cardoso	9.373,771	246,170	30,00	8,00	-	5,80	28,20	21.07.97	D	B
55	Extremoz	Murici	Comunidade	9.373,264	246,158	60,00	11,00	36,00	35,34	22,00	20.10.97	D	B
56	Extremoz	Chc.N.Sra.Fátima	Fausto	9.372,513	247,66	60,00	4,50	48,00	37,37	25,00	21.10.97	D	B
57	Extremoz	Alto Estivas	SAAE	9.372,108	248,350	70,00	2,60	53,70	38,73	14,0	01.11.98	D	B
58	Extremoz	Estivas	SAAE	9.376,876	248,490	60,00	8,00	10,23	7,78	8,02	01.10.97	A-P	B
59	Extremoz	Pedrinhas	SAAE	9.372,438	250,364	70,0	12,0	11,0	8,52	11,00	01.10.97	A -P	B
60	Extremoz	Araça	SAAE	9.375,563	246,406	33,00	14,264	7,04	5,21	7,79	01.03.98	A -P	B
61	Extremoz	Gruta	SAAE	9.371,312	251,604	70,00	12,00	38,00	33,41	13,89	02.11.97	A -P	B
62	Extremoz	Ibiribeira	Arnon	9.376,314	250,418	110,0	2,00	64,08	26,40	15,00	02.11.97	D -P	B
63	Extremoz	Granja S.José	José Cardoso	9.375,040	251,384	60,00	3,00	16,00	13,95	17,00	01.10.97	D -P	B
64	Extremoz	Contenda I	SAAE	9.375,209	251,967	74,00	11,00	23,70	5,06	25,00	01.10.97	A - P	B
65	Extremoz	Contenda II	SAAE	9.375,253	252,145	70,00	15,00	12,04	8,66	15,2	01.10.97	A -P	B
66	Extremoz	Contenda III	SAAE	9.375,112	252,225	70,00	15,00	12,04	8,66	15,2	01.10.97	A .P	B
67	Ceará Mirim	Serrinha	Comunidade	9.370,531	245,535	19,00	1,00	18,00	16,47	22,6	16.10.97	D - P	B
68	Ceará Mirim	Caiana	Ney Fonseca	9.381,624	247,586	40,00	12,00	8,20	5,49	39,20	16.10.97	D -I	B
69	Ceará Mirim	Caiana	Miranda Sá	9.372,000	247,916	44,00	10,00	15,40	7,00	35,00	16.10.97	D P	B
70	Ceará Mirim	Caiana	Comunidade	9.382,000	248,456	50,00	10,00	22,537	7,90	38,00	16.10.97	A P	B
71	Extremoz	Genipabu-Trevo	SAAE	9.371,039	253,865	77,00	18,00	38,00	10,62	16,00	16.10.97	A P	B
72	Ceará Mirim	Us. S. Francisco	Naide Silva	9.377,282	232,708	18,00	9,00	3,50	+0,50	30,5	15.11.97	D	B-J
73	Ceará Mirim	Faz S. José	Hélio Venancio	9.376,372	225,268	80,00	3,00	36,20	19,94	36,00	15.11.97	P	B-J
74	Ceará Mirim	Faz. Betânia	George Câmara	9.380,432	222,249	70,00	10,00	18,00	6,09	25,91	20.11.97	P	B-J
75	Ceará Mirim	Panorama	Elias Fernandes	9.381,00	822,00	67,00	11,00	15,50	16,5	16,00	20.11.97	p	J
76	Taipu	Faz. CajueiroI	Walter Maroja	9.383,208	216,247	50,00	5,00	40,00	24,41	47,00	20.11.97	P	J
77	Taipu	Faz. CajueiroII	Walter Maroja	9.383,400	215,600	50,00	4,00	32,00	25,00	47,00	20.11.97	P	J

Uso da água
D - Domestico
P - Pecuária
S - Sanitário
A P - Abastecimento público
I - Industrial

Aquífero:
B - Barreiras
J - Jandaira
A - Arenito Açú
Al - Aluvião
C - Cristalino

Número do Ponto D'água:
12, 25, 81, etc. - Poço
C1, C13, etc. - Cacimba
F1, F2, etc. - Fonte

ANEXO 01 - CADASTRO DOS PONTOS D'ÁGUA

No. Ponto D'água	Município	Local	Proprietário	Coordenadas		Dados de Perfuração			Nível d'água			Uso da Água	Aquífero
				N - S	E - W	Prof. (m)	Q (m³/h)	ND (m)	Prof. (m)	Cota NE (m)	Data		
78	Taipu	Faz. CajueiroIII	Walter Maroja	9.384,400	215,905	50,00	6,00	38,00	25,00	48,00	20.11.97	P	J
79	Taipu	Faz. CajueiroIV	Walter Maroja	9.383,500	217,45	60,00	6,00	36,00	24,15	48,00	20.11.97	P	J
80	Extremoz	Ag. Min.St Inês	-	9.371,078	253,854	67,64	10,00	3,10	+10	10,00	02.11.97	I	B
81	Extremoz	Gr. Contendas	Eleonora Silva	9.374,700	252,250	65,00	3,00	12,3	9,58	13,8	02.11.97	D-P	B
82	Ceará Mirim	Guaramiranga	Prefeitura	9.376,220	241,458	44,00	17,210	3,45	1,60	9,8	16.08.98	A-P	B
83	Ceará Mirim	Oitizeiro	Prefeitura	9.376,450	243,500	26,00	17,60	1,98	0,00	7,5	12.08.98	A-P	B
84	Ceará Mirim	Serrinha	Prefeitura	9.380,500	246,300	44,00	5,50	27,39	14,32	23,8	20.08.98	A-P	B
85	Taipu	Riacho	-	9381,00	215,4	71,00	0,094	65,00	1,50	46,18	06.01.82	abandonado	B-A
86	Taipu	Ubiratã I	-	9380,30	209,30	60,00	0,150	-	-	-	11.07.81	P	C
87	Taipu	Ubiratã II	-	9381,20	209,40	60,00	2,571	-	7,50	-	18.10.84	P	C
88	Taipu	Sede	-	9378,00	212,80	60,00	0,150	-	-	-	12.06.81	P	C
89	Taipu	Lagoa Nova	-	9382,00	206,40	60,00	1,80	-	6,20	-	21.12.81	P,S,D	C
90	Taipu	Sítio Matão	-	9374,40	217,60	60,00	1,00	-	14,00	-	04.08.81	P,S,D	C
91	Taipu	Chichá	-	9370,30	214,20	60,00	2,25	-	15,00	-	30.08.82	P,S,D	C
92	Poço Branco	Santa Luzia I	-	9379,70	200,10	30,00	0,400	-	-	-	21.10.88	-	C
93	Poço Branco	Lagoa do Serrote	-	9383,30	201,80	63,60	0,857	-	11,85	-	20.11.78	P,S,D	C
94	Poço Branco	Cravo	-	-	-	35,00	0,700	-	17,50	-	28.10.72	-	C
95	Poço Branco	Lagoa do Juazeiro	-	9377,30	199,80	45,00	1,00	-	16,12	-	1993	P	C

Uso da água

D - Domestico

P - Pecuária

S - Sanitário

A P - Abastecimento público

I - Industrial

Aquífero:

B - Barreiras

J - Jandaira

A - Arenito Açú

Al - Aluvião

C - Cristalino

Número do Ponto D'água:

12, 25, 81, etc. - Poço

C1, C13, etc. - Cacimba

F1, F2, etc. - Fonte

ANEXO 01 - CADASTRO DOS PONTOS D'ÁGUA

No. Ponto D'água	Município	Local	Proprietário	Coordenadas		Dados de Perfuração			Nível d'água			Uso da Água	Aquífero
				N - S	E - W	Prof. (m)	Q (m³/h)	ND (m)	Prof. (m)	Cota NE (m)	Data		
96	Poço Branco	Alto do Vermelho	-	9371,70	206,60	45,00	0,818	-	4,97	-	1993	P	C
97	Poço Branco	Santa Luzia II	-	9379,80	199,00	30,60	0,257	-	-	-	22.10.88	P	C
98	Poço Branco	Santa Luzia III	-	9379,10	201,60	23,80	1,00	-	3,82	-	25.10.88	P	C
99	Poço Branco	Pousa	-	9378,40	197,40	39,00	2,00	-	11,50	-	19.11.82	P	C
C1	Ceará Mirim	Mineiro	Zezinho	9.383,696	224,492	15,00	-	-	10,55	38,00	11.07.97	D	B
C2	Ceará Mirim	Sítio Matas	Manoel da Silva	9.384,018	224,423	8,00	-	-	2,25	34,75	11.07.97	D	B
C3	Taipu	Gemeleira	Alice	9.375,067	214,524	18,00	-	-	6,62	36,38	10.09.97	D - P	B
C4	Taipu	Arisco. Gemeleira	Raimundo Rod.	9.376,533	213,311	17,00	-	-	13,25	34,75	10.09.97	D - P	B
C5	Taipu	Arisco. Gemeleira	Gen. Lourenço	9.376,582	213,150	13,00	-	-	12,96	-	10.09.97	D - P	B
C6	Extremoz	Faz. entre rios	Samuel Soares	9.376,981	249,667	37,00	-	-	32,96	-	10.09.97	D - P	B
C7	Extremoz	S. Sebastião	Comunidade	9.373,743	248,020	9,00	-	-	4,12	11,00	11.09.97	D - P	B
C8	Ceará Mirim	Gr. Velho padre	Teresa Cristina	9.381,728	248,900	14,00	-	-	8,88	-	15.11.97	D - P	B
C9	Ceará Mirim	Us. S. Francisco	João da Costa	9.376,686	232,687	14,00	-	-	3,87	5,3	15.11.97	D	B
C10	Ceará Mirim	Faz. União	Geraldo Melo	9.377,652	234,700	15,00	-	-	3,39	5,00	15.11.97	D - P	B
C11	Ceará Mirim	Laranjeira	João Patriota	9.377,729	237,736	5,00	-	-	1,35	4,50	15.11.97	D	B
C12	Ceará Mirim	Faz União	Geraldo Melo	9.377,523	235,056	12,00	-	-	2,49	4,8	17.11.97	D - P	B
C13	Ceará Mirim	Guanabara	Geraldo Melo	9.377,733	237,577	8,00	-	-	1,30	-	17.11.97	D	B
C14	Ceará Mirim	Várzea de dentro	Severino Taburá	9.377,960	226,843	10,00	-	-	4,74	16,00	17.11.97	S	J
C15	Ceará Mirim	Várzea de dentro	Luís Amaro S.	9.378,296	226,794	10,00	-	-	6,36	16,0	17.11.97	S	J
C16	Ceará Mirim	Lagoa Jenipapo	Juvenal Oliveira	9.381,309	229,375	13,00	-	-	8,30	31,00	17.11.97	D	B
C17	Ceará Mirim	Lagoa Jenipapo	Ivan da Silva	9.381,511	229,197	12,00	-	-	8,41	31,00	17.11.97	D	B

Uso da água
D - Domestico
P - Pecuária
S - Sanitário
A P - Abastecimento público
I - Industrial

Aquífero:
B - Barreiras
J - Jandaira
A - Arenito Açú
Al - Aluvião
C - Cristalino

Número do Ponto D'água:
12, 25, 81, etc. - Poço
C1, C13, etc. - Cacimba
F1, F2, etc. - Fonte

ANEXO 01 - CADASTRO DOS PONTOS D'ÁGUA

No. Ponto D'água	Município	Local	Proprietário	Coordenadas		Dados de Perfuração			Nível Estático			Uso da Água	Aqüífero
				N - S	E - W	Prof. (m)	Q (m³/h)	ND (m)	Prof. (m)	Cota NE (m)	Data		
C18	Ceará Mirim	Lagoa Jenipapo	Cícero da Silva	9.381,311	229,153	13,00	-	-	7,83	37,00	17.11.97	D	B
C19	Ceará Mirim	Várzea de dentro	Enoc Dantas	9.378,484	225,917	9,99	-	-	4,00	18,6	17.11.97	D	B
C20	Taipu	Morada Nova	Antônio Soares	9.382,792	219,397	6,00	-	-	4,81	42,00	20.11.97	D	B
C21	Taipu	Olho d'água	José Cardoso	9.383,469	218,226	15,00	-	-	13,00	45,00	20.11.97	D	B
C22	Ceará Mirim	Faz. Betânia	Mauridré de Sousa	9.383,491	220,808	6,00	-	-	3,40	-	26.11.97	D - P	B
C23	Taipu	Morada Nova	Comunidade	9.383,172	219,100	4,90	-	-	7,00	40,00	26.11.97	D	B
C24	Taipu	Matão	Sebastião Carvalho	9.374,531	217,542	20,00	-	-	6,08	40,92	26.11.97	D - P	B
C25	Taipu	Riachão	Aluizio Miranda	9.381,577	216,004	7,50	-	-	5,85	38,40	26.11.97	D	B
C26	Taipu	Cachoeira	Mª do Carmo	9.382,032	217,943	15,00	-	-	13,35	32,45	26.11.97	D	B
C27	Taipu	Cachoeira	Terezinha Araújo	9.381,393	218,097	12,00	-	-	9,00	36,00	26.11.97	D	B
C28	Taipu	Sítio Bom Jesus	Mário Ferreira	9.383,394	214,268	15,00	-	-	12,58	43,00	26.11.97	D	B
C29	Taipu	Riacho	José Joaquim Silva	9.383,070	215,227	11,00	-	-	9,60	42,00	26.11.97	D - P	B
C30	Taipu	Sta. Isabel	Valdomiro	9.382,729	212,003	12,00	-	-	1,35	42,00	26.11.97	D	B
C31	Taipu	Lagoa do Mato	Mauridré de Faria	9.382,50	220,300	10,00	-	-	4,57	-	26.11.97	P	B
C32	Ceará Mirim	Capela	Mª Fátima Silva	9.380,316	228,819	7,00	-	-	5,66	31,3	26.11.97	D - P	B
C33	Ceará Mirim	Mineiro	João Silva	9.383,150	224,115	5,00	-	-	2,50	41,00	26.11.97	D - P	B
F1	Ceará Mirim	Divisão	-	9.374,4	231,2	0,50	-	-	0,0	9,00	17.11.97	D - P	B
F2	Ceará Mirim	Nascente	Roberto Varela	9.380,9	226,7	0,80	-	-	0,0	14,0	17.11.97	D - P	B
F3	Ceará Mirim	Santa Teresa	SAAE	9.380,8	237,2	1,00	-	-	0,0	20,00	17.11.97	A - P	B
F4	Ceará Mirim	Ilha Bela	Geraldo Melo	9.381,093	236,457	0,50	-	-	0,0	-	17.11.97	D - P	B
F5	Ceará Mirim	Guanabara	Geraldo Melo	9.378,993	237,301	0,50	-	-	0,0	10,50	17.11.97	D - P	B

Uso da água

D - Domestico
P - Pecuária
S - Sanitário
A P - Abastecimento público
I - Industrial

Aqüífero:

B - Barreiras
J - Jandaira
A - Arenito Açú
Al - Aluvião
C - Cristalino

Número do Ponto D'água:

12, 25, 81, etc. - Poço
C1, C13, etc. - Cacimba
F1, F2, etc. - Fonte

ANEXO 02

2.1.1 e 2.1.2 - Parâmetros Físico-Químicos das Águas Subterrâneas e Superficiais

Anexo 2.1.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Nº do Ponto D'água	CÁTIONS Mg/l					ÂNIONS Mg/l							Aquífero	DATA
	Na ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Fe ⁺²	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	CO ₃ ⁻²	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻		
01	285,71	324,38	147,89	16,67	0,01	593,69	944,44	231,1	0,00	0,00	0,01	29,06	Bar.-Jand.	20.04.98
03	200,00	52,89	38,14	18,34	0,00	248,09	130,76	267,00	0,00	0,03	0,00	0,00	Açu	18.12.80
04	180,00	54,82	35,81	15,50	0,00	234,54	108,16	268,00	0,00	0,50	0,01	0,06	Jand.-Açu	25.08.82
05	265,63	97,10	81,46	15,56	0,04	522,44	149,53	333,95	0,00	0,03	0,03	5,82	Açu	28.04.98
06	175,00	96,07	69,56	9,50	0,01	539,41	17,19	108,43	0,00	0,05	0,01	30,06	Barreiras	07.04.98
08	9,50	21,95	7,77	4,50	0,44	14,30	0,89	108,43	0,00	0,12	0,01	0,11	Barreiras	28.12.84
09	12,31	1,24	0,88	4,69	0,01	20,35	0,15	12,52	0,00	0,08	0,00	0,91	Barreiras	20.04.98
10	15,38	21,90	10,28	3,44	0,06	27,14	1,23	105,95	0,00	0,00	0,00	1,10	Barreiras	20.04.98
11	5,54	14,67	6,89	3,85	0,02	13,89	1,87	72,50	0,00	0,00	0,18	0,67	Barreiras	21.05.98
13	50,00	37,18	20,05	4,64	0,16	87,36	12,45	155,19	0,00	0,03	0,02	15,58	B.-J.-Açu	21.05.98
14	29,17	20,08	12,42	7,00	0,10	32,04	10,19	62,00	0,00	0,17	0,00	75,88	Bar.-Jand.	30.12.85
15	7,26	1,64	0,62	0,25	0,15	6,99	2,78	13,00	0,00	0,00	0,01	0,00	Bar.-Jand.	24.04.87
16	7,26	1,64	0,62	0,25	0,15	6,99	2,78	12,27	0,00	0,00	0,01	0,00	Barreiras	24.04.87
17	16,80	35,12	4,01	2,27	0,02	30,53	0,92	107,81	0,00	0,00	0,00	19,91	Barreiras	16.04.98
20	10,00	1,22	0,99	0,50	0,35	14,29	4,25	6,88	0,00	0,00	0,06	0,18	Barreiras	27.02.85
21	7,20	3,72	0,50	4,61	0,01	14,56	0,00	15,74	0,00	0,00	0,00	0,67	Barreiras	07.04.98
22	175,81	224,70	83,50	20,00	0,00	181,54	828,95	210,00	0,00	0,04	0,01	0,68	Jand.-Açu	19.03.84
23	19,23	5,34	3,12	3,00	1,62	17,38	7,73	48,50	0,00	0,00	0,00	0,00	Barreiras	19.03.92
24	33,33	2,39	3,38	6,53	0,46	62,56	2,30	0,00	0,00	0,14	0,00	14,00	Barreiras	29.01.95
26	10,98	1,86	0,50	0,26	0,10	10,72	1,79	9,52	0,00	0,00	0,01	7,27	Barreiras	30.12.86
26	11,15	5,16	1,00	0,38	0,08	20,35	2,27	12,89	0,00	0,07	0,00	6,48	Barreiras	28.04.98
27	6,15	15,08	1,88	4,69	0,01	11,87	0,31	53,04	0,00	0,10	0,00	0,38	Barreiras	20.04.98
29	13,60	13,63	3,01	2,27	0,01	27,14	0,46	40,52	0,00	0,04	0,00	12,09	Barreiras	13.04.98
30	193,75	207,20	92,05	6,25	0,00	491,38	348,51	250,00	0,00	0,00	0,80	22,41	Jandaíra	19.02.91
31	356,32	143,29	52,88	18,76	0,00	653,30	308,23	163,00	0,00	0,04	0,00	0,00	Açu	22.01.81
32	8,64	0,41	0,63	3,64	0,00	16,80	0,00	4,40	0,00	0,06	0,00	0,39	Barreiras	18.05.98

Anexo 2.1.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais (continuação)

Nº do Ponto D'água	CÁTIONS Mg/l					ÂNIONS Mg/l							Aqüífero	DATA
	Na ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Fe ⁺²	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	CO ₃ ⁻²	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻		
33	9,00	2,23	1,72	0,00	0,00	11,54	4,21	11,35	0,00	0,08	0,05	1,33	Barreiras	12.06.85
34	6,73	1,28	0,32	1,04	0,00	7,15	0,36	10,56	0,00	0,21	0,01	1,42	Barreiras	30.12.86
36	17,03	1,98	1,44	0,00	0,10	24,33	0,00	12,42	0,00	0,02	0,00	1,12	Barreiras	-
37	0,00	1,01	2,46	0,00	0,00	19,13	4,44	8,04	0,00	0,12	0,00	0,00	Barreiras	28.06.80
39	12,00	11,58	0,49	0,25	0,76	7,09	5,54	53,63	0,00	0,22	0,02	0,26	Barreiras	28.12.84
40	6,40	3,17	1,20	0,21	0,00	9,56	0,68	13,40	0,00	0,05	0,00	0,00	Barreiras	19.08.80
41	21,00	25,50	5,85	1,30	0,72	14,38	30,94	98,74	0,00	0,17	0,02	0,31	Barreiras	14.08.85
43	244,00	231,40	142,87	16,80	0,03	943,11	73,46	275,71	0,00	0,01	0,04	20,00	Açu	07.04.98
45	800,00	92,97	102,77	1,36	0,01	1272,20	85,09	584,76	0,00	0,03	0,02	0,00	Aluvião	13.04.98
46	12,00	2,53	1,78	1,00	0,00	13,44	9,36	1,64	0,00	0,46	0,01	0,93	Barreiras	16.03.84
46	7,69	0,41	0,75	0,91	0,01	13,22	0,16	6,40	0,00	0,05	0,00	2,33	Barreiras	18.05.98
49	8,50	0,64	5,46	1,00	0,00	10,28	2,50	32,40	0,00	0,08	0,00	0,00	Barreiras	19.11.82
50	7,00	14,62	0,61	,075	0,00	14,35	1,54	30,03	0,00	0,04	0,02	0,00	Barreiras	17.06.83
52	8,00	1,10	0,67	3,50	0,00	11,08	0,23	3,20	0,00	0,12	0,00	0,06	Barreiras	24.08.82
53	5,66	10,40	0,48	1,03	0,10	7,94	0,82	37,84	0,00	0,00	0,00	0,44	Barreiras	07.08.81
55	4,61	21,28	1,25	0,31	0,02	8,48	18,77	40,52	0,00	0,00	0,00	1,62	Barreiras	20.04.98
56	13,84	15,54	0,77	9,09	0,28	15,56	2,24	24,60	0,00	0,00	0,08	13,44	Barreiras	06.09.96
60	10,89	5,15	2,74	2,09	0,09	12,22	0,75	37,31	0,00	0,00	0,01	1,58	Barreiras	08.04.87
61	10,00	0,83	1,00	1,54	0,00	16,80	0,47	3,27	0,00	0,00	0,00	3,88	Barreiras	21.05.98
63	10,38	0,41	0,87	1,36	0,00	18,48	0,16	2,14	0,00	0,27	0,00	3,43	Barreiras	18.05.98
70	6,40	0,62	1,25	0,91	0,01	13,57	0,31	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	Barreiras	16.04.98
75	276,19	97,11	80,21	13,33	0,00	593,69	68,42	314,12	0,00	0,00	0,02	3,26	Jandaíra	20.04.98
76	277,83	229,34	229,35	23,16	0,00	1314,21	39,84	294,78	0,00	0,00	0,00	5,20	Jandaíra	21.05.98

Anexo 2.1.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais (continuação)

Nº do Ponto D'água	CÁTIONS Mg/l					ÂNIONS Mg/l							Aquífero	DATA
	Na ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Fe ⁺²	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	CO ₃ ⁻²	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻		
80	8,46	1,65	1,88	4,55	0,00	16,80	0,47	13,97	0,00	0,06	0,00	1,40	Barreiras	18.05.98
81	10,00	0,62	0,75	2,27	0,00	18,48	0,00	3,40	0,00	0,07	0,00	1,91	Barreiras	18.05.98
82	10,00	19,26	9,45	8,67	0,17	20,26	2,50	96,54	0,00	0,00	0,00	0,74	Barreiras	03.09.98
83	9,23	14,34	6,71	8,67	0,04	21,95	1,33	74,35	0,00	0,00	0,00	0,66	Barreiras	03.09.98
84	8,80	5,78	1,50	0,91	0,51	16,80	0,95	16,68	0,00	0,10	0,03	6,08	Barreiras	14.07.98
87	454,88	37,00	59,45	30,98	0,00	616,34	118,44	455,22	7,28	0,15	0,00	0,00	Cristalino	14.12.84
91	891,32	76,30	115,72	46,71	0,00	1666,70	117,87	85,30	0,00	0,04	0,13	107,37	Cristalino	06.09.82
95	833,93	238,78	144,85	57,35	0,16	1973,13	80,21	158,39	0,00	0,00	0,01	101,83	Cristalino	21.09.93
96	1521,00	402,95	425,04	151,04	5,07	3845,92	542,27	311,19	0,00	0,05	0,04	4,97	Cristalino	20.09.93
97	1455,19	353,55	765,62	16,05	0,27	4949,38	132,20	84,83	0,00	0,00	0,05	36,36	Cristalino	09.11.88
98	305,99	15,82	44,52	8,21	0,25	438,78	57,78	63,26	0,00	0,01	0,05	204,00	Cristalino	09.11.88
99	765,62	638,56	476,27	33,78	0,00	3462,50	60,80	205,00	2,50	0,04	0,04	32,58	Cristalino	29.11.82

Anexo 2.1.1 - Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais (continuação)

Nº do Ponto D'água	CÁTIONS Mg/l					ÂNIONS Mg/l							Aqüífero	DATA
	Na ⁺¹	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Fe ⁺²	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	CO ₃ ⁻²	NH ₃	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻		
F5	35,00	0,82	3,76	6,92	0,02	73,93	2,03	2,39	0,00	0,05	0,00	0,21	Barreiras	18.05.98
C5	191,66	8,26	7,02	17,40	0,00	258,74	24,76	17,62	0,00	0,00	0,01	85,06	Barreiras	21.05.98
C11	17,80	51,65	21,81	9,61	2,24	70,93	10,70	192,58	0,00	0,00	0,00	6,86	Barreiras	21.05.98
C15	400,5	179,75	194,1	9,62	0,10	1110,1	96,2	248,6	0,00	0,00	0,00	50,70	Jandaíra	28.04.98
C21	22,86	26,23	2,48	5,00	0,42	37,14	3,18	68,21	0,00	0,00	0,00	28,57	Barreiras	24.08.98
C23	37,14	11,47	3,98	13,50	2,98	74,28	13,33	11,28	0,00	0,00	0,00	20,57	Barreiras	24.08.98
C26	583,33	69,67	151,64	80,77	0,60	1330,22	40,91	13,79	0,00	0,00	0,00	49,31	Barreiras	24.08.98
C27	113,03	20,89	14,17	15,50	0,71	178,94	36,36	77,74	0,00	0,12	0,03	29,34	Barreiras	24.08.98
C29	114,70	11,26	29,83	23,33	0,82	268,41	2,38	14,29	0,00	0,42	0,07	17,56	Barreiras	24.08.98
Barra-gem P. Branco	163,04	40,98	54,68	13,50	0,74	403,45	15,23	85,76	0,00	0,14	0,06	3,58	-	24.08.98
Lagoa Jenipapo	345,81	15,49	16,92	55,26	2,65	491,89	18,37	263,06	0,00	0,48	0,00	8,36	-	21.05.98
Lagoa do Manguari	700,00	361,56	373,48	33,15	0,06	2629,19	162,50	199,38	0,00	0,10	0,00	0,00	-	16.04.98
Rio Ceará Mirim	172,05	85,74	69,56	6,92	0,04	454,37	43,75	216,99	0,00	0,00	0,36	23,27	-	21.05.98

Anexo 2.1.2 – Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais– área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN (continuação).

Nº do Ponto D'água	Alcalinidade Bicarbonato (mg/l, CaCO ₃)	Dureza (mg/l CaCO ₃)	pH	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	Aqüífero	Data
01	218,31	1189,2	7,75	2663,2	2797,4	Bar.-Jand.	19.10.83
03	243,37	289,12	8,2	1295,8	904,4	Açu	18.12.90
04	244,41	289,34	8,2	977,8	830,0	Jand.-Açu	25.08.82
05	273,73	577,91	7,8	2185,0	1442,8	Açu	28.04.98
06	88,88	526,31	7,2	1707,0	1212,4	Barreiras	07.04.98
08	86,80	86,80	8,25	174,9	141	Barreiras	28.12.84
09	6,71	6,71	5,5	116,0	89,6	Barreiras	20.04.98
10	86,84	97,01	7,1	273,12	167	Barreiras	20.04.98
11	59,42	65,01	6,7	175,0	105,4	Barreiras	21.05.98
13	127,20	175,4	6,8	470,4	342,2	B.-J.-Açu	21.05.98
14	49,90	101,3	8,0	361,4	265,6	Bar.-Jand.	30.12.85
15	10,06	6,60	6,55	48,64	57,2	Bar.-Jand.	24.04.87
16	10,06	6,66	6,55	48,6	57,2	Barreiras	24.04.87
17	88,36	104,23	7,2	279,9	141,4	Barreiras	16.04.98
20	5,64	4,56	6,7	46,8	52	Barreiras	27.02.85
21	12,90	11,35	5,9	88,7	72	Barreiras	07.04.98
22	192,05	904,0	8,0	1695,9	1722,6	Jand.-Açu	19.03.84
23	39,75	26,21	7,2	130,7	516,8	Barreiras	19.03.92
24	0,00	19,90	4,5	239,4	125,2	Barreiras	29.01.95
26	7,52	6,70	6,6	82,1	60,4	Barreiras	30.12.86
26	10,56	17,03	6,3	102,4	53,4	Barreiras	28.04.98
27	43,47	45,41	7,2	134,2	107,2	Barreiras	20.04.98
29	33,21	46,44	6,8	188,9	98,8	Barreiras	13.04.98
30	205,73	896,4	6,4	2394,0	1686,4	Jandaíra	19.02.91
31	142,20	575,6	8,0	2544,0	1816,8	Açu	22.01.81
32	3,60	3,61	5,3	71,6	25,6	Barreiras	18.05.98
33	9,30	12,64	6,5	51,7	23,6	Barreiras	12.06.85
34	8,66	4,51	6,7	48,6	30,4	Barreiras	30.12.86
36	10,18	11,14	5,6	129,2	69	Barreiras	18.06.90
37	10,57	12,64	6,6	78,7	101,2	Barreiras	28.06.80
39	43,96	30,96	7,9	81,9	76,4	Barreiras	28.12.84
40	11,96	12,88	7,1	69,2	42,8	Barreiras	19.08.80
41	80,93	87,76	7,5	186	184	Barreiras	14.08.85
43	225,9	1166,1	7,1	2685,6	2247,8	Açu	07.04.98
45	479,31	655,3	7,5	4210,6	2744,2	Aluvião	13.04.98
46	11,42	13,65	6,4	84	170,4	Barreiras	16.03.84
46	1,34	4,13	5,3	54,6	26	Barreiras	18.05.98
49	21,39	24,07	8,7	73,1	68,8	Barreiras	19.11.82
50	32,51	39,02	7,9	81	87,6	Barreiras	17.06.83
52	12,43	5,52	6,6	52,5	55,6	Barreiras	24.08.82
53	31,02	27,97	6,95	75,8	32	Barreiras	07.08.81
55	33,21	58,31	6,75	154,7	94	Barreiras	20.04.98

Anexo 2.1.2 – Parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas e superficiais (continuação).

Nº do Ponto D'água	Alcalinidade Bicarbonato (mg/l, CaCO ₃)	Dureza (mg/l CaCO ₃)	pH	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/l)	Aquífero	Data
56	0,00	41,97	11,0	159,3	118,4	Barreiras	06.09.96
60	30,58	23,58	6,45	83,6	53,6	Barreiras	08.04.87
61	2,68	6,19	5,5	89,9	41,8	Barreiras	21.05.98
63	1,75	4,64	5,4	63,7	16	Barreiras	18.05.98
70	1,02	6,71	5,5	49,5	11,4	Barreiras	16.04.98
75	257,48	572,6	7,5	2162,2	1551,8	Jandaíra	20.04.98
76	241,62	1517,0	7,6	3231,9	2945,0	Jandaíra	21.05.98
80	13,97	11,86	5,9	81,9	43,8	Barreiras	18.05.98
81	2,78	4,64	6,4	70,5	38,8	Barreiras	18.05.98
82	79,13	87,00	7,7	186,6	145,6	Barreiras	03.09.98
83	60,94	63,45	7,1	168,4	142,8	Barreiras	03.09.98
84	13,67	20,64	6,1	66,0	119,2	Barreiras	14.07.98
87	373,13	337,2	8,4	2019,3	1598,6	Cristalino	14.12.84
91	74,28	666,9	7,7	4173,8	3279,4	Cristalino	06.09.82
95	129,83	1192,7	6,5	6460,0	3917,4	Cristalino	21.09.93
96	255,07	2758,1	6,4	11700,0	7876,0	Cristalino	20.09.93
97	69,53	4035,0	6,0	12768,0	10929,2	Cristalino	09.11.88
98	51,85	220,4	6,1	1854,4	1257,0	Cristalino	09.11.88
99	192,4	3555,5	7,5	7473,0	7888,2	Cristalino	29.11.82
F5	1,95	17,54	5,0	254,9	174,6	Barreiras	18.05.98
C5	14,44	49,53	5,7	892,8	675	Barreiras	21.05.98
C11	157,85	218,78	7,1	529,1	384,4	Barreiras	21.05.98
C15	203,75	1062,9	7,3	3345,7	2395,2	Jandaíra	28.04.98
C21	55,91	75,74	6,6	284,5	171,2	Barreiras	24.08.98
C23	9,25	45,03	5,3	307,2	302,8	Barreiras	24.08.98
C26	11,30	798,33	5,9	2958,8	2790,8	Barreiras	24.08.98
C27	63,72	110,54	7,4	705,5	472	Barreiras	24.08.98
C29	11,71	150,97	6,5	819,3	605,2	Barreiras	24.08.98
Barragem de Poço Branco	70,30	332,6	7,6	1183,5	860,0	-	24.08.98
Lagoa do Jenipapo	215,63	108,4	7,4	1957,3	1635,0	-	21.05.98
Lagoa do Manguari	163,42	2440,6	7,4	5576,2	5197,2	-	16.04.98
Rio Ceará Mirim	177,86	500,5	7,6	1615,9	1128,8	-	21.05.98

ANEXO 02

2.2 – Características Físicas das águas subterrâneas

Anexo 2.2 – Características físicas das águas subterrâneas – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Ponto d'água	Aquífero	Temp. (°C)	Cor Limite: 30	Odor Limite: Não objetável (NO)	Sabor Limite: Não objetável (NO)	Turbidez Limite:5 uT	STD (mg/l)
01	B – J	26	0,00	NO	salobra	0,00	2555,40
03	A	28,5	2,00	NO	NO	0,20	928,40
04	J - A	20	2,50	NO	NO	0,45	831,20
05	A	27	2,50	NO	salobra	0,05	1442,80
06	B	27,5	0,00	NO	NO	0,20	1212,00
08	B	21,00	0,00	NO	NO	0,25	141,00
09	B	26	0,00	NO	NO	0,00	89,60
10	B	26	0,00	NO	NO	0,15	167,00
11	B	27,5	0,00	NO	NO	0,15	72,40
13	B-J-A	25	0,00	NO	NO	0,20	364,00
14	B – J	22	2,50	NO	NO	0,75	271,60
15	B - J	22,40	5,00	NO	NO	3,17	57,20
16	B	22,4	5,00	NO	NO	3,17	57,20
17	B	27	0,00	NO	NO	0,25	141,40
20	B	20	20,00	NO	NO	3,33	52,00
21	B	26	0,00	NO	NO	0,00	72,00
22	J - A	23	25,00	NO	NO	0,10	1818,40
23	B	25	>100	NO	NO	76,25	245,00
24	B	28	2,50	NO	NO	0,40	125,20
26	B	23	5,00	NO	NO	0,75	53,40
26	B	27	2,50	NO	NO	0,70	60,40
27	B	26	0,00	NO	NO	0,00	107,20
29	B	27	0,00	NO	NO	0,30	98,80
30	J	25	50,00	NO	NO	5,25	1738,8

Anexo 2.2 – Características físicas das águas subterrâneas (continuação)

Ponto d'água	Aquífero	Temp. (°C)	Cor Limite: 30	Odor Limite: Não objetável (NO)	Sabor Limite: Não objetável (NO)	Turbidez Limite: 5 uT	STD (mg/l)
31	A	29	5,00	NO	salobra	0,90	1834,40
32	B	28	0,00	NO	NO	0,00	25,60
33	B	18	5,00	NO	NO	4,20	23,60
34	B	23	2,50	NO	NO	0,55	30,40
36	B	23	2,50	NO	NO	0,15	69,00
37	B	27	50,00	NO	NO	45,50	60,80
39	B	21	35	NO	NO	10,00	50,40
40	B	27	5,00	NO	NO	2,50	31,20
41	B	21	100	NO	NO	35,55	179,80
42	B	21	100	NO	NO	35,55	178,80
43	A	26	0,00	NO	salobra	0,75	2247,80
45	Aluvião	27	0,00	NO	salobra	0,15	2744,20
46	B	23	>100	NO	NO	0,50	160,80
46	B	28	0,00	NO	NO	0,10	26,00
49	B	24	7,50	NO	NO	3,05	21,60
50	B	23	2,50	NO	NO	2,00	81,40
52	B	24	2,50	NO	NO	0,45	29,00
53	B	27	0,00	NO	NO	0,00	0,00
55	B	26	0,00	NO	NO	0,15	94,00
56	B	25	7,50	NO	NO	6,20	103,60
60	B	21,7	0,00	NO	NO	0,50	33,00
61	B	27,5	0,00	NO	NO	0,00	41,80
63	B	28	0,00	NO	NO	0,00	16,00
70	B	27	0,00	NO	NO	0,10	11,40
75	J	26	0,00	NO	salobra	0,25	1551,80
76	J	27,5	0,00	NO	salobra	0,00	2945,00

Anexo 2.2 – Características físicas das águas subterrâneas (continuação)

Ponto d'água	Aqüífero	Temp. (°C)	Cor Limite: 30	Odor Limite: Não objetável (NO)	Sabor Limite: Não objetável (NO)	Turbidez: Limite: 5 uT	STD (mg/l)
80	B	28	0,00	NO	NO	0,00	43,80
81	B	28	0,00	NO	NO	0,00	38,40
82	B	23	0,00	NO	NO	0,00	145,60
83	B	26	0,00	NO	NO	0,00	142,80
84	B	25	17,50	NO	NO	6,00	74,60
87	C	21	5,00	NO	NO	0,90	1605,60
91	C	23	5,00	NO	salgada	1,30	3420,40
95	C	26	2,50	NO	salgada	0,25	3917,40
96	C	26	> 100	NO	salgada	50,00	8133,20
97	C	24,1	100	NO	salgada	50,00	11206,00
98	C	24,1	> 100	NO	NO	23,00	1564,00
99	C	26	2,50	NO	salgada	4,20	7907,20
F5		27,5	0,00	NO	NO	0,25	174,60
C5	B	25	0,00	NO	NO	0,00	675,00
C11	B	27,5	>100	NO	NO	34,44	313,80
C15	J	28,00	7,5	NO	salobra	1,28	2436,80
C21	B	24	0,00	NO	NO	0,00	171,20
C26	B	24	0,00	NO	NO	0,00	2790,8
C27	B	26	7,50	NO	NO	3,83	462,40
C29	B	26	7,50	NO	NO	4,20	562,60

ANEXO 02

2.3 – Tipos de águas, classes quanto a Dureza, classes de Potabilidade segundo Schoeller, classes de água para irrigação

Anexo 2.3 – Tipos de águas, classes quanto a Dureza, Classes de Potabilidade segundo Schoeller, Classes de água para Irrigação – área do baixo a médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Ceará Mirim/RN.

Ponto d'água	Aquífero	Tipo de água	Dureza	Potabilidade	Classe para irrigação
01	B – J	SO ₄ -Cl-Ca- Mg	Muito Dura	Má	C ₄ S ₄
03	A	Cl – HCO ₃ -Na	Muito Dura	Passável	C ₃ S ₂
04	J - A	Cl – HCO ₃ - Na	Muito Dura	Passável	C ₃ S ₂
05	A	Cl - Na	Muito Dura	Medíocre	C ₃ S ₃
06	B	Cl – Na - Mg	Muito Dura	Medíocre	C ₃ S ₃
08	B	Cl - Ca - Mg	Pouco Dura	Boa	C ₁ S ₁
09	B	Cl - Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
10	B	HCO ₃ – Ca – Mg	Pouco Dura	Boa	C ₂ S ₁
11	B	HCO ₃ – Ca – Mg	Pouco Dura	Boa	C ₁ S ₁
13	B-J-A	HCO ₃ -Cl-Na-Ca	Dura	Boa	C ₂ S ₁
14	B - J	HCO ₃ -Cl-Na-Mg	Dura	Boa	C ₂ S ₁
15	B - J	HCO ₃ -Cl-Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
16	B	HCO ₃ – Na	Branda		C ₁ S ₁
17	B	HCO ₃ – Ca	Dura	Boa	C ₂ S ₁
20	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
21	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
22	J - A	SO ₄ – Ca - Na	Muito Dura	Má	C ₃ S ₃
23	B	HCO ₃ – Na	Branda	Passável	C ₁ S ₁
24	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
26	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
26					
27	B	HCO ₃ –Ca	Branda	Boa	C ₁ S ₁
29	B	Cl – HCO ₃ – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
30	J	Cl – Ca - Na	Muito Dura	Medíocre	C ₄ S ₃
31	A	Cl - Na	Muito Dura	Medíocre	C ₄ S ₄
32	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
33	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁

Anexo 2.3 – Tipos de águas, classes quanto a Dureza, Classes de Potabilidade segundo Schoeller, Classes de água para Irrigação (continuação).

Ponto d'água	Aquífero	Tipo de água	Dureza	Potabilidade	Classe para irrigação
34	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
36	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
37	B	Cl – Mg	Branda	Boa	C ₁ S ₁
39	B	HCO ₃ – Ca	Branda	Boa	C ₁ S ₁
40	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
41	B	HCO ₃ – Ca – Na	Pouco Dura	Boa	C ₁ S ₁
42	B				
43	A	Cl – Mg - Ca	Muito Dura	Má	C ₄ S ₃
45	Aluvião	Cl - Na	Muito Dura	Má	C ₄ S ₄
46	B	Cl – Na	Branda	Boa	
49	B	HCO ₃ – Mg	Branda	Boa	C ₁ S ₁
50	B	HCO ₃ – Ca	Branda	Boa	C ₁ S ₁
52	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
53	B	HCO ₃ – Ca	Branda	Boa	C ₁ S ₁
55	B	HCO ₃ – Ca	Pouco Dura	Boa	C ₁ S ₁
56	B	Cl-HCO ₃ -Na-Ca	Branda	Boa	C ₂ S ₁
60	B	HCO ₃ – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
61	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
63	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
70	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
75	J	Cl - Na	Muito Dura	Medíocre	C ₃ S ₂
76	J	Cl – Mg - Na	Muito Dura	Má	C ₄ S ₄
80	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
81	B	Cl – Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
82	B	HCO ₃ –Ca-Mg-Na	Pouco Dura	-	C ₁ S ₁
83	B	HCO ₃ – Ca - Na	Pouco Dura	-	C ₁ S ₁
84	B	Cl - Na - Ca	Branda	-	C ₁ S ₂

Anexo 2.3 – Tipos de águas, classes quanto a Dureza, Classes de Potabilidade segundo Schoeller, Classes de água para Irrigação (continuação).

Ponto d'água	Aquífero	Tipo de água	Dureza	Potabilidade	Classe para irrigação
87	C	Cl - Na	Muito Dura	Medíocre	C ₃ S ₂
91	C	Cl - Na	Muito Dura	Momentânea	C ₄ S ₄
95	C	Cl - Na	Muito Dura	Momentânea	C ₄ S ₄
96	C	Cl - Na	Muito Dura	Momentânea	C ₅ S ₄
97	C	Cl - Na - Mg	Muito Dura	Momentânea	C ₅ S ₄
98	C	Cl - Na	Muito Dura	Medíocre	C ₃ S ₃
99	C	Cl - Mg - Na	Muito Dura	Momentânea	C ₅ S ₄
F5	B	Cl - Na	Branda	Boa	C ₁ S ₁
C5	B	Cl - Na	-	-	-
C11	B	HCO ₃ - Ca - Mg	Muito Dura	Boa	C ₂ S ₁
C15	J	Cl - Na - Mg	Muito Dura	Má	C ₄ S ₄
C21	B	HCO ₃ - Ca - Na	Pouco Dura	Boa	C ₂ S ₁
C23	B	Cl - Na	Branda	Boa	C ₂ S ₂
C26	B	Cl - Na	Muito Dura	Má	C ₂ S ₂
C27	B	Cl - Na	Dura	Passável	C ₂ S ₂
C29	B	Cl - Na	Dura	Passável	C ₃ S ₃

ANEXO 02

2.4 – Adequabilidade das águas para uso na Indústria

Anexo 2.4 – Adequabilidade das águas para uso na indústria – área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Ceará Mirim/RN.

Amostra	Aquífero	Tipo de Indústria
01	Barreiras - Jandaíra	Têxtil; Papel
03	Açu	Bebidas; Curtume
04	Jandaíra - Açu	Curtume
05	Açu	Curtume
06	Barreiras	Curtume
08	Barreiras	Papel
09	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
10	Barreiras	Laticínios; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Papel
11	Barreiras	Laticínios; Conservas; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Papel
13	Barreiras-Jandaíra-Açu	Bebidas; Curtume
14	Barreiras	Bebidas; Curtume; Papel
15	Barreiras-Jandaíra	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
16	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
17	Barreiras	Laticínios; Bebidas; Curtume; Papel
20	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Cervejaria; Têxtil; Papel
21	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
22	Jandaíra-Açu	-
23	Barreiras	-
24	Barreiras	Refrigeração; Têxtil; Papel
26	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
27	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
29	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
30	Jandaíra	-
31	Açu	-

Anexo 2.4 – Adequabilidade das águas para uso na indústria – área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Ceará Mirim/RN (Continuação).

Amostra	Aquífero	Tipo de Indústria
32	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
33	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
34	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
36	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
37	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
39	Barreiras	Têxtil; Papel
40	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
41	Barreiras	Papel
43	Açu	-
45	Aluvião	-
46	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
49	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
52	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
53	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
55	Barreiras	Refrigeração; Têxtil
56	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Têxtil; Papel
60	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
61	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
63	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel

Anexo 2.4 – Adequabilidade das águas para uso na indústria – área do baixo a médio curso da bacia hidrográfica do Ceará Mirim/RN (Continuação).

Amostra	Aquífero	Tipo de Indústria
70	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
75	Jandaíra	-
76	Jandaíra	-
80	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
81	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
82	Barreiras	Laticínios; Bebidas; Curtume; Papel
83	Barreiras	Laticínios; Conservas; Bebidas; Curtume; Papel
84	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
87	Cristalino	-
91	Cristalino	-
95	Cristalino	-
96	Cristalino	-
97	Cristalino	-
98	Cristalino	-
99	Cristalino	-
F ₅	Barreiras	Refrigeração; Laticínios; Conservas; Indústria Açucareira; Cervejaria; Bebidas; Curtume; Têxtil; Papel
C ₅	Barreiras	Refrigeração; Conservas; Cervejaria; Bebidas; Curtume;
C ₁₁	Barreiras	Papel
C ₁₅	Jandaíra	-
C ₂₁	Barreiras	Cervejaria; Papel
C ₂₃	Barreiras	Papel
C ₂₆	Barreiras	-
C ₂₇	Barreiras	-
C ₂₉	Barreiras	-
Bar. Poço Branco	Águas de superfície	-