

# RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



## REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

**Relatório Diagnóstico**

### **AQUÍFERO MISSÃO VELHA**

### **BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

**Volume 1**



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**PROJETO  
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

# **RELATÓRIO DIAGNÓSTICO AQUÍFERO MISSÃO VELHA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

**VOLUME 1**

**RECURSOS HÍDRICOS  
ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS  
SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**



2012

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

**Projeto**  
**REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM/Serviço Geológico do Brasil.  
Superintendência Regional de Belo Horizonte.

CPRM – Superintendência Regional de Belo Horizonte  
Av. Brasil, 1731 – Bairro Funcionários  
Belo Horizonte – MG – 30140-002  
Fax: (31) 3878-0388  
Tel: (31) 3878-0307  
<http://www.cprm.gov.br/bibliotecavirtual/estantevirtual>  
seus@cprm.gov.br

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM

Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquífero Missão Velha, Bacia Sedimentar do Araripe/Robério Bôto de Aguiar, José Alberto Ribeiro, Liano Silva Veríssimo, Jaime Quintas dos Santos Colares, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

48 p., il. v.1. Inclui mapas de aquíferos (Serie: Área de Recursos Hídricos Subterrâneos, Subárea, Levantamento de Recursos Hídricos Subterrâneos). Versão digital e impresso em papel.

Conteúdo: Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – Inclui listagem da coleção com 16 volumes de Relatórios dos Aquíferos Sedimentares no Brasil, descritos na página 7.

1-Hidrogeologia. 2- Aquífero Missão Velha. 3- Bacia do Araripe. I – Título. II – Aguiar, R.B.de , III – Ribeiro, L.S.V. IV – Veríssimo, L.S. V – Colares, J.Q.dos S. VI – Mourão, M.A.A., Coord. VII – Série

CDU 556.3(81)

Direitos desta edição: CPRM – Serviço Geológico do Brasil  
É permitida a reprodução desta publicação, desde que mencionada a fonte.

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**PROJETO  
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

# **RELATÓRIO DIAGNÓSTICO AQUÍFERO MISSÃO VELHA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

**VOLUME 1**

**RECURSOS HÍDRICOS**

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**ROBÉRIO BÔTO DE AGUIAR  
JOSÉ ALBERTO RIBEIRO  
LIANO SILVA VERÍSSIMO  
JAIME QUINTAS DOS SANTOS COLARES**



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
Edison Lobão  
**MINISTRO**

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
Carlos Nogueira  
**SECRETÁRIO**

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**

Manoel Barretto da Rocha Neto  
**DIRETOR-PRESIDENTE**  
Roberto Ventura Santos  
**DIRETOR DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS**  
Thales de Queiroz Sampaio  
**DIRETOR DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**  
Antônio Carlos Bacelar Nunes  
**DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DESENVOLVIMENTO**  
Eduardo Santa Helena da Silva  
**DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS**  
Frederico Cláudio Peixinho  
**CHEFE DO DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA**  
José Carlos da Silva  
**CHEFE DA DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO**  
Ernesto Von Sperling  
**CHEFE DO DEPARTAMENTO DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DIVULGAÇÃO**  
José Marcio Henrique Soares  
**CHEFE DA DIVISÃO DE MARKETING E DIVULGAÇÃO**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**  
**SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**PROJETO**  
**REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**CRÉDITOS DE AUTORIA**

Maria Antonieta Alcântara Mourão  
**COORDENAÇÃO EXECUTIVA**

Daniele Tokunaga Genaro  
Marcio Junger Ribeiro  
Elvis Martins Oliveira

Thiago de Castro Tayer (estagiário)  
**APOIO TÉCNICO E EXECUTIVO**

Manfredo Ximenes Ponte  
**SUREG-BE**

João Batista Marcelo de Lima  
**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Ariolino Neres Souza  
**SUPERVISOR TÉCNICO**

Manoel Imbiriba Junior

Homero Reis de Melo Junior (de 2009 a 2011)  
**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Rosilene do Socorro Sarmento de Souza  
Celina Monteiro (Estagiária)  
**APOIO TÉCNICO**

Marco Antônio de Oliveira  
**SUREG-MA**

Daniel de Oliveira  
**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Carlos José Bezerra de Aguiar  
**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Silvia Cristina Benites Goncales  
Hugo Galúcio Pereira  
**EQUIPE EXECUTORA**

Francisco Sandoval Brito Pereira  
Cláudia Vieira Teixeira  
**APOIO TÉCNICO**

Maria Abadia Camargo  
**SUREG-GO**

Cíntia de Lima Vilas Boas

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Tomaz Edson de Vasconcelos

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO - SUPERVISOR**  
**TÉCNICO**

Dario Dias Peixoto (de 2009 a 2012)  
**APOIO EXECUTIVO**

Claudionor Francisco de Souza  
**APOIO TÉCNICO**

Marco Antônio Fonseca  
**SUREG-BH**

Márcio de Oliveira Cândido

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Haroldo Santos Viana  
**SUPERVISOR TÉCNICO**

Raphael Elias Pereira

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Claudia Silvia Cerveira de Almeida

José do Espírito Santo Lima

Reynaldo Murilo Drumond Alves de Brito  
**APOIO EXECUTIVO**

José Carlos Garcia Ferreira  
**SUREG-SP**

Ângela Maria de Godoy Theodorovicz

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Andrea Segura Franzini  
**SUPERVISORA TÉCNICA**

Guilherme Nogueira Santos

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

David Edson Lourenço  
**APOIO TÉCNICO**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

Teobaldo Rodrigues de Oliveira Junior

**SUREG-SA**

Gustavo Carneiro da Silva

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Amilton de Castro Cardoso

**SUPERVISOR TÉCNICO**

Paulo Cesar Carvalho Machado Villar

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Cristovaldo Bispo dos Santos

Cristiane Neres Silva (SIAGAS)

**EQUIPE EXECUTORA**

Juliana Mascarenhas Costa

Rafael Daltro (Estagiário)

Bruno Shindler Sampaio Rocha (Estagiário)

**APOIO TÉCNICO**

José Leonardo Silva Andriotti

**SUREG-PA**

Marcos Alexandre de Freitas

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Marcelo Goffermann

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO - SUPERVISOR**

**TÉCNICO**

Guilherme Troian

Mario Wrege (2009-2010)

**EQUIPE EXECUTORA**

Pedro Freitas

Bruno Francisco B. Schiehl

Luiz Alberto Costa Silva

**APOIO TÉCNICO**

José Wilson de C. Temóteo

**SUREG-RE**

Adriano da Silva Santos

**GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Melissa Franzen

**SUPERVISORA TÉCNICO**

Joao Alberto Oliveira Diniz

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Carlos Eugenio da Silveira Arraes

Guilherme Troian (de 2009 a 2012)

**EQUIPE EXECUTORA**

Manoel Júlio da Trindade Gomes Galvão

**APOIO EXECUTIVO**

Paulo Magalhães

**APOIO TÉCNICO**

Darlan F. Maciel

**CHEFE DA RESIDÊNCIA DE FORTALEZA**

Jaime Quintas dos S. Colares

**ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Liano Silva Verissimo

José Alberto Ribeiro (de 2009 a mar/2012)

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Helena da Costa Bezerra

**CHEFE DA RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO**

Francisco de Assis dos Reis Barbosa

**ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Claudio Cesar Aguiar Cajazeiras

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Elvis Martins Oliveira

Luiz Antonio da Costa Pereira

Marcos Nóbrega II

**APOIO EXECUTIVO**

Wladimir Ribeiro Gomes

**APOIO TÉCNICO**

Francisco das Chagas Lages Correia Filho

**CHEFE DA RESIDÊNCIA DE TERESINA**

Carlos Antônio da Luz

**ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Mickaelon Belchior Vasconcelos

**COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO**

Ney Gonzaga de Souza

Cipriano Gomes de Oliveira

**APOIO TÉCNICO**

Alceu Percy Mendel Junior

Fabio Silva da Costa

Rubens Esteves Kenup

**LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO**

Maria Antonieta Alcântara Mourão

**REVISÃO DO TEXTO**

Homero Coelho Benevides

**REVISÃO ORTOGRÁFICA E GRAMATICAL**

Alessandra Morandi Pidello

Patrícia Silva Araújo Dias

**DIAGRAMAÇÃO**

Elizabeth de Almeida Cadete Costa

**ARTE GRÁFICA DA CAPA**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL  
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA  
DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA E EXPLORAÇÃO

**PROJETO**  
**REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**COLEÇÃO DE RELATÓRIOS-DIAGNÓSTICO DOS AQUÍFEROS SEDIMENTARES DO BRASIL**

**VOLUME 1. Aquífero Missão Velha. Bacia Sedimentar do Araripe.**

Robério Bôto de Aguiar  
José Alberto Ribeiro  
Liano Silva Veríssimo  
Jaime Quintas dos Santos Colares

**VOLUME 2. Aquífero Açú. Bacia Sedimentar Potiguar.**

João Alberto Oliveira Diniz  
Francklin de Moraes  
Alexandre Luiz Souza Borba  
Guilherme Casaroto Troian

**VOLUME 3. Aquífero Tacaratu. Bacia Sedimentar Jatobá.**

João Alberto Oliveira Diniz  
Francklin de Moraes  
Alexandre Luiz Souza Borba  
Guilherme Casaroto Troian

**VOLUME 4. Aquífero Serra Grande. Bacia Sedimentar do Parnaíba.**

Mickaelon B. Vasconcelos  
Carlos Antônio Da Luz

**VOLUME 5. Aquífero Itapecuru no Estado do Pará. Bacia Sedimentar do Parnaíba.**

Homero Reis de Melo Junior

**VOLUME 6. Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas. Bacia Sedimentar do Amazonas.**

Carlos José Bezerra de Aguiar

**VOLUME 7. Aquífero Alter do Chão no Estado do Pará. Bacia Sedimentar do Amazonas.**

Homero Reis de Melo Junior

**VOLUME 8. Sistema Aquífero Parecis no Estado de Rondônia. Bacia Sedimentar dos Parecis.**

Cláudio Cesar de Aguiar Cajazeiras

**VOLUME 9. Aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiariti no Estado do Mato Grosso. Bacia Sedimentar dos Parecis.**

Dario Dias Peixoto  
Tomaz Edson Vasconcelos  
Jamilo José Thomé Filho

**VOLUME 10. Sistema Aquífero Urucuaia. Bacia Sedimentar Sanfranciscana.**

Paulo Cesar Carvalho M. Villar

**VOLUME 11. Aquíferos Furnas e Vale do Rio do Peixe nos Estados de Mato Grosso e Goiás. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Dario Dias Peixoto  
Tomaz Edson Vasconcelos  
Jamilo José Thomé Filho

**VOLUME 12. Aquífero Furnas nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Maria Cecília de Medeiros Silveira

**VOLUME 13. Sistema Aquífero Bauru–Caiuá no Estado de Minas Gerais. Bacia Sedimentar do Paraná.**

José do Espírito Santo Lima  
Cláudia Sílvia Cerveira de Almeida

**VOLUME 14. Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Andréa Segura Franzini

**VOLUME 15. Sistema Aquífero Guarani nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Armando Teruo Takahashi

**VOLUME 16. Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. Bacia Sedimentar do Paraná.**

Mario Wrege





# SUMÁRIO

---

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE.....	19
2.1. Localização.....	19
2.2. Aspectos Socioeconômicos.....	20
2.3. Clima.....	21
2.4. Hidrologia.....	21
2.5. Vegetação.....	22
2.6. Aspectos Pedológicos.....	23
2.7. Relevô.....	23
3. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	25
3.1. Litoestratigrafia.....	25
3.2. Arcabouço Estrutural.....	29
3.3. Evolução Tectonossedimentar.....	29
4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	31
4.1. Evolução dos Conhecimentos Hidrogeológicos.....	31
4.2. Caracterização Hidroquímica.....	35
4.2.1. Estudos Isotópicos.....	35
4.2.2. Análise da Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Contaminação.....	35
4.3. Contexto Hidrogeológico da Área de Estudo.....	35
4.3.1. Caracterização Geral.....	35
4.3.2. Características Hidrodinâmicas.....	36
4.3.3. Reservas e Disponibilidades.....	37
4.3.4. Qualidade das Águas.....	37
4.3.4.1. Estudos Isotópicos.....	38
4.3.5. Vulnerabilidade Natural e Risco à Poluição.....	38
4.3.6. Uso da Água Subterrânea.....	40
5. A REDE DE MONITORAMENTO PROJETADA PARA O AQUÍFERO MISSÃO VELHA.....	41
5.1. Poços de Monitoramento Implantados.....	41
6. INFORMAÇÕES PARA PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DO PROJETO.....	43
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1. Mapa de localização da bacia sedimentar do Araripe e da área do Projeto.....	19
Figura 2. Distribuição da Variação Mensal Média da Precipitação nas Estações de Crato Barbalha (Fonte: INMET - 1961/1990).....	22
Figura 3. Coluna litoestratigráfica da bacia do Araripe com caracterizações hidroestratigráficas (Fonte: PONTE e APPI, 1990, <i>apud</i> COGERH/ GOLDER-PIVOT, 2002).....	28
Figura 4. Representação esquemática das unidades estratigráficas da bacia do Araripe e suas conotações hidrogeológicas (DNPM, 1996, <i>apud</i> COGERH/GOLDER-PIVOT, 2002).....	36
Figura 5. Sistema para avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero (Foster, 1987).....	39
Figura 6. Zonas de vulnerabilidade natural dos aquíferos da região do Cariri (Ribeiro e Veríssimo, 1995).....	39
Figura 7. Área de afloramento da Formação Missão Velha e pontos de monitoramento implantados.....	42



## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1. População e área dos municípios inseridos na região do Projeto.....	20
Tabela 2. Variação Mensal Média da Precipitação nas Estações de Crato e Barbalha.....	22
Tabela 3. Tabela comparativa das colunas estratigráficas propostas para a bacia sedimentar do Araripe.....	27
Tabela 4. Principais características dos diferentes Sistemas Aquíferos existentes na Bacia do Araripe.....	32
Tabela 5. Características dos poços pioneiros na Chapada do Araripe.....	33
Tabela 6. Valores médios do resíduo seco, cátions e ânions (mg/L) das águas analisadas no sistema aquífero médio.....	37
Tabela 7. Principais características dos poços de monitoramento em operação pela CPRM.....	41



# **RELATÓRIO DIAGNÓSTICO AQUÍFERO MISSÃO VELHA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

**RECURSOS HÍDRICOS**

**ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

**SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

---





# 1. INTRODUÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil-CPRM, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, em consonância com suas atribuições, propôs e definiu as bases para a implantação de rede de monitoramento integrado das águas subterrâneas abrangendo os principais aquíferos do país.

A rede de monitoramento, de natureza fundamentalmente quantitativa, foi concebida tendo como principal objetivo o conhecimento mais detalhado a respeito dos aquíferos de modo a propiciar a médio e longo prazos: i) a identificação de impactos às águas subterrâneas em decorrência da exploração ou das formas de uso e ocupação dos terrenos; ii) a estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo; iii) a avaliação da recarga e o estabelecimento do balanço hídrico; iv) informações do nível d'água; v) determinação de tendências de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas; etc.

Um dos principais aspectos do programa refere-se à proposição de um monitoramento integrado (águas subterrâneas e superficiais) em que o ambiente aquático é considerado de forma inteiramente interrelacionável e não fracionada nos diversos componentes. Um aspecto que favorece esta integração é o fato da CPRM ser responsável pela implantação e operação de redes hidrometeorológicas, telemétricas, de qualidade de água e sedimentométricas bem como monitoramento de níveis em açudes.

A estruturação do programa de monitoramento para cada aquífero ou local selecionado exige que seja feita uma caracterização hidrogeológica a partir da integração, análise e interpretação de dados existentes. Além disso, considerando a integração com o monitoramento hidrometeorológico são incluídos também dados relativos às estações existentes no domínio dos aquíferos enfocados além de estudos hidrológicos e climatológicos realizados na região enfocada.

A reunião e interpretação dessas informações visa subsidiar a seleção dos locais para monitoramento bem como a avaliação da viabilidade de emprego dos dados das estações fluviométricas e pluviométricas para interpretação dos resultados do monitoramento quanto à representatividade do aquífero nas bacias hidrográficas monitoradas, densidade, localização etc.

O presente relatório apresenta a integração das informações para o aquífero Missão Velha e constitui o estágio atual de conhecimento de suas características naturais, pressões percebidas e impactos identificados.

Como resultados da análise dessas informações são apresentadas as principais demandas ao monitoramento e promovida a configuração da rede de monitoramento para o aquífero.

Para o estado do Ceará foi priorizada a área de recarga/exposição dos aquíferos Missão Velha e Rio da Batateira, considerado o sistema aquífero mais importante da bacia e o responsável pelo abastecimento dos maiores centros urbanos da região.

Está prevista, até o final de 2012, a instalação de 22 *dataloggers* em poços perfurados com recursos advindos do Programa de Aceleração do Crescimento - PAC ou em poços cedidos por meio de parcerias firmadas com o órgão gestor estadual e a companhia de abastecimento e saneamento básico.

No Ceará, o órgão gestor é a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), que implementa suas ações, de forma descentralizada, através de suas entidades vinculadas: a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH), responsável pela outorga; a Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA), que atua na área de perfuração de poços tubulares; e a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), responsável pelo abastecimento e saneamento básico.

Atualmente, existem 24 poços tubulares, não dedicados, em monitoramento pela COGERH, na área de exposição dos aquíferos Missão Velha e Rio Batateira.

O relatório diagnóstico da bacia sedimentar do Araripe contém os resultados dos trabalhos realizados pelas instituições de ensino e pesquisa, notadamente daqueles concernentes aos estudos do meio físico na área delimitada para estudo. A sua elaboração consistiu da análise primordial dos relatórios de pesquisa (internos e/ou inéditos), de publicações em revistas científicas nacionais e internacionais, de anais de congressos, simpósios, encontros técnicos etc., de dissertações de mestrado e de teses de doutorado. Além disso, também foram reunidos e sistematizados os dados existentes e fundamentais ao planejamento das ações subsequentes, como por exemplo: cadastros de poços e pontos de água, dados hidroclimatológicos, cartografia geológica, pedológica e planialtimétrica, dados geofísicos terrestres e aéreos dentre outros.

As referências bibliográficas foram organizadas, analisadas e as informações pertinentes devidamente registradas, de modo a se gerar, tanto a história bibliográfica como a síntese do conhecimento existente na bacia sedimentar.



## 2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE

### 2.1. Localização

A Bacia Sedimentar do Araripe localiza-se na porção sul do estado do Ceará, englobando parte dos estados de Pernambuco e do Piauí, com uma área aproximada de 11.000 km<sup>2</sup>, constituindo-se no divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE) ao norte, São Francisco (PE) ao sul e Parnaíba (PI) a oeste (Figura 1).

A referida bacia sedimentar é constituída por um vasto planalto, a Chapada do Araripe, e por planícies que a circundam com desníveis que chegam a 400 m. Nessa região, o recurso hídrico subterrâneo é a mais importante fonte de água potável para abastecimento público e privado, bem como para diversas atividades, tais como práticas agrícolas, industriais e lazer.

Na área de interesse do projeto está localizada a Região Metropolitana do Cariri (RMC), criada pela Lei Complementar Estadual nº 78 e sancionada em 29 de junho de 2009 (SEPLAG, *online*). A região metropolitana surgiu a partir da conurbação entre os municípios de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, denominada Crajubar. Somando-se a eles, foram incluídas as cidades limítrofes

situadas no Cariri cearense: Caririçuá, Farias Brito, Jardim, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri. Tem como área de influência a região sul do Ceará e a região da divisa entre o Ceará e Pernambuco.

O município do Crato é o maior em área, com 1.009,202 km<sup>2</sup>. Juazeiro do Norte é o menor município, com 248,558 km<sup>2</sup>, e também o mais populoso, com 249.939 habitantes. Nova Olinda é o de menor população, apenas 14.256 habitantes (IBGE, 2010 *online*).

A região selecionada para o monitoramento ocupa uma área de cerca de 6.500 km<sup>2</sup> e foi recentemente estudada pela CPRM no âmbito do Projeto Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semiárida do Nordeste Brasileiro, realizado em parceria com a FINEP e a Universidade Federal do Ceará (UFC). Corresponde à porção leste da bacia sedimentar do Araripe, caracterizada pela depressão do vale do Cariri, onde estão localizados os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Abaiara, Milagres, Brejo Santo e Porteiras, sendo delimitada pelas coordenadas geográficas: 38°30' a 41°00' de longitude oeste de Greenwich e 7°10' a 7°50' de latitude sul.

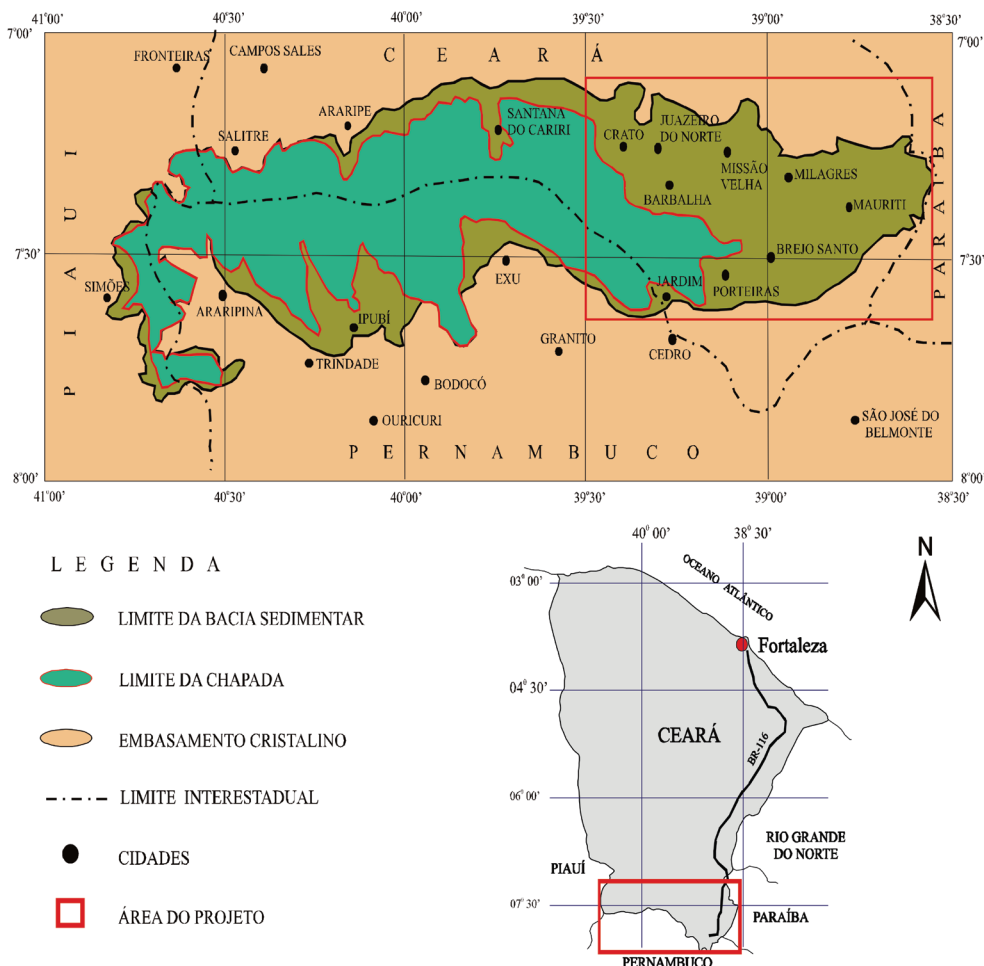


Figura 1. Mapa de localização da bacia sedimentar do Araripe e da área do Projeto

## 2.2. Aspectos Socioeconômicos

A área de estudo está localizada na Macrorregião do Cariri e compreende os municípios de Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha, Jardim, Porteiras, Missão Velha, Abaiara, Brejo Santo, Jati, Mauriti, Milagres e Penaforte. No último Censo Demográfico do IBGE, em 2010, foi constatada, para esses municípios, uma população de 646.844 habitantes. A Tabela 1 mostra a evolução populacional dessa região entre os anos de 1996 e 2009, assim como a área territorial de cada município. Observa-se, ainda, uma concentração da

população nas cidades de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, totalizando 426.690 habitantes, em 2010, correspondendo a 66% da população residente na área do Projeto.

A região do Cariri tem como eixo central o aglomerado urbano formado pelas cidades de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, que ficam a uma distância média de aproximadamente 700 km das capitais nordestinas. Essa posição estratégica a transforma num importante polo comercial do Nordeste, com fácil acesso a um mercado de mais de 40 milhões de consumidores (BANCO DO NORDESTE, 1999a).

**Tabela 1. População e área dos municípios inseridos na região do Projeto**

MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO			ÁREA (km <sup>2</sup> )
	1996	2000	2010	
Abaiara	7.489	8.385	10.496	180
Barbalha	43.296	47.031	55.323	479
Brejo Santo	34.838	38.484	45.193	662
Crato	95.521	104.646	121.428	1.009
Jardim	25.006	26.900	26.688	457
Jati	6.755	7.265	7.660	313
Juazeiro do Norte	189.423	212.133	249.939	249
Mauriti	38.377	42.399	44.240	1.112
Milagres	24.138	26.959	28.316	547
Missão Velha	29.539	32.586	34.274	651
Penaforte	6.238	7.017	8.226	190
Porteiras	15.154	15.658	15.061	218
<b>TOTAL</b>	<b>515.774</b>	<b>569.463</b>	<b>646.844</b>	<b>6.067</b>

Fonte: IBGE (2010, online)

Segundo informações do IPECE (2009) o Produto Interno Bruto (PIB), que mede o valor dos bens e serviços finais produzidos dos municípios da área de estudo, atingiu o montante de R\$ 1.259,7 milhões em 2009, equivalente a 5,2% do total do estado, sendo que a soma do produto gerado pelos municípios de Barbalha (R\$ 126,5 milhões), Crato (R\$ 286,5 milhões) e Juazeiro do Norte (R\$ 481,4 milhões), da ordem de R\$ 894,4 milhões, correspondeu a 71% do total da região. No mesmo ano, a renda média anual por habitante da região alcançou R\$ 1.903,00, correspondente a 59,8% da renda média do cearense, que foi de R\$ 3.182,00.

No setor industrial, segundo informações do IPECE (2009), existiam nos municípios inseridos na área de estudo 1.322 estabelecimentos, correspondendo a 8,5% do total estadual, sendo que 63,9% deles estão em Juazeiro do Norte, onde se concentra o maior parque industrial da região. O consumo industrial de energia elétrica na região, indicador que reflete com razoável aproximação o nível de produção industrial alcançou, em 2002, 60.495 Mwh, ou 3,6% do total estadual.

O setor de serviços nos municípios em questão, segundo dados do IPECE (*op.cit.*), em 2002, contava com

2.897 estabelecimentos, correspondendo a 6% do total do estado. No setor comercial, esses mesmos municípios detinham cerca de 8% dos estabelecimentos do estado, ou seja, 7.329 pontos comerciais. Destacam-se os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha com 77% dos estabelecimentos comerciais e 72% dos estabelecimentos de serviços da área de estudo.

A arrecadação do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias – ICMS na região, em 2009, atingiu R\$ 62,7 milhões, valor equivalente a 2,6% do total recolhido no estado. Mais uma vez, Juazeiro do Norte respondeu pela maior parcela (50,8%) desse tributo na região, vindo em segundo lugar o Crato, com 22,4%, seguido por Barbalha, com 16,7%.

Segundo o Banco do Nordeste (1999b), a atividade agrícola nessa região é constituída basicamente pelas culturas da cana-de-açúcar, algodão herbáceo, tomate rasteiro, banana, arroz, manga, fumo e feijão com área total irrigada de 7.185 ha. A cana-de-açúcar é a cultura que ocupa a maior área na região, aproximadamente 5.000 ha, concentrados nos municípios de Barbalha e Missão Velha (60%) e o restante no Crato e em Juazeiro do Norte.

O Banco do Nordeste (1999c) cita que o setor pecuário do Cariri contempla atividades como bovinocultura, identificada como a mais intensa da região; ovino-caprinocultura representada com 7,5% (ovinos) e 14,4% (caprinos) do total do efetivo do Ceará; a avicultura com 9,5% e a apicultura com 46,2% (166.949 kg) da produção do estado no ano de 1995.

O turismo no Cariri é decorrente de um acervo paisagístico e hídrico da região serrana, com os balneários Caldas, em Barbalha e Granjeiro, Cascata, Serrano e Nascente no Crato; de ricos sítios paleontológicos (chapada do Araripe); de artesanatos (cipó, fibra, palha, tecelagem, metal e ourivesaria) e da serra do Horto, que abriga a estátua do Padre Cícero, em Juazeiro do Norte.

A rede de ensino Fundamental e de 2º grau nos municípios inseridos na área do projeto está constituída por 986 estabelecimentos públicos, uma escola técnica federal, um centro estadual de ensino tecnológico (CENTEC) e duas universidades, a Universidade Regional do Cariri (URCA) e a Faculdade de Medicina de Juazeiro do Norte (FMJ). No setor de saúde são 101 postos de saúde e 25 instituições hospitalares conveniadas ao Sistema Único de Saúde – SUS.

O abastecimento de água das cidades situadas na área do projeto, com exceção de Crato, Jardim e Penaforte, é feito pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), contando com cerca de 74.500 ligações e uma oferta de água de 2.500 m<sup>3</sup>/h. As outras três cidades são abastecidas por sistemas municipalizados (SAAE's), sendo que Crato possui 21.881 ligações e uma oferta de água de 1.000 m<sup>3</sup>/h. O sistema de esgotamento sanitário dos municípios é praticamente inexistente. Apenas Juazeiro do Norte e Barbalha possuem esse serviço. Dentre as 31.207 ligações nestes municípios, 87% estão em Juazeiro do Norte.

### **2.3. Clima**

No estado do Ceará a circulação atmosférica é regida, basicamente, por três sistemas sinóticos geradores de precipitação: as frentes frias, com sua formação original no polo Sul; a Zona de Convergência Intertropical, que oscila dentro da faixa dos trópicos e; um Centro de Vorticidade Ciclônica, com tempo de atuação variável dentro do período de chuvas. Além desses, outros sistemas de menor escala atuam na região (SRH, 1992). A Zona de Convergência Intertropical é a de maior importância, pelos seus constantes deslocamentos nos dois hemisférios que atuam no Nordeste provocando chuvas.

No geral, o estado do Ceará apresenta um regime pluviométrico do tipo tropical, refletido pela ação conjugada dos sistemas de circulação e dos aspectos geográficos, e caracterizado pela marcante irregularidade das chuvas no tempo no espaço. No tempo, pela concentração das chuvas num curto intervalo, caracterizando a existência de dois períodos distintos: um chuvoso e outro seco. No espaço, pela irregular distribuição das chuvas de um ano para o outro em áreas diferentes e, sobretudo, num mesmo ano e numa mesma

área. O período chuvoso começa no verão e atinge o seu auge na transição verão-outono. Os índices mensais máximos ocorrem entre fevereiro e março. Na região do Cariri, a precipitação anual média é de 1.001,4 mm, apresentando um pico nos meses de janeiro a abril. O período entre junho e novembro possui os mais baixos índices pluviométricos (KIMURA, 2003).

O regime térmico do estado do Ceará caracteriza-se pela acentuada estabilidade, retratada nas reduzidas amplitudes térmicas. Isto ocorre em função da incidência praticamente vertical dos raios solares durante o ano, o que estabiliza a temperatura e impede a diferenciação térmica das estações. As temperaturas médias anuais na região de estudo são muito pouco variáveis (entre 24°C e 26°C). Juazeiro do Norte, com média anual de 25,4°C tem o mês de julho como o mais frio (23,5°C) e o mês de novembro como o mais quente (27,4°C). Em Barbalha, verifica-se uma média anual de 25,8°C, tendo em junho o mês mais frio com 23°C e novembro o mês mais quente com 27,7°C (IPLANCE,1997).

De acordo com os dados da estação de Barbalha, a umidade relativa do ar oscila de 51%, em outubro a 80 %, em março, com média anual de 63,8 %; a insolação apresenta um valor total anual de 2.848 horas e a evaporação, nesta mesma estação, registra um valor anual da ordem de 2.288,6 mm, com máxima em setembro (292,8 mm) e mínima em abril (100,5 mm), conforme Veríssimo (1999).

Segundo Costa *et al.* (1998), os níveis de insolação na região do Cariri são elevados, com o valor total anual de 2.848 horas. A média mais elevada ocorre em setembro, com 276,4 horas de insolação, e a média mais baixa ocorre em fevereiro, com 191,9.

Baseado nos índices hídricos expostos acima, a região do Cariri foi classificada como sendo de clima seco subúmido. Esta classificação é sustentada, principalmente, pela ação da chapada que funciona como um barlavento, intensificando o efeito orográfico e aumentando o índice de precipitação na região (COGERH/GOLDER-PIVOT, 2002).

### **2.4. Hidrologia**

A drenagem superficial da região encontra-se inserida na sub-bacia do rio Salgado, com área de 12.216 km<sup>2</sup>, pertencente à bacia hidrográfica do Jaguaribe, sendo formada pelos rios Bastiões, Cariús e Salgado, que atravessa todo o Cariri; os rios Batateiras, Granjeiro, Salgadinho e Carás, na região compreendida entre Crato e Juazeiro do Norte; os rios Salamanca e Santana em Barbalha; o rio Seco em Missão Velha e o riacho dos Porcos que drena os municípios de Milagres, Mauriti, Brejo Santo, Porteiras, Jardim e Jati.

A hidrografia da bacia sedimentar é caracterizada pela ausência de rede de drenagem na parte superior da chapada, pelo setor torrencial nas vertentes da chapada até as planícies, com contribuições em forma de fontes pontuais ou difusas e pela zona de espraiamento (aluviões) depois das vertentes, onde são depositadas as cargas das torrentes (DNPM, 1996).

A precipitação, em termos gerais, representa a quantidade de água que chega até a superfície do solo por processos naturais (*i.e.* chuvas) ou artificiais (*i.e.* irrigação). Sendo assim, observa-se que o regime hidrológico do estado do Ceará é extremamente dependente do regime pluviométrico e das condições geológicas. No caso da região do Cariri, postos

pluviométricos construídos nos municípios de Crato e Barbalha registram uma precipitação media anual da ordem de 1.032,7 mm (Tabela 2). No município de Juazeiro do Norte a precipitação média anual é mais elevada (1.189 mm). No entanto, ao considerar toda a região, a precipitação média é menor, com um valor da ordem de 920 mm/ano.

**Tabela 2. Variação Mensal Média da Precipitação nas Estações de Crato e Barbalha**

CIDADES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Crato	148	216	275	158	60	23	8	5	12	21	56	82	1064
Barbalha	175	191,4	234,3	209,8	48,1	20,8	11,5	5,6	5,2	2,5	4,8	92,2	1001,4
<b>Média</b>	<b>161,5</b>	<b>203,7</b>	<b>254,6</b>	<b>183,9</b>	<b>54,05</b>	<b>21,9</b>	<b>9,75</b>	<b>5,3</b>	<b>8,6</b>	<b>11,75</b>	<b>30,4</b>	<b>87,1</b>	<b>1032,7</b>

Fonte: INMET (1961-1990, apud COGERH/GOLDER-PIVOT, 2002)

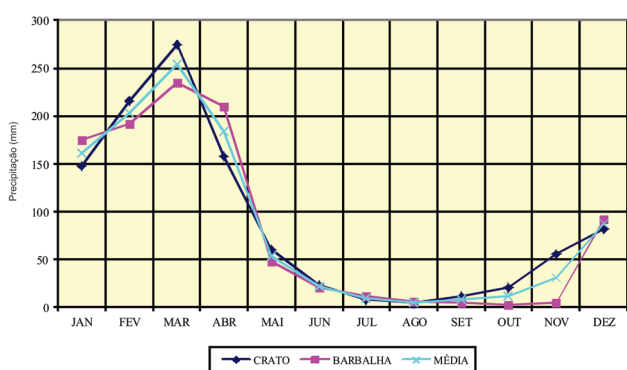


Figura 2. Distribuição da Variação Mensal Média da Precipitação nas Estações de Crato Barbalha  
Fonte: INMET (1961-1990)

Quanto à distribuição da precipitação durante o ano, na região de Crato-Barbalha observa-se que o mês de março, com média de 254,65 mm representa o máximo mensal, enquanto que o mês de agosto, com média de apenas 5,3 mm, constitui o menor índice de precipitação mensal (Figura 2). Consta-se ainda, pela análise da tabela e da figura acima, que o período de janeiro a abril totaliza cerca de 78 % da precipitação anual (803,85 mm).

A evapotranspiração engloba as variáveis hidrológicas representadas pela evaporação da zona de umidade do solo e transpiração vegetal, contabilizando as maiores perdas registradas no sistema hídrico regional. A análise dessa variável hidrológica é feita através de seus valores potencial e real.

Segundo o IPLANCE (1997), a evapotranspiração potencial apresenta valores elevados, sendo o município de Barbalha o detentor dos maiores índices (1.566 mm/ano). No município de Juazeiro do Norte a evapotranspiração potencial é da ordem de 1.450 mm por ano. Com valores inferiores, a evapotranspiração real em Barbalha situa-se na faixa de 600 a 950 mm anuais (valor característico 756,4 mm/ano). Em Juazeiro do Norte registra-se o índice médio mais elevado, 946 mm/ano.

De uma maneira geral, observa-se que no período de setembro a dezembro registram-se os maiores valores

mensais de evapotranspiração potencial, ao passo que no período de fevereiro a maio ocorrem os maiores valores mensais de evapotranspiração real.

O excedente hídrico representa a quantidade de água precipitada não absorvida pelo solo e não evapotranspirada, incorporando-se à rede de drenagem superficial e subsuperficial. Na área em questão, o excesso hídrico reflete a influência da proximidade da chapada do Araripe, onde as estações situadas na borda da chapada apresentam excedentes superiores a 200 mm/ano. Em Juazeiro do Norte e Barbalha foram registrados excedentes de 243 e 245 mm anuais, respectivamente (COGERH/GOLDER-PIVOT, 2002).

Conceitualmente, a deficiência hídrica corresponde à quantidade de água que falta ao pleno desenvolvimento e crescimento da planta. Neste sentido, na região em questão, registram-se no período de junho a janeiro deficiências hídricas situadas numa faixa de 500 a 700 mm anuais. Dentre as localidades deficientes hidricamente, Barbalha apresenta os maiores índices (691 mm/ano), enquanto que em Juazeiro do Norte este valor é de 507 mm anuais (COSTA *et al.* 1998).

## 2.5. Vegetação

A região do Cariri é constituída por quatro tipos de vegetação, no sentido sul para norte do estado, segundo o IPLANCE (1997), sendo elas: Floresta Subperenifolia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida), Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial (Mata Seca), Floresta Caducifolia Espinhosa (Caatinga Arbórea) e Floresta Subcaducifolia Tropical Xeromorfa (Cerrado).

A Floresta Subperenifolia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida) localiza-se nas vertentes da chapada, denominada de Serras Úmidas. A altitude e a exposição aos ventos úmidos são os principais determinantes da existência dessa floresta, considerando-se, ainda, a importância da água subterrânea, cuja ressurgência nas encostas da chapada contribui para a permanência da vegetação florestal. As árvores apresentam caules retilíneos, espessos, cobertos com líquens, orquídeas

e samambaias. Algumas espécies mais comuns são representadas por Ingá (*Inga bahiensis*), Guabiraba (*Campomanesia dichotoma*), Pinheiro (*Podocarpus sellowii*) e Erva do mato (*Palicourea aenveofusca*).

A Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) ocorre nas zonas abaixo das vertentes da chapada. As espécies são da mata úmida e da caatinga arbórea, cuja faixa de amplitude ecológica permite viver nesse ambiente, que reúne as espécies da mata seca. Algumas espécies mais comuns são representadas por Pau-d'arco-roxo (*Tabebuia impetiginosa*), Mulungu (*Erythrina velutina*) e Timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*).

A Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) cobre cerca de 80% do estado e ocupa as áreas abaixo das matas secas. O termo caatinga é de origem indígena e denomina um tipo de vegetação xerófila que ocorre no semiárido do Nordeste do Brasil. Os indivíduos apresentam porte da ordem de 20 m, tendo maiores espessuras dos caules e menor densidade, menor que as outras caatingas (800 indivíduos/ha). Algumas espécies mais comuns são representadas por Aroeira (*Myracrodruon*), Imbu (*S. Tuberosa*) e Jucá (*C. Ferrea*).

A Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa (Cerrado) ocorre sobre a chapada do Araripe, no nível entre 800 e 1.000 metros. As espécies vegetais apresentam cascas suberosas, folhas largas, brilhantes e persistentes. Algumas espécies mais comuns são representadas por Janaguba (*Himatanthus drasticus*), Faveira (*Dimorphandra gardneriana*), Piqui (*Caryocar coriaceum*), Louro-bravo (*Ocotea glomerata*) e Murici (*Byrsonima sericea*).

## **2.6. Aspectos Pedológicos**

O conhecimento dos solos constitui base importante para o incremento de projetos agrícolas, irrigação e conservação do solo. Estudos realizados pelo IPLANCE (1997) definiram quatro classes de solos.

**Latosolo Vermelho-Amarelo Álico.** São solos desenvolvidos sobre arenitos da Formação Exu (chapada do Araripe), profundos, com textura média a argilosa, bem drenados, cores variando de vermelha até amarela e apresentando perfis do tipo ABC. Possuem baixa fertilidade natural, que somada à elevada deficiência hídrica resultante das condições climáticas, tornam necessárias a adubação e a calagem. Ocupam a área do topo da chapada, fator limitante para uso e ocupação em função de tratar-se de uma zona de preservação. Podem ser utilizados para culturas cíclicas (milho, feijão, mandioca), pastagem e fruticultura. Cuidados especiais devem ser dispensados na sua conservação, pois possuem uma estrutura física favorável aos processos erosivos.

**Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico.** Inclui solos profundos, com textura variando de média a argilosa, cores entre vermelha/amarela, amarela e vermelha. Têm como material de origem os sedimentos da Formação Brejo Santo. Apresentam potencial elevado para agricultura, com restrições quanto ao relevo. Possuem alta suscetibilidade à erosão e deficiência hídrica, necessitando

de adubação complementar. Podem ser utilizados para culturas de milho, feijão, mandioca, algodão e pastagem.

**Aluviais Eutróficos.** Solos formados a partir da deposição de sedimentos fluviais não consolidados, distribuindo-se ao longo das planícies dos principais rios da área. Possuem bom potencial agrícola, propícios à irrigação desde que devidamente controlados, face ao risco de salinização e inundações nos períodos chuvosos. São utilizados em culturas de cana-de-açúcar, algodão e horticultura.

**Litólicos Eutróficos.** São solos desenvolvidos sobre a Formação Santana (encosta da chapada). Apresentam fertilidade natural, fortes restrições quanto à profundidade efetiva, presença de rocha, deficiência hídrica, grande suscetibilidade à erosão e declividade elevada (> 25%). Podem ser utilizados para culturas de milho, feijão e algodão.

## **2.7. Relevo**

Em um estudo pioneiro sobre a geologia do Ceará, SMALL (1913) descreveu de forma geral a geomorfologia do estado, reconhecendo duas divisões topográficas principais na região do Cariri: um planalto interior e a chapada do Araripe, apresentada como “um imenso planalto cuja direção é leste e oeste e constitui uma das feições topográficas mais importantes do nordeste do Brasil”.

O IPLANCE (1997) também compartimenta o relevo da região em duas formas predominantes: o Planalto Sedimentar (chapada do Araripe), cujas condições morfogênicas têm influência direta da estrutura geológica, e a Depressão Periférica do Ceará, dependente de processos degradacionais. A zona intermediária ou de talude é englobada no planalto sedimentar.

Neste trabalho, optou-se por dividir a bacia do Araripe em três domínios geomorfológicos distintos, seguindo a descrição contida em DNPM (1996): Zona de Chapada, Zona de Talude e Zona de Pediplano. Tal divisão deve-se às características peculiares, do ponto de vista de litologia, relevo, clima, hidrografia e vegetação, que cada uma apresenta. A seguir é apresentada uma descrição de cada uma das unidades geomorfológicas citadas.

A Zona de Chapada ou Chapada do Araripe, de relevo tipicamente tabular, com elevações em torno de 900 metros, sustentada pelos arenitos da Formação Exu. Constitui-se na porção topográfica mais elevada da região. A ausência quase total de drenagem no topo da chapada está diretamente associada ao solo arenoso que a recobre. A vegetação na chapada é constituída por zonas de mata úmida, na proximidade de seus limites, e por zonas de cerrado, cerradão e carrasco na sua porção mais central. É limitada em quase toda sua extensão por escarpas abruptas, de contornos irregulares que chegam a ultrapassar 300 metros e expõem rochas da Formação Santana.

A Zona de Talude inclui a zona de encosta e pé-de-serra, onde afloram as unidades litológicas das formações Arajara e Santana. O solo derivado dessa associação litológica é de baixa acidez, espesso, pouco permeável



e muito fértil, permitindo o desenvolvimento de uma drenagem relativamente densa e ramificada. No contato entre as formações Exu e Arajara e ainda nesta última formação existem exutórios naturais de água (fontes), que associados à fertilidade do solo, possibilitam o crescimento da vegetação exuberante presente nesta zona. A disposição das camadas orientadas para leste favorece a ocorrência de surgências, sobretudo nas encostas do estado do Ceará, responsáveis pela perenidade dos rios na depressão sertaneja.

A Zona de Pediplano ou Depressão Sertaneja é caracterizada por relevos suaves e pouco dissecados,

marcados por morros alongados entremeados por vales amplos de fundo plano, com cotas médias de aproximadamente 400 metros. Neste domínio geomorfológico ocorrem exposições de rochas das demais formações da bacia do Araripe: Rio da Batateira, Abaiara, Missão Velha, Brejo Santo e Mauriti. A vegetação nativa, onde preservada, é tipicamente de caatinga. Devido às características do solo e aos mananciais de água subterrânea, a agricultura aqui é bem desenvolvida. As surgências de águas subterrâneas na base da Formação Exu são em grande parte responsáveis pela rede de drenagens que atravessa a Depressão Sertaneja.

## 3. CONTEXTO GEOLÓGICO

O contexto litoestratigráfico e estrutural da bacia sedimentar do Araripe foi recentemente estudado pelo Consórcio GOLDER-PIVOT, para a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), quando da elaboração do plano de monitoramento e gestão do aquífero Missão Velha na região de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte. A evolução dos conhecimentos geológicos abordados a seguir para descrever as características geológicas da bacia sedimentar, foi extraída desse levantamento.

### 3.1. Litoestratigrafia

A bacia sedimentar do Araripe está implantada sobre os terrenos pré-cambrianos da Província Borborema, lateralmente ao Lineamento da Paraíba (PONTE e PONTE FILHO, 1996), importante cinturão de cisalhamento do Nordeste, na região fronteira dos estados do Ceará, Pernambuco, Piauí e Paraíba.

O embasamento cristalino pré-cambriano é representado por unidades litoestratigráficas do Arqueano ao Proterozóico Superior (RIBEIRO, 1995). O Arqueano indiferenciado é constituído de ortognaisses biotíticos e hornblenditos de coloração cinza. Contém corpos de metabasitos e metaultrabasitos de dimensões variadas. O Proterozóico, porção inferior, é representado pelo Complexo Ceará, composto por biotita-gnaisses e gnaisses localmente migmatizados. A porção média corresponde ao Grupo Cachoeirinha, constituído por metarenitos, filitos, metassiltitos, metaconglomerados e micaxistos. A porção superior constitui-se de granitoides intrusivos.

São numerosos e variados os trabalhos científicos sobre a estratigrafia da bacia do Araripe. A primeira citação registrada (SPIX e MARTIUS, 1828 *apud*: NEUMANN, 1999) faz referência ao estudo dos ictiolitos da Formação Santana. Contudo, a litoestratigrafia foi primeiramente descrita em detalhe por SMALL (1913), em estudo a serviço da Inspeção de Obras Contra as Secas (IFOCS) a fim de conhecer as formações geológicas da região e suas possibilidades como condutoras de água subterrânea. Nesta ocasião, dividiu a sequência sedimentar em quatro seções, denominadas da base para o topo de Conglomerado Basal, Arenito Inferior, Calcário de Sant'anna e Arenito Superior.

Novos estudos na região só foram intensificados na década de 60, realizados, sobretudo, por órgãos federais. A Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) patrocinou alguns estudos hidrogeológicos na região dentre os quais se destacam os de Anjos (1963), Gaspary e Anjos (1964), Barros (1963), Caldasso (1967) e Cruz e França (1970). A Universidade Federal de Pernambuco contribuiu para o conhecimento da geologia da bacia com os estudos de seus professores e alunos, destacando-se as publicações de Beurlen (1962 e 1963).

Este autor estimou uma espessura total de 850 metros para o pacote sedimentar da bacia do Araripe.

A partir da década de 80 uma nova fase de estudos ampliou o conhecimento sobre a geologia do Araripe. Silva (1983, 1986a, 1986b e 1988) estudou em detalhe a sequência evaporítica da Formação Santana, atribuindo a origem da bacia a movimentos transcorrentes ao longo do lineamento de Patos.

Rand e Manso (1984) fizeram uma interpretação do arcabouço estrutural a partir de reconhecimentos gravimétricos e magnetométricos, calculando espessuras sedimentares totais da ordem de 2.400 m. Estes dados despertaram o interesse quanto às potencialidades petrolíferas da bacia, o que resultou em uma série de estudos paleontológicos, geológicos e geofísicos, patrocinados pela Petrobras, dentre os quais se destacam: (1) a prospecção de reconhecimento, por sísmica de reflexão (MIRANDA *et al.* 1986); (2) o mapeamento geológico da bacia (GHIGNONE *et al.* 1986); (3) os estudos morfo-estruturais (FORTES, 1983 e GUERRA, 1986); (4) as análises estratigráficas e paleoecológicas (APPI *et al.* 1986 e HASHIMOTO *et al.* 1987); (5) o estudo integrado da bacia (APPI *et al.* 1990) e (6) a revisão da coluna estratigráfica da bacia por Ponte e Appi (1990).

A litoestratigrafia originalmente proposta por SMALL em 1913 foi utilizada como base para os autores que o sucederam, que propuseram diversas alterações nas terminologias das unidades e subdivisões das mesmas em formações ou membros. A Tabela 3 mostra a comparação das colunas estratigráficas, propostas para a bacia sedimentar do Araripe, elaborada a partir de adaptações de Ponte e Appi (1990), DNPM (1996), e Neumann (1999).

Até 1990, a divisão estratigráfica mais utilizada foi a de Beurlen (1971). Atualmente, a proposta mais adotada é a de Ponte e Appi (1990), que conciliou duas concepções estratigráficas distintas: (1) o moderno enfoque da estratigrafia genética, que parte da identificação de sequências tectonoestratigráficas naturais e dos sistemas deposicionais que as incluem; e de outro lado (2) o enfoque descritivo da litoestratigrafia formal.

Nesse contexto, será adotada a divisão estratigráfica proposta por Ponte e Appi (1990), ilustrada na Figura 3, que divide a coluna sedimentar em três seções distintas, limitadas por discordâncias angulares de extensão regional, da base para o topo:

I. A Formação Mauriti, que constitui a base da coluna sedimentar da bacia do Araripe e tem presumível idade silurodevoniana. Corresponde à sequência Beta definida por Ponte (1992a, *apud* PONTE e PONTE-FILHO, 1996). É constituída por remanescentes de uma vasta cobertura de sedimentos terrígenos preservados em depressões do escudo cristalino, repousando diretamente sobre o embasamento. Representa um sistema deposicional fluvial entrelaçado e eólico, onde se observa a predominância de

arenitos quartzosos, grossos a médios, mal selecionados e contendo camadas conglomeráticas, com seixos de até 3 cm de quartzo de origem fluvial sobre os arenitos finos de origem eólica. A estratificação cruzada de pequeno a médio porte é comum e os arenitos apresentam-se compactos e silicificados, formando rochas resistentes e capazes de sustentar até cachoeiras, como a de Missão Velha. Constitui um pacote com espessura variável entre 10 e 50 m.

II. O Grupo Vale do Cariri, englobando as sequências pré a sin-rifte, representadas por rochas do Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior (Neocomiano), correlatas à de uma série de pequenas bacias interiores do Nordeste e dos riftes mesozóicos da margem e borda continental brasileira. Este pacote preenche grábens e recobre horstes na região, controlados por uma série de falhas NE e NW. Reúne as formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara.

A Formação Brejo Santo inclui na sua base arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos alternados, com intercalações ocasionais de arenitos finos vermelhos de origem fluvial meandrante, lacustre e secundariamente eólica. A parte superior é constituída por argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons, bem estratificados e raros leitos de folhelhos verdes, representando uma associação tipicamente lacustre rasa.

A Formação Missão Velha é constituída de arenitos grossos, mal selecionados, às vezes conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e acanalada de pequeno porte, brancos e amarelados, portadores de troncos e fragmentos de madeira silicificada. Possui intercalações métricas de siltitos arroxeados. Representa uma associação de arenitos fluviais, predominantemente anastomosados, mostrando uma sucessão de ciclos deposicionais granodecrescentes desde a base até o topo. Esta formação coincide com a unidade hidroestratigráfica denominada Aquífero Missão Velha, onde está instalada a maioria dos poços tubulares profundos na região, o que justifica o interesse específico nesta unidade para o desenvolvimento dos serviços no projeto.

A Formação Abaiara reúne arenitos micáceos argilosos, finos a médios, intercalados com siltitos e folhelhos castanhos, cinzentos e verdes, bem estratificados, contendo delgadas camadas de carbonatos impuros. A associação corresponde a um sistema deposicional fluviolacustre sintectônico. Possui áreas de exposição modestas e restritas ao vale do Cariri.

III. O Grupo Araripe, uma sequência pós-rifte do Cretáceo Médio, que forma extensos lençóis de estratos sedimentares em atitudes subhorizontais e recobre os pacotes sedimentares anteriores. É dividido nas formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu.

A Formação Rio da Batateira é constituída por bancos de arenitos fluviais médios a grosseiros, gradando ascendentemente para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e se encerrando com uma seção de folhelhos negros, orgânicos eossilíferos. Constitui um sistema fluviolacustre com espessura da ordem de 200 metros no vale do Cariri.

A Formação Santana é subdividida em três membros: Crato, Ipubi e Romualdo, da base para o topo.

O Membro Crato constitui um pacote com espessura média da ordem de 50 metros, compreendendo folhelhos cinza, calcíferos, laminados e calcários cinza-claros e beges, argilosos e finamente laminados. Representa uma fácies de um sistema deposicional lacustre.

O Membro Ipubi constitui-se predominantemente por bancos estratiformes de gipsita, com intercalações de folhelhos cinza e verdes, típicos de ambientes transicionais predominantemente evaporíticos. Todo o conjunto tem, em média, uma espessura de 30 metros. Trata-se da unidade de maior interesse econômico na bacia do Araripe.

O Membro Romualdo é composto por folhelhos e margasossilíferos cinza-esverdeados, onde ocorre um horizonte intercalado rico em concreções carbonáticas de dimensões variadas, contendo na sua maioria peixes fósseis de alto valor científico e econômico. Seu ambiente de formação é lagunar e marinho raso e sua espessura varia entre 2 e 15 metros.

A Formação Arajara é representada por siltitos, argilitos e arenitos finos argilosos e/ou caulínicos, bem estratificados, exibindo estruturas sedimentares e coloração variegada, predominando as tonalidades vermelha e amarela. Seu contato inferior com o Membro Romualdo é gradacional, enquanto que com a Formação Exu sobreposta é bem marcado por uma discordância erosiva regional, segundo SILVA (1986). Trata-se de uma unidade contínua, de ambientes lagunares e marinhos litorâneos, que aflora por toda a extensão da bacia, bordejando o sopé da escarpa da chapada do Araripe. A sua espessura é de difícil determinação, uma vez que se encontra quase sempre recoberta por depósitos de tálus provenientes da Formação Exu. Alguns poços perfurados indicam espessuras entre 36 e 100 metros.

A Formação Exu constitui uma capa contínua em toda a extensão da chapada, representada por uma sequência monótona de arenitos vermelhos friáveis, argilosos, em geral caulínicos, de granulometria variável, contendo leitos intercalados de arenitos grosseiros a conglomeráticos. Pode apresentar-se bastante silicificada. Todo o conjunto repousa discordantemente sobre a Formação Arajara, constituindo bancos grosseiramente acamadados, com estratificações cruzadas, evidenciando litofácies típicas de depósitos fluviais.

Coberturas arenosas e areno-argilosas, conglomeráticas ou não, associadas a leques de fluxos de detritos, recobrem a área na forma de coberturas dos topos dos morros e colinas, ou no sopé da escarpa, assemelhando-se a depósitos de tálus. A presença de cores variegadas e manchas associadas a níveis de lateritização (horizonte plíntico e horizonte pálido) indicam que estas coberturas passaram pelo processo de lateritização, que se associa à Superfície Sul-Americana, de idade eoterciária.

Representam a sedimentação quaternária local os sedimentos arenosos e depósitos de tálus arenosos com blocos de tamanhos variados que ocorrem no sopé das encostas, e os depósitos arenosos, conglomeráticos ou não, que se associam às planícies aluvionares, algumas até extensas.

Tabela 3. Tabela comparativa das colunas estratigráficas propostas para a bacia sedimentar do Araripe

SMALL 1913	BEURLEN 1962	BARROS 1963	BEURLEN 1963	MORAES 1963	GASPARY & ANJOS 1964	BRAUN 1966	SANTOS & VALENÇA 1968	BEURLEN 1971	MABESOOONE & TINOCO 1973	DANTAS 1974
Arenito Superior	Fm. Exu	Fm. Arajara	Fm. Sup. Exu	Fm. Arajara	Fm. Feira Nova	Fm. Exu	Fm. Feira Nova	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
	Calcáreo de Sant'Ana	Mb. Superior	Mb. Superior	Mb. Superior	Mb. Superior	Mb. Romualdo	Mb. Superior	Mb. Romualdo	Mb. Romualdo	Mb. Romualdo
Mb. Gipsífero		Mb. Inferior	Mb. Inferior	Mb. Inferior	Mb. Inferior	Mb. Ipubi	Mb. Inferior	Mb. Ipubi	Mb. Ipubi	Mb. Ipubi
Arenito Inferior	Mb. Inferior	Mb. Inferior	Fm. Crato	Mb. Inferior	Fm. Santana	Fm. Santana	Fm. Santana	Mb. Crato	Mb. Crato	Fm. Santana
	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Sergi	Fm. Missão Velha	Fm. Missão Velha	Fm. Sergi	Fm. Sergi
Conglom. Basal	Fm. Carni	Fm. Carni	Fm. Carni	Fm. Carni	Fm. Mauriti	Fm. Tacaratu	Fm. Carni	Fm. Carni	Fm. Tacaratu	Fm. Tacaratu
Série Araripe	Gp. Pós-tectônico									
	Gp. Pré-tectônico									
SILVA 1976	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
Fm. Santana	Fácies argilo-silt. Evap.	Fm. Araripe	Fm. Santana	Fm. Araripe	Fm. Santana	Fm. Santana	Fm. Araripe	Fm. Santana	Fm. Santana	Fm. Santana
	Fm. Santana	Fm. Araripe	Fm. Santana	Fm. Araripe	Fm. Santana	Fm. Santana	Fm. Araripe	Fm. Santana	Fm. Santana	Fm. Santana
Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança
	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança	Fm. Aliança
Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani
	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani	Fm. Manani
MORAES et al. 1976	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
LIMA 1978, 1979	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
DANTAS, 1980	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
SILVA 1983, 1986	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
BRITO NEVES 1990	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
PONTE & APPI 1990	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
ASSINE 1990	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
BERTHO 1990	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu
MARTILL & WILBY 1993	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu	Fm. Exu

Fonte: (Adaptado de PONTE e APPI, 1990; DNPM, 1996 e NEUMANN, 1999, apud: COGERH/GOLDER-PIVOT, 2002)

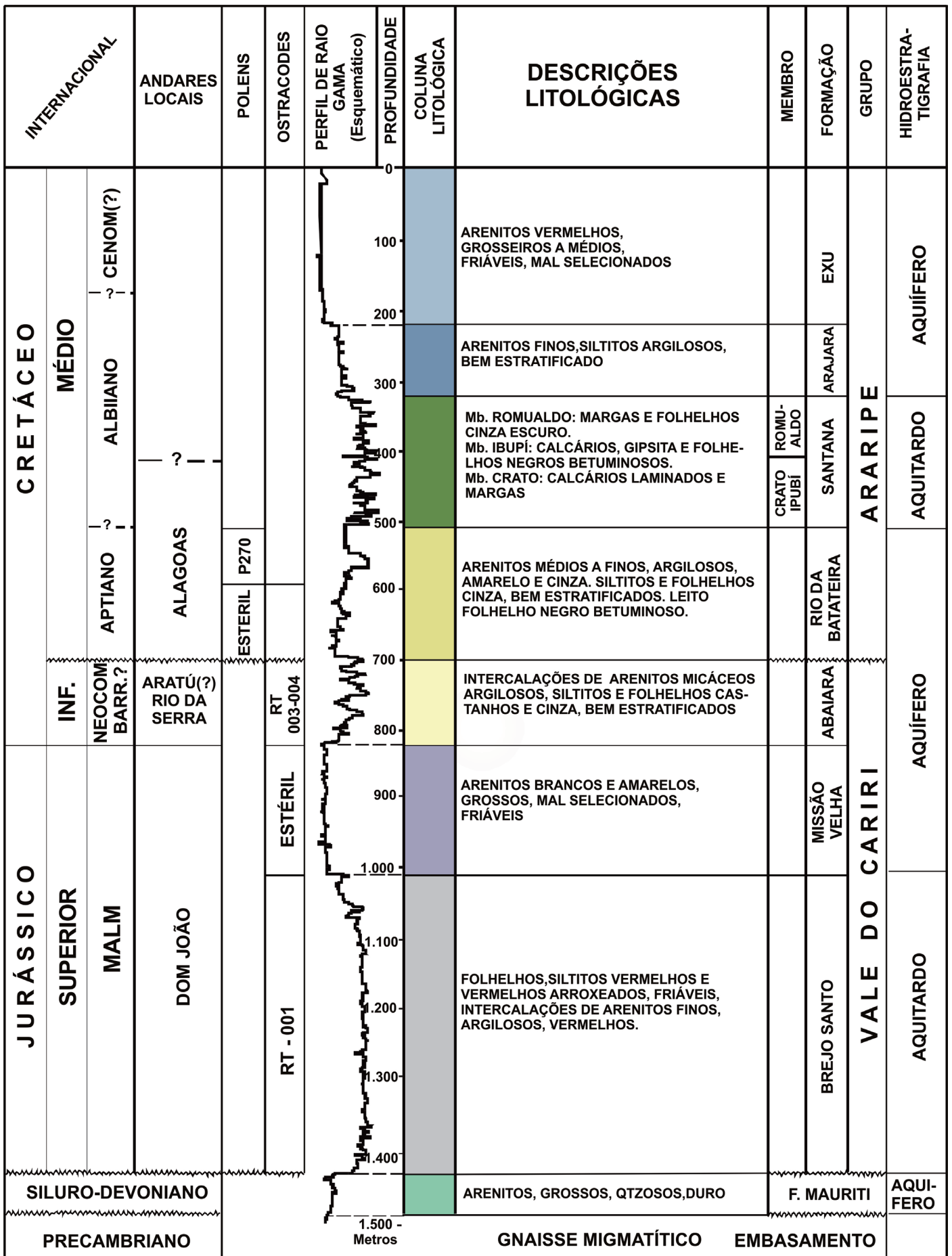


Figura 3. Coluna litoestratigráfica da bacia do Araripe com caracterizações hidroestratigráficas  
 Fonte: Ponte e Appi (1990, apud COGERH/ GOLDER/PIVOT, 2002)

### **3.2. Arcabouço Estrutural**

Os primeiros trabalhos realizados na bacia do Araripe tiveram como principal objetivo caracterizar a sua litoestratigrafia, sem preocupação em investigá-la quanto aos aspectos tectono-estruturais. Até meados dos anos 60, a bacia era considerada isenta de perturbações tectônicas, sendo destacada por vários autores a horizontalidade dos estratos. BRAUN (1966), em trabalho sobre a estratigrafia dos sedimentos interiores do Nordeste do Brasil, foi o primeiro a constatar forte movimentação dos blocos no vale do Cariri, dividindo a coluna estratigráfica da bacia em dois compartimentos estruturalmente distintos, denominados de “Grupo Pré-Tectônico” (Siluro-Devoniano/Jurássico) e “Grupo Pós-Tectônico” (Cretáceo).

Os trabalhos patrocinados pela Petrobras a partir dos anos 80 e outros trabalhos publicados sobre a geologia estrutural e a tectonoestratigrafia da bacia do Araripe, destacando-se os de Ghignone *et al.* (1986), Guerra (1986) e Brito Neves (1990), evidenciaram uma bacia muito mais estruturada do que se admitia até então, compartimentada em blocos estruturais com espessuras sedimentares de até 1.700 metros.

Assine (1990) e Ponte (1991) apresentaram um novo modelo estrutural para a bacia do Araripe, no qual se distinguem dois compartimentos estruturais superpostos: o inferior, caracterizado por bacias do tipo rifte, divididas internamente por blocos estruturais (grábens e horstes) e o superior representado pela cobertura tabular que constitui a chapada do Araripe.

Nesse modelo, a estruturação geológica da bacia do Araripe foi condicionada por ciclos tectonossedimentares que resultaram na existência de duas sub-bacias: Feitoria, a oeste, e Cariri, a leste, ambas separadas por um alto estrutural denominado Alto de Dom Leme. Os falhamentos principais situam-se na continuidade do falhamento do embasamento ou se alinham nas mesmas direções dos mesmos, ou seja, NE-SW, e na direção E-W (aproximadamente), concordantes aos lineamentos Patos ao norte e Pernambuco ao sul.

A sub-bacia de Feitoria, a oeste do horste de Dom Leme, foi afetada por tectonismos silurodevonianos e jurocretácios, respectivamente estágios de pré-rifte e rifte. Todo o conjunto mergulha para noroeste e encontra-se limitado por falhas de direção NE-SW, e no seu interior são reconhecidos pelo menos dois blocos escalonados, separados por um gráben.

A sub-bacia do Cariri, localizada a leste do horste de Dom Leme, apresenta feições de movimentações tectônicas mais significativas, sendo estruturalmente constituída por uma série de horstes e grábens dispostos segundo a direção aproximada NE-SW, e denominados:

- a) Gráben do Crato-Juazeiro
- b) Horste de Barbalha
- c) Gráben de Missão Velha
- d) Horste de Abaiara-Milagres
- e) Gráben de Jenipapeiro
- f) Horste de Brejo Santo-Mauriti
- g) Gráben do Serrote das Cacimbas-Palestina

Recobrimo discordantemente grande parte dos riftes neocomianos e do embasamento circundante, ocorre a cobertura tabular subhorizontal mesocretácia, constituindo um pacote sedimentar com espessura média de 500 metros composto pelas formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu, ou seja, o Grupo Araripe pós-rifte.

### **3.3. Evolução Tectonossedimentar**

O principal trabalho sobre a evolução da bacia do Araripe foi publicado por Ponte (1991), que integrou e interpretou os estudos geofísicos, geológicos e morfoestruturais desenvolvidos nos anos 80 pela Petrobras, propondo um modelo para o arcabouço estrutural e evolução da bacia mesozóica do Araripe.

No citado trabalho, o autor faz referência a três estágios bem definidos para a evolução tectônica mesozóica da bacia: estágio pré-rifte, estágio rifte ou sintectônico e estágio pós-rifte. Toda essa sequência mesozóica estaria depositada sobre um ciclo tectônico mais antigo, o ciclo Gama, durante o qual foram depositados os sedimentos silurodevonianos que constituem a base dessa bacia. O ciclo Gama, que na bacia do Araripe seria representado pela Formação Mauriti, não teria relação genética direta com a evolução tectonossedimentar da atual bacia do Araripe, apenas representando remanescentes de uma extensa sedimentação epicontinental paleozóica sobre a Província Borborema.

Ponte e Filho (1996) fazem ainda uma revisão da proposta de Ponte (1991), correlacionando a Formação Mauriti a um remanescente da tectonossequência Beta, de suposta idade siluriana, considerada como embasamento para a coluna mesozóica. A partir desta sequência, propõem a história evolutiva da coluna mesozóica da bacia do Araripe em três tectonossequências, correlacionadas àquelas propostas por Ponte (1991): Estágio Pré-rifte, Estágio Sin-Rifte e Estágio Pós Rifte, após o qual ocorreu uma epirogenia cenozóica. Estes estágios inserem-se em um contexto regional mais amplo, da formação das bacias mesozóicas do interior do Nordeste, relacionadas à fragmentação do paleocontinente Gondwana e formação do Atlântico sul.

#### **a) Estágio Pré-Rifte**

O rifteamento responsável pela ruptura do paleocontinente do Gondwana iniciou-se por esforços tensionais que promoveram o estiramento crustal e a formação de uma extensa calha de estiramento no nordeste brasileiro. Esta longa e rasa bacia interior, denominada de Depressão Afro-Brasileira, estendia-se desde o sul da Bahia até o sul do Ceará, na região do Cariri. O lento processo de subsidência mecânica regional teria propiciado a deposição sedimentar dessa fase evolutiva, que na bacia do Araripe é representada pelas formações Brejo Santo e Missão Velha, de idade donjoaniana.

As idades absolutas limítrofes de 165 Ma e 141 Ma, atribuídas à base e topo da tectonossequência, respectivamente, são altamente especulativas. Assim, admite-se com ressalvas que o estágio tectônico pré-rifte tenha perdurado na bacia do Araripe por 24 milhões de

anos. A análise geo-histórica do poço 2-AP-1-CE (PONTE-FILHO, 1992 *apud*: PONTE e PONTE FILHO, 1996) indica que a subsidência total na bacia durante o estágio Pré-Rifte foi de 765 metros.

O suprimento sedimentar manteve-se sempre em equilíbrio com a subsidência, de tal modo que a sedimentação se processou em ambientes subaéreo ou lacustre raso. Ao final do estágio a bacia estava completamente assoreada, dando lugar ao crescimento de exuberantes florestas sobre suas planícies fluviais. Evidência disso é a abundância de troncos silicificados, alguns *in situ*, encontrados no topo da Formação Missão Velha, sob o contato com a Formação Abaiara.

#### **b) Estágio Sin-Rifte**

O adelgaçamento crustal prosseguiu até atingir o limite de deformação dúctil, no final do Cretáceo. Iniciou-se então o processo de deformação rúptil, o Estágio Sin-Rifte, caracterizado por uma intensa tectônica ruptural que deu origem a um sistema de riftes assimétricos, acompanhando as zonas de fraqueza crustal dos alinhamentos estruturais pré-cambrianos. Os falhamentos de orientação NE-SW, subortogonais à direção dos esforços, foram reativados como falhas tensionais normais, formando grábens.

Os falhamentos de orientação E-W, sub-paralelos aos referidos esforços, foram reativados como falhas de cisalhamento, atuando como zonas de transferência. Na bacia do Araripe, os riftes atingiram um estágio mais avançado, caracterizado pela propagação das falhas de transferência interligando alguns grábens unitários, dando origem a uma bacia maior e de geometria mais complexa.

O processo de rifteamento crustal culminou com a ruptura do paleocontinente Gondwana e migração das placas Sul-Americana e Africana, permitindo a formação do oceano Atlântico Sul e suas margens continentais.

O Estágio Sin-Rifte na bacia do Araripe é representado pela Formação Abaiara, de idade Rio da Serra/Aratu, tendo sido encontrada no poço da Petrobras 2-AP-1-CE com 124 metros de espessura. Estimativas especulativas sugerem que este estágio, na bacia do Araripe, tenha perdurado por 12 milhões de anos (141 a 129 Ma) e que durante esse tempo teria sido depositado um pacote sedimentar com 636 metros de espessura, dos quais 480 teriam sido removidos por erosão.

O seu contato basal sobre a Formação Missão Velha, da tectonossequência Pré-Rifte, é aparentemente concordante, porém em superfície constata-se que ele é marcado por um diastema, evidenciado por uma cascalheira com abundância de troncos de madeira silicificada, no topo da Formação Missão Velha. O topo da Formação Abaiara é truncado por uma superfície erosional, conhecida como discordância Pré-Aptiana.

#### **c) Estágio Erosional**

A discordância pré-aptiana está muito bem evidenciada na bacia do Araripe, sendo mapeável em superfície, no vale do Cariri; rastreável em linhas de reflexão sísmica, além de caracterizada nos registros biocronoestratigráficos. Ponte Filho (1992, *apud* PONTE e PONTE FILHO, 1996) estimou em 20 milhões de anos o hiato identificado no poço 2-AP- 1 –CE. Admite-se

que tenha ocorrido, em algum momento durante esse período, um evento tectônico que tenha feito abortar o rifte e promovido o soerguimento crustal, favorecendo a erosão.

#### **d) Estágio Pós-Rifte**

Após o período de erosão e não deposição teve início, na bacia do Araripe, o último ciclo sedimentar, transgressivo/regressivo (T/R), que constitui a tectonossequência Pós-Rifte, representada pelo Grupo Araripe.

No final do Andar Alagoas começou a deposição dos sedimentos fluviolacustres da Formação Rio da Batateira preenchendo as rasas depressões formadas sobre os riftes neocomianos, então já assoreados e submetidos à erosão. Na passagem do Andar Alagoas para o Albiano a inundação prosseguiu formando um extenso lago que ultrapassava os limites dos citados riftes. Gradualmente, a sedimentação passou a se fazer sob ambiente lacustre, dando origem às litofácies carbonático-argilosas do Membro Crato, da Formação Santana, depositadas sobre as plataformas mais rasas distais.

No Meso-Albiano, uma episódica invasão marinha, provavelmente vinda de oeste, deixou como registro as litofácies transicionais evaporíticas do Membro Ipubi; as litofácies argilo-carbonáticas de ambiente marinho raso do Membro Romualdo e as litofácies terrígenas, de ambiente transicional litorâneo, da Formação Arajara. A partir daí iniciou-se a fase regressiva, dando lugar à sedimentação fluvial da Formação Exu, provavelmente já no final do Albiano ou início do Cenomaniano.

Durante o Estágio Pós-Rifte a subsidência total da bacia, no local perfurado pelo poço 2-AP-1-CE, foi de 563 metros.

Vale registrar que durante o Meso-Albiano um pulso tectônico tardio promoveu falhamentos e basculamentos de blocos, atingindo os estratos das formações Rio da Batateira e Santana (Membro Crato) da tectonossequência Pós-Rifte. Especula-se que esse pulso tectônico tenha sido um reflexo dos últimos abalos sísmicos produzidos por movimentos transcorrentes entre a costa equatorial brasileira e a costa do golfo da Guiné, na África.

#### **e) Epirogenia Cenozóica**

Na bacia do Araripe, não são encontrados registros sedimentares neocretácicos e os depósitos cenozóicos restringem-se a alúvios e colúvios continentais. Em outras áreas do interior do Nordeste, como as bacias do Iguatu (Ceará), Rio do Peixe (Paraíba) e Serra do Martins (Rio Grande do Norte), ocorrem remanescentes de uma cobertura de terrígenos fluviais, de suposta idade terciária, em posições topográficas elevadas. A capa da chapada do Araripe (tectonossequência Pós-Rifte) situa-se em altitudes que ultrapassam 900 metros acima do nível do mar e encontra-se hoje em fase de exumação. Todos esses fatos indicam que a Província Borborema vem sofrendo um suave soerguimento epirogênico, atuante desde o Neoterciário, pelo menos.

O soerguimento epirogênico da região nordestina no período Terciário tem sido atribuído à colisão da vanguarda da placa Sul-Americana, deflagrando o processo de soerguimento da cadeia dos Andes, com reflexos remotos na retaguarda atlântica da placa (SOARES *et al.* 1978 *apud*: PONTE e PONTE FILHO, 1996).

## 4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

### 4.1. Evolução dos Conhecimentos Hidrogeológicos

Os primeiros estudos hidrogeológicos no Nordeste brasileiro foram patrocinados pela Inspeção de Obras Contra a Seca (IOCS), atualmente denominada de Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). De junho de 1913 a janeiro de 1914, Horatio L. Small empreendeu uma expedição pelos estados do Ceará e Piauí com a finalidade de determinar a relação das águas subterrâneas com a geologia da região, ficando provada a sua importância para os trabalhos de perfuração de poços.

Apesar dos conhecimentos geológicos terem avançado após a criação do IOCS, muitos poços foram construídos por leigos, de forma empírica. Após a criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), com a vinda de vários técnicos de missões estrangeiras, é que realmente se deu o grande desenvolvimento da hidrogeologia nordestina através da construção de poços com técnicas avançadas que são utilizadas até os dias atuais.

Aliado a este fato, a criação dos cursos de geologia no Brasil, em 1957, e a formação das primeiras turmas de geólogos nas universidades brasileiras no início da década de 60, promoveram um grande impulso no conhecimento hidrogeológico, não só na região Nordeste como também em todo o Brasil.

Em 1962, foi criado junto à Seção de Hidrogeologia da SUDENE o Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe (GEVJ), com a dupla missão técnico-didática de realizar o estudo geral das águas subterrâneas do vale do Jaguaribe (75.000 km<sup>2</sup>) e formar os primeiros hidrogeólogos brasileiros. Os trabalhos são concentrados em torno das três bacias sedimentares, do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, ou seja, um quarto da superfície total, as quais ofereciam, comparativamente, possibilidades mais amplas de armazenar água subterrânea.

Gasparly *et al.* (1967) apresentam os resultados obtidos com o Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Do ponto de vista hidrogeológico, os autores definem três sistemas aquíferos na bacia sedimentar do Araripe: os arenitos Feira Nova, na chapada do Araripe; os arenitos Missão Velha, no vale do Cariri e; os arenitos Mauriti, também no vale. Todos separados por importantes níveis pouco permeáveis: as formações Santana e Brejo Santo. As reservas totais acumuladas na chapada do Araripe foram estimadas em  $2,5 \times 10^9$  m<sup>3</sup>, com um coeficiente de transmissividade de  $2 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s e permeabilidade de  $3 \times 10^{-5}$  m/s. Para os aquíferos do vale do Cariri foram encontrados os seguintes valores para os coeficientes:  $T=10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s,  $S=8 \times 10^{-3}$  e  $K=1,6 \times 10^{-5}$  m/s, e as reservas totais acumuladas são de  $1,65 \times 10^9$  m<sup>3</sup>.

Ainda na década de 60, a SUDENE concebeu o Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, como um instrumento

básico de pesquisa dos recursos de água subterrânea do Polígono das Secas, destinado a prover os conhecimentos de caráter regional, indispensáveis à definição dos estudos locais de exploração. Os trabalhos foram sintetizados em doze relatórios com mapas (1:500.000), que cobrem uma superfície de 580.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 70% da área do Polígono das Secas.

Em 1970, Cruz e França apresentam os resultados dos estudos realizados pelo programa “Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste” na Folha Jaguaribe-SO. A estimativa sobre as reservas de água subterrânea e os demais aspectos hidrogeológicos foram principalmente extraídos de Gasparly *et al.* (1967), não tendo sido realizada nenhuma etapa de campo durante a execução desse trabalho.

Em 1976, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE, através da empresa de consultoria PLANAT, realizou o estudo de dimensionamento das condições de exploração de uma bateria de sete poços tubulares instalados em Juazeiro do Norte. Os poços foram distribuídos ao longo do vale do riacho dos Macacos, com profundidades entre 110 e 220 m, captando a Formação aquífera Missão Velha. Com base nos testes de bombeamento, concluíram que o aquífero Missão Velha apresenta uma potencialidade capaz de suprir a demanda de 800 m<sup>3</sup>/h e recomendaram a vazão de 150 m<sup>3</sup>/h para dois poços e 100 m<sup>3</sup>/h para os demais.

Com a crescente demanda por água na cidade de Juazeiro do Norte, a CAGECE contratou novamente a PLANAT, em 1984, para realizar um estudo geofísico com o objetivo de obter informações geológicas de subsuperfície que permitissem orientar adequadamente a locação de novos poços. O método utilizado foi o de eletrorresistividade sendo: SEV's (48) com AB/2 máximo de 900 m e perfis elétricos (5) com AB/2 de 200 m todos executados com o ER-500 TEXAS/MULTITROM. As curvas de campo foram interpretadas através do método do ponto auxiliar e ajustadas através do programa de computação desenvolvido por L. Rijo. Como resultado, destaca-se a detecção de duas zonas onde os arenitos aquíferos da Formação Missão Velha exibem boas transmissividades, superiores às aquelas detectadas na área de captação.

As dificuldades na captação de água subterrânea no topo da chapada do Araripe motivaram Marques *et al.* (1984) a realizar o estudo de resistividade elétrica para investigar as possibilidades hídricas subterrâneas a uma profundidade inferior a 40 metros. Concluíram que existe um aquífero descontínuo pouco profundo, com água de boa qualidade e espessura média da ordem de 10 m. Sobreposto ao aquífero ocorre, em grandes trechos, um arenito duro, por vezes silicificado, que dificulta a escavação das cacimbas.

Em 1988, a CAGECE realizou uma avaliação das condições de captação de água dos poços para abastecimento de Juazeiro do Norte. Avaliou que a disponibilidade hídrica dos dezessete poços instalados era de 2.552 m<sup>3</sup>/h e quando da instalação de novos poços em Juazeiro do Norte e



Missão Velha o volume explotado será da ordem de 33,7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/h, ou seja, três vezes maior que a reserva anual explotável estimada pelo Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe (GVJ). Recomendou o monitoramento rigoroso do nível piezométrico dos poços que abastecem essas cidades, assim como a utilização de modelos matemáticos hidrogeológicos para que se possa ter uma visualização do rebaixamento no tempo e no espaço.

A Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH elaborou, em 1992, o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH. Este importante instrumento de gestão contém todo um estudo da capacidade e das potencialidades dos recursos hídricos a nível estadual e tem como objetivo viabilizar a utilização mais racional da água, sua proteção atual e futura e um sistema de monitoramento climático e hídrico permanentes. Para dar subsídios ao estudo das águas subterrâneas foi realizado um cadastro de poços tubulares e análises físico-químicas e bacteriológicas para toda a bacia do Jaguaribe, cadastrando 3.537 poços e 624 análises, formando um banco de dados e contribuindo, conseqüentemente, para o entendimento maior dos aspectos pertinentes às águas subterrâneas desta região.

Em 1996, o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM realizou um importante estudo hidrogeológico de caráter regional na bacia sedimentar do Araripe. Esse projeto teve o objetivo de avaliar o potencial hidrogeológico da bacia e estabelecer parâmetros que permitam a exploração racional das águas subterrâneas. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico de trabalhos relacionados à bacia nas diversas áreas da geologia; uma reinterpretação das linhas de reflexão sísmicas executadas pela Petrobras; um cadastramento dos poços e fontes, com realização de análises físico-químicas e alguns ensaios de bombeamento; o nivelamento barométrico dos poços; locação de sete poços estratigráficos

e perfuração de um (4-BO-01-PE) no município de Bodocó-PE e; a elaboração de mapas hidrogeológicos temáticos com a avaliação de reservas e disponibilidades.

Foi proposta uma divisão hidrogeológica para a bacia em três sistemas aquíferos principais: Sistema Aquífero Superior (formações Exu e Arajara); Sistema Aquífero Médio (formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha) e; Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo). As principais características dos diferentes sistemas aquíferos estão resumidas na Tabela 4. A preocupação com a degradação dos aquíferos ficou evidente quando foi recomendada a realização de campanhas sistemáticas de monitoramento das descargas das fontes e dos níveis de água dos poços, assim como a elaboração de normas específicas que evitem a infiltração de substâncias nocivas, tanto orgânicas como químicas.

Dada a importância da bateria de poços da CAGECE para o abastecimento público da cidade de Juazeiro do Norte, Mendonça (1996) estudou as condições de armazenamento das águas exploradas por estes poços. Essa bateria é constituída de 17 poços tubulares na área do riacho dos Macacos/Lagoa Seca.

Inicialmente foram feitas as seguintes atividades: uma sinopse dos 17 perfis geológicos de perfuração para entender a estratificação da área da bateria; uma avaliação dos testes de bombeamento para obtenção dos parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos; a interpretação das medidas químicas e isotópicas (O-18, C-14) das águas dos poços; a simulação do comportamento da bateria sob exploração com o modelo computacional MODFLOW e; a aplicação deste modelo na previsão dos rebaixamentos em condições desfavoráveis de recarga para o futuro.

Foi possível identificar conexões hidráulicas entre o aquífero Rio da Batateira e o Missão Velha. O aquífero Rio da Batateira mostra-se de recuperação rápida em períodos

**Tabela 4. Principais características dos diferentes Sistemas Aquíferos existentes na Bacia do Araripe**

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	SUPERIOR	MÉDIO	INFERIOR
Espessura média total (m)	320	500	100
Espessura saturada (m)	30 a 50	480	85
Área total (km <sup>2</sup> )	7.500	2.830	3.430
Coeficiente de transmissividade (m <sup>2</sup> /s)	-	5 x 10 <sup>-3</sup>	3 x 10 <sup>-3</sup>
Coeficiente de permeabilidade (m/s)	-	5 x 10 <sup>-5</sup>	4 x 10 <sup>-6</sup>
Coeficiente de armazenamento	1 x 10 <sup>-4*</sup>	2 x 10 <sup>-4</sup>	1 x 10 <sup>-5</sup>
Área de recarga (km <sup>2</sup> )	5.670	2.100	850
Precipitação pluvial (mm/ano)	900	970	900
Reserva permanente (m <sup>3</sup> )	1,02 x 10 <sup>10</sup>	8,37 x 10 <sup>10</sup>	4,90 x 10 <sup>9</sup>
Reserva reguladora (recarga) (m <sup>3</sup> /ano)	1,00 x 10 <sup>8</sup>	1,12 x 10 <sup>8</sup>	1,75 x 10 <sup>7</sup>
Descarga natural (m <sup>3</sup> /ano)	4,45 x 10 <sup>7</sup>	4,00 x 10 <sup>7</sup>	8,00 x 10 <sup>6</sup>
Disponibilidade virtual (m <sup>3</sup> /ano)	5,55 x 10 <sup>7</sup>	7,20 x 10 <sup>7</sup>	9,50 x 10 <sup>6</sup>
Bombeamento por poços (m <sup>3</sup> /ano)	0	4,00 x 10 <sup>7</sup>	3,65 x 10 <sup>6</sup>
Descarga total atual (m <sup>3</sup> /ano)	4,45 x 10 <sup>7</sup>	8,00 x 10 <sup>7</sup>	1,17 x 10 <sup>7</sup>
Reserva disponível (m <sup>3</sup> /ano)	5,55 x 10 <sup>7</sup>	3,20 x 10 <sup>7</sup>	5,85 x 10 <sup>6</sup>

Nota: \* para o aquífero confinado

Fonte: DNPM (1996)

de alta pluviosidade, porém em tempos prolongados de estiagem os rebaixamentos na área da bateria de poços chegam a atingir 45 metros.

Ainda em 1996, Silva utilizou medidas isotópicas de carbono-14, carbono-13, oxigênio-18, trítio e deutério, além de dados hidroquímicos das águas armazenadas na chapada do Araripe e no vale do Cariri, para elaborar um modelo fenomenológico de circulação da água em toda a bacia sedimentar. Com esse conjunto de dados foi possível identificar três tipos distintos de exutórios, que são fontes nos contatos das formações aquíferas e percolação para formações mais profundas, e, no vale, identificar a recarga dos aquíferos profundos através de infiltração local das águas pluviais nas áreas de recarga e por percolação através da chapada do Araripe.

Também foi identificada recarga direta do aquífero mais profundo em áreas de intenso tectonismo como no horste de Mauriti e foi constatada a importante contribuição das aluviões para alimentação dos aquíferos livres. O uso de técnicas estatísticas fatoriais mostrou que os dados escolhidos como representativos de cada armazenamento são bem aferidos.

Em 1998, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM executou o Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Este Programa teve como meta básica o levantamento das condições atuais de todas as fontes (poços tubulares, poços amazonas e fontes naturais). Elas captam e produzem água subterrânea existentes em cada município do estado, fornecendo subsídios para implantação imediata, por parte dos órgãos governamentais, de ações corretivas em captações passíveis de recuperação, na expectativa de aumentar a oferta de água e minorar o drama atual da população do Ceará.

Foram cadastrados 1.426 poços na sub-bacia do Salgado, com 901 (63,2%) em uso para abastecimento, sendo 837 públicos e 514 privados, com vazões variáveis de 1,7 m<sup>3</sup>/h (cristalino) até 250 m<sup>3</sup>/h (Aquífero Missão Velha-Crato), com predominância de vazões médias por município no intervalo de 2,2 (Milagres) a 31 m<sup>3</sup>/h (Barbalha) para poços em áreas sedimentares, cujas profundidades alcançam 325 metros (Juazeiro do Norte), mas com predominância entre 40 a 130 metros.

Costa *et al.* (1998) realizaram o estudo de caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos sob os enfoques de disponibilidades, qualidade e gestão, tendo em vista a elaboração de um Plano de Desenvolvimento

Sustentável para a Área de Proteção Ambiental (APA) da Chapada do Araripe, criada por Decreto Federal em 04/08/97.

Além do esquema de gestão proposto para o pleno atendimento das necessidades de uso e preservação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas contidas na APA Araripe, outras ações complementares devem ser desenvolvidas, dentre as quais se destacam: o monitoramento dos dados dos postos fluviométricos, pluviométricos e dos poços existentes na região; a melhoria desses postos de observação; muitas das estações se acham abandonadas; a realização de poços profundos para um melhor conhecimento da hidrogeologia da bacia sedimentar e; realização de estudos mais detalhados sobre as águas superficiais e subterrâneas da região.

Dando prosseguimento à política de planejamento e gestão dos recursos hídricos, o Governo do Estado do Ceará implementou em 1999, através da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, o Plano de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Neste plano as águas subterrâneas integram um capítulo específico e mostram, no geral, a evolução dos conhecimentos hidrogeológicos no âmbito da bacia do Jaguaribe após o desenvolvimento do Plano Estadual dos Recursos Hídricos – PERH.

A Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH, através da Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA, em 2001, concluiu a construção de cinco poços pioneiros na chapada do Araripe, atendendo à recomendação do DNPM (1996). Além de suprir as demandas de água da região, este projeto teve o objetivo de consolidar o conhecimento hidrogeológico da bacia sedimentar do Araripe, reavaliando a capacidade produtiva dos aquíferos e possibilitando o planejamento de novos estudos hidrogeológicos.

Os três primeiros poços (PP1, PP2 e PP3) foram construídos através da empresa Central Perfuradora Araraquarense – CPA, vencedora do processo licitatório, enquanto que os poços PP4 e PP5 foram realizados diretamente pela SOHIDRA, utilizando uma perfuratriz cedida pela CPRM em Contrato de Comodato. Vale ressaltar que o poço PP1 corresponde ao poço 2.API-CE construído pela PETROBRAS na década de 80, e que o poço PP5 foi descartado por atingir o embasamento cristalino aos 183 m, quando os estudos indicavam uma espessura de sedimento da ordem de 420 metros. A Tabela 5 apresenta as principais características dos poços pioneiros construídos na chapada do Araripe.

**Tabela 5. Características dos poços pioneiros na Chapada do Araripe**

POÇO	MUNICÍPIO	LOCAL	COTA (m)	PROF. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)
PP1	Araripe	Araripe	850	906	419	550	150
PP2	Santana do Cariri	Serra do Cruzeiro	900	902	453	500	75
PP3	Santana do Cariri	Brejo Grande	500	314	80	120	150
PP4	Araripe	Desapregado	830	702	375	430*	400*

Fonte: SRH, 2001

(\*) Valor Previsto

Mendonça, em 2001, utilizou a modelagem isotópica e matemática para entender o funcionamento dos aquíferos da chapada do Araripe, quantificar suas reservas e avaliar a vulnerabilidade à poluição. As reservas permanente e reguladora, a vazão média das fontes e a infiltração profunda através das fraturas no aquíclode Santana foram determinadas utilizando o modelo computacional MODFLOW. Estes valores foram comparados com valores determinados em outros trabalhos da literatura existente na época; a reserva permanente está compatível com o valor do DNPM (1996) e a reserva reguladora não apresenta diferença considerável para o valor do GEVJ (1967); o valor da infiltração profunda não foi calculado pelo DNPM (1996) e é bem diferente do valor obtido pelo GEVJ (1967).

Foram simuladas as linhas de trajetórias do fluxo subterrâneo e o tempo de percurso de partículas por transporte advectivo nos aquíferos da chapada. Os resultados mostram uma trajetória preferencial de partículas do setor oriental da chapada, principal área de recarga, para o setor ocidental e para o aquífero Rio da Batateira, através de conexões hidráulicas no aquíclode Santana, com tempo total de percurso de respectivamente 14.000 e 30.000 anos. No setor ocidental, do poço 4-BO-01-PE (Bodocó PE) até o poço IPA (Araripina PE), onde praticamente não há recarga, e na conexão hidráulica nas imediações do poço 4-BO-01-PE, os tempos de transporte foram de 8.475 e 24.153 anos, determinados pelo modelo de fluxo de pistão com uso de carbono-14.

Anjos (2000) avaliou a possibilidade de exploração do aquífero Rio da Batateira para atender à demanda populacional dos municípios de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha no ano de 2020. Para isso foram avaliados o consumo da população urbana e o potencial de seus aquíferos. Através dos dados de poços e fontes levantados pelo DNPM (1996) foram confeccionados mapas temáticos e calculadas as dimensões e reservas permanentes do aquífero Rio da Batateira, que totalizaram 11 bilhões de metros cúbicos. O balanço hídrico indicou uma reserva reguladora de 84,1 mm/ano. O mapa de resíduo seco revela que as águas são de boa qualidade para consumo humano.

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH contratou o Consórcio GOLDEN-PIVOT, para avaliar o potencial de água subterrânea do aquífero Missão Velha na bacia sedimentar do Cariri e propor um sistema de monitoramento e gestão desses recursos hídricos. O estudo contemplou a pesquisa bibliográfica dos principais trabalhos realizados na área relacionados à geologia; o cadastramento de poços e fontes; o monitoramento quantitativo e qualitativo das águas de poços, fontes e rios; testes de bombeamento e; elaboração de um plano de operação para o aquífero Missão Velha, com uma proposta metodológica para o monitoramento e gestão de aquíferos.

Em 2002 o Consórcio GOLDEN-PIVOT apresentou o Relatório Específico–Fase I, que mostra os resultados obtidos com a pesquisa bibliográfica e o levantamento geológico-estrutural de campo para reconhecimento do gráben do Crato-Juazeiro. Traz ainda um estudo da Universidade Federal do Ceará sobre a qualidade das águas do Cariri, sob o ponto de vista da hidroquímica, dos isotópicos ambientais e interação entre os diferentes sistemas aquíferos, onde os autores concluem que existe drenança entre os aquíferos Superior e Médio, através da Formação Santana.

Marinho *et al.* (2002) realizaram uma revisão dos estudos geoeletricos publicados anteriormente, com a reinterpretação dos dados de mais de uma centena de sondagens elétricas verticais executadas na área do gráben de Crato-Juazeiro. O objetivo deste trabalho foi a utilização da interpretação de dados de eletrorresistividade na tentativa de estabelecer uma correlação entre estes e as colunas hidroestratigráficas dos diversos blocos desse gráben.

Como complemento aos estudos anteriores, foram realizadas 21 sondagens Schlumberger com AB/2 de 1.000 a 2.000 m. Na análise e interpretação dos dados das SEVs aplicou-se a técnica de imageamento geoeletrico como ferramenta auxiliar dos processos de interpretação/visualização dos estratos geoeletricos, tanto em colunas como em seções 2-D, inclusive com a parametrização destas através de dados de poços com perfilagem geofísica. Concluíram que a metodologia adotada foi bastante proveitosa na identificação dos sistemas aquíferos da bacia, como também na delimitação do gráben e de seus sub-blocos, constituindo-se em uma excelente ferramenta no estudo da hidroestratigrafia da bacia do Araripe.

Em 2003, Kimura propõe um modelo de escoamento subterrâneo para o gráben de Crato-Juazeiro, na sub-bacia do Cariri, onde o denominado Sistema Aquífero Médio se comporta com um aquífero livre sob a chapada do Araripe, não formando um sistema hidráulico contínuo com o Sistema Aquífero Superior. Através do balanço hídrico, foram quantificadas as reservas renováveis dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior em  $5,4 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano e  $4,8 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, respectivamente.

São explotados pelos poços tubulares na região  $4,0 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano e  $8,4 \times 10^5$  m<sup>3</sup>/ano desses sistemas aquíferos. Considerando-se que toda reserva renovável pode ser explotável, restariam ainda  $1,3 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano e  $4,0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior, respectivamente, a serem explorados.

Machado (2005) desenvolveu um modelo de fluxos subterrâneos na bacia sedimentar do Araripe com base em processos geoquímicos. Neste trabalho foi analisado o comportamento hidrogeoquímico e hidroisotópico através de um cálculo numérico do fluxo de água subterrânea e uma análise estatística do conjunto de dados para as águas subterrâneas na região compreendida pelo gráben de Crato-Juazeiro. O uso da hidrogeoquímica permitiu uma análise da qualidade das

águas, assim como uma “inversão hidrogeoquímica” segundo processos compatíveis com a mineralogia e estratigrafia da bacia. O uso dos isótopos de  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  e  $^{14}\text{C}$  permitiu identificar efeitos antrópicos nos centros urbanos das cidades da região.

A modelagem numérica do fluxo de água subterrânea através das formações geológicas da chapada do Araripe até o vale do Cariri, na Formação Rio da Batateira, demonstrou a percolação da água subterrânea pelo aquíclode Santana, através de suas falhas, fraturas ou veios. A análise estatística fatorial R-modal, que enfoca a inter-relação entre parâmetros que identificam as amostras de água, identificou os principais processos hidrogeoquímicos de formação destas águas, e a análise fatorial Q-modal, cujo enfoque é a inter-relação das amostras entre si, agrupou amostras segundo características comuns.

Em 2008 a CPRM através de convênio com a FINEP e em parceria com Universidade Federal do Ceará (UFC), desenvolveu projeto específico para água subterrânea na bacia sedimentar do Araripe, contemplando os seguintes aspectos: levantamento geofísico por eletrorresistividade; confecção de mapa potenciométrico; teste de aquíferos; balanço hídrico; modelagem hidrogeológica; cálculo de reservas, estudos hidroquímicos e isotópicos; estudo de vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas e geração de subsídios para o suporte e a gestão das águas subterrâneas.

## **4.2. Caracterização Hidroquímica**

Santiago *et al.* (1988) realizam as primeiras análises hidroquímicas em águas subterrâneas da bacia do Araripe. Foram analisadas doze amostras de água de fontes na chapada e onze amostras de água subterrânea em poços profundos. Os resultados mostram a evolução da composição química através de processos de dissolução e hidrólise durante a infiltração das águas.

As águas analisadas foram divididas em três grupos distintos: (i) água de fontes situadas no contato das formações Exu e Santana, com concentração de sais muito baixa ( $\text{CE} \approx 30 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) resultante de uma infiltração rápida e passagem rápida pelos arenitos da Formação Exu; (ii) poços na Formação Missão Velha com concentração de sais muito superior à das águas das fontes, provenientes de processos de dissolução durante a infiltração que, sendo mais lenta, permite atingir um equilíbrio químico com o meio que favorece a dissolução de carbonatos e; (iii) poços na Formação Mauriti, aqueles com maior concentração salina, com águas que refletem processos semelhantes aos atuantes com as águas da Formação Missão Velha, mas que são marcadas pela presença de margas no aquífero.

### **4.2.1. Estudos Isotópicos**

Em 1990, Frischkorn *et al.*, a partir de medições de algumas fontes do Cariri e métodos de hidrologia isotópica,

caracterizaram as águas da chapada e da bacia do Araripe com a finalidade de testar o modelo de funcionamento do sistema aquífero proposto pelo GEVJ em 1967. Avaliações hidroquímicas mostram a evolução da composição química através de processos de dissolução e hidrólise durante a infiltração da água na chapada. Como conclusão, medidas da razão isotópica oxigênio-18/oxigênio-16 mostram que as fontes são sujeitas às variações sazonais e anuais, permitindo distinguir as contribuições de infiltração profunda através da chapada e recarga local para a água no aquífero Missão Velha. Segundo os autores, a infiltração vertical na chapada do Araripe é extremamente rápida, com um tempo de trânsito de poucos meses na Formação Exu.

### **4.2.2. Análise da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação**

Em função da importância que as águas subterrâneas representam para a região do Cariri, a CPRM implementou o Projeto AMCARI – Avaliação Ambiental da Região do Cariri, visando um melhor conhecimento e uso dos recursos naturais. Dentro dessa premissa, Ribeiro e Veríssimo (1995), utilizando os critérios de vulnerabilidade natural dos aquíferos estabelecidos por Foster (1987) e os conhecimentos diretos da região abordada, definiram três zonas que determinam a maior ou menor facilidade de um aquífero vir a ser afetado por uma carga contaminante. A zona de maior vulnerabilidade corresponde a região de aluviões e onde afloram os arenitos das formações Missão Velha e Exu. A zona de mais baixa suscetibilidade compreende à região onde afloram as rochas cristalinas e os sedimentos da Formação Santana.

## **4.3. Contexto Hidrogeológico da Área de Estudo**

### **4.3.1. Caracterização geral**

A bacia sedimentar do Araripe apresenta uma diversificação litológica caracterizada por sequências alternadas de arenitos, siltitos, calcários, argilitos e folhelhos, podendo alcançar uma espessura total da ordem de 1.600 m. Essa diversificação litoestratigráfica acarreta a formação de uma alternância de aquíferos, aquíferos e aquíclodes, que apresentam características variáveis também com relação à localização, isto é, variam espacialmente, mostrando descontinuidades verticais e laterais.

Os depósitos sedimentares da bacia do Araripe e, conseqüentemente, da sub-bacia do Cariri, podem ser representados por unidades hidroestratigráficas diferenciadas com base nas suas propriedades hidráulicas. Desta forma os aquíferos e aquíferos e aquíclodes na bacia são, em geral, coincidentes com seus representantes

estratigráficos (Figura 4). A principal unidade aquífera que garante o fornecimento de água na área de estudo é coincidente aos arenitos da Formação Missão Velha, definido como pertencente ao Sistema Aquífero Médio (DNPM, 1996).

Na sub-bacia do Cariri, o controle tectônico afetou muito mais as estruturas geológicas, compondo um quadro de altos e baixos sucessivos, que dificulta o dimensionamento dos volumes acumulados de sedimentos em cada compartimento, sobretudo pela ausência de poços profundos perfurados naquela

área. A compartimentação estrutural exerce grande influência no Sistema Aquífero Médio uma vez que nas áreas de horstes as espessuras sedimentares são inferiores às espessuras encontradas nas áreas de grábens.

A partir dos vários perfis sísmicos realizados na área por Ponte (1993, *apud*: DNPM, 1996), foi possível avaliar uma espessura média de sedimentos no Sistema Aquífero Médio de 295 metros na sub-bacia do Cariri, numa área total de 2.830 km<sup>2</sup>. O sentido preferencial do fluxo ocorre de sul para norte e de oeste para leste.

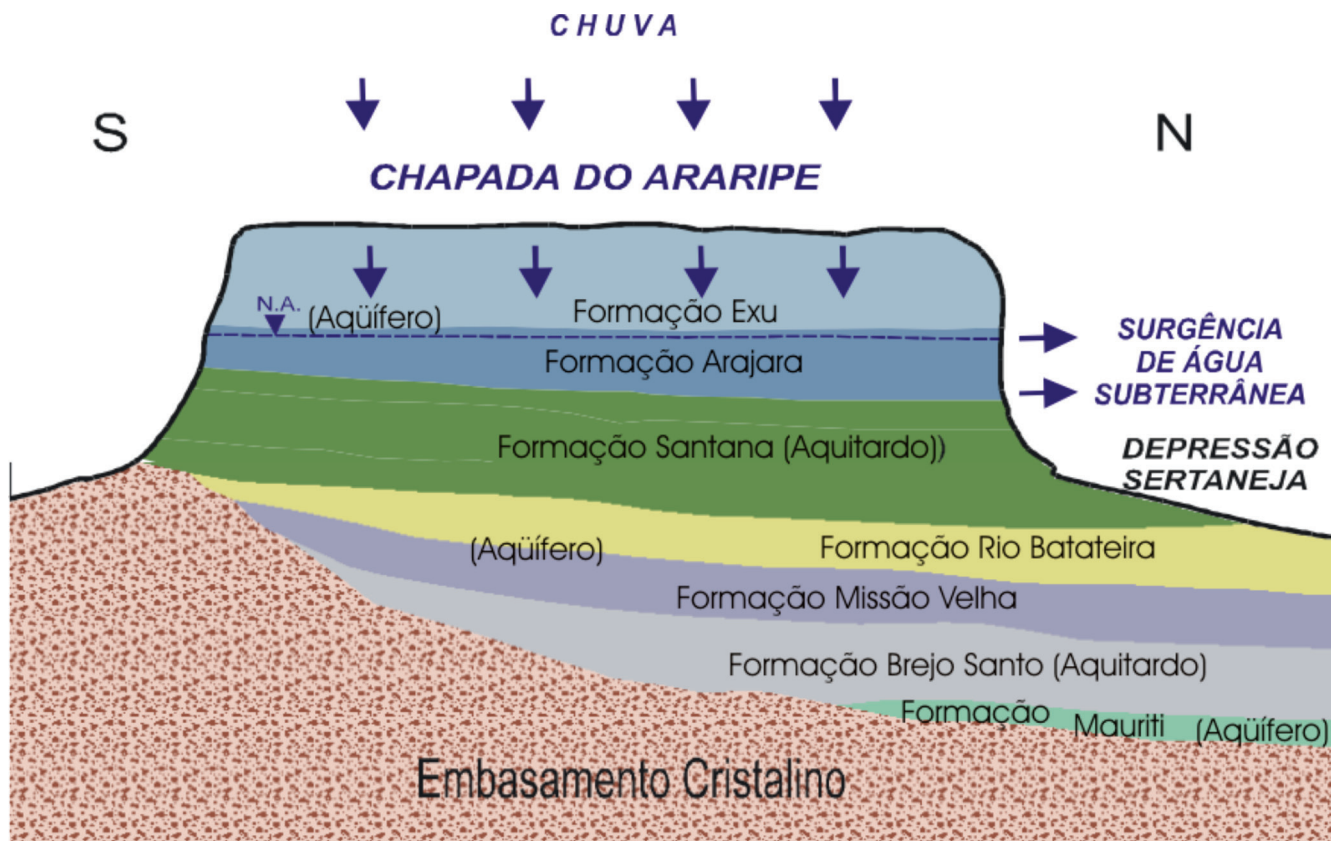


Figura 4. Representação esquemática das unidades estratigráficas da bacia do Araripe e suas conotações hidrogeológicas  
Fonte: DNPM (1996, *apud* COGERH/GOLDER/PIVOT, 2002)

A recarga do Sistema Aquífero Médio na sub-bacia do Cariri é proveniente da infiltração direta da água das chuvas (98%) e da infiltração de águas provenientes de surgências de águas subterrâneas (2%), o que totaliza 112 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano para as reservas reguladoras, numa área de recarga de 2.100 km<sup>2</sup>. As reservas permanentes do referido sistema aquífero nessa área da sub-bacia do Cariri foram calculadas em DNPM (*op.cit.*) como sendo de 40 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>.

A descarga natural do sistema de fluxo de água subterrânea do Sistema Aquífero Médio na sub-bacia do Cariri faz-se ao longo do vale do rio Salgado e de seus afluentes (riacho das Batateiras e riacho dos Porcos), garantindo parcialmente o caráter perene de algumas drenagens da região. A descarga através das drenagens superficiais da sub-bacia do Cariri e perda por evapotranspiração, foi estimada como aproximadamente 72 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano.

A descarga artificial do Sistema Aquífero Médio ocorre principalmente através do bombeamento

de poços tubulares profundos, totalizando na sub-bacia do Cariri uma vazão de descarga artificial de aproximadamente 40 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano.

#### 4.3.2. Características hidrodinâmicas

O estudo hidrodinâmico efetuado por DNPM (1996), a princípio, utilizou os ensaios de bombeamento existentes e complementou-se com três testes realizados em poços construídos pela Fundação Nacional de Saúde – FNS no Crato, totalizando 38 ensaios nesse sistema aquífero. Com isso, pode-se admitir para o Sistema Aquífero Médio os seguintes coeficientes hidrodinâmicos como valores mais representativos:

- Coeficiente de transmissividade T = 5 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s
- Coeficiente de permeabilidade K = 5 x 10<sup>-5</sup> m/s
- Coeficiente de armazenamento S = 2 x 10<sup>-4</sup>

Apesar do reduzido número de ensaios de bombeamento efetuados com poços de observação (cinco ensaios), que permite o cálculo do coeficiente de armazenamento, constata-se, pelo valor médio encontrado, uma predominância da condição de confinamento. Apenas em Juazeiro do Norte o elevado valor desse coeficiente parece indicar uma condição de semiconfinamento.

### 4.3.3. Reservas e disponibilidades

As reservas de água subterrânea compreendem duas parcelas: permanentes e reguladoras; as primeiras correspondem aos volumes de água acumulados que independem de variações periódicas ou sazonais, enquanto as segundas dizem respeito ao volume de água renovável a cada período anual ou interanual, correspondendo, portanto, à recarga do aquífero.

Considerando para o sistema aquífero na sub-bacia do Cariri um volume de sedimentos da ordem de  $833 \times 10^9 \text{ m}^3$ , distribuídos numa área de  $2.830 \text{ km}^2$ , com uma espessura média de aproximadamente 295 metros, e admitindo um coeficiente de armazenamento de  $2 \times 10^{-4}$ , com porosidade efetiva da ordem de 10%, obtém-se a partir das equações específicas os seguintes valores das reservas permanentes:

- $R_{p1} = 2,83 \times 10^9 \times 295 \times 2 \times 10^{-4} = 166,9 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Aquífero confinado)
- $R_{p2} = 2,83 \times 10^9 \times 295 \times 0,1 = 83,48 \times 10^9 \text{ m}^3$  (Aquífero livre)
- $R_p = R_{p1} + R_{p2} = 166,9 \times 10^6 + 83,48 \times 10^9 = 83,65 \times 10^9 \text{ m}^3$

As reservas reguladoras correspondem às recargas do sistema aquífero, calculada em  $112 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , que representam apenas a 0,13% das reservas permanentes.

Os recursos exploráveis ou disponibilidade do sistema aquífero podem ser considerados sob vários aspectos: disponibilidade potencial do aquífero, virtual do aquífero, instalada dos poços e efetiva dos mesmos poços (DNPM, 1996).

A disponibilidade potencial do sistema aquífero é aquela que considera explorável toda reserva reguladora, isto é, não acarreta depleção nas reservas permanentes. Para o sistema

aquífero em questão, essa disponibilidade correspondente à reserva reguladora e equivale a  $112 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

A disponibilidade virtual do sistema aquífero leva em conta a necessidade de manutenção das descargas de base da rede fluvial da região. Segundo GEVJ (1967), somente o rio Batateiras, o principal dreno superficial dos excessos de água subterrânea, recebe cerca de  $24 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  de contribuições do sistema aquífero e das fontes na área de Crato-Barbalha-Juazeiro do Norte. Uma estimativa feita para as necessidades de toda a drenagem superficial, chegaria a um total aproximado de  $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , reduzindo assim a disponibilidade virtual para  $72 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

A disponibilidade instalada corresponde ao volume que pode ser captado de água subterrânea a partir das obras já instaladas, adotando-se a vazão máxima permissível de cada poço e em regime de bombeamento contínuo (24/24h). No estudo realizado pelo DNPM (1996), o volume total possível de captação para os 684 poços cadastrados na época era de  $100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , o que seria impraticável por superar a disponibilidade virtual.

A disponibilidade efetiva representa o volume atualmente captado nas obras já instaladas, a partir da vazão que vem sendo usada nos poços e no regime de bombeamento utilizado. Considerando o regime de bombeamento de 2 horas diárias para os poços particulares (525 poços) e de 20 horas/dia para os públicos (24 poços), chega-se a um volume total de  $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  (DNPM, 1996). Esse valor acha-se compatível com a disponibilidade virtual, pois representa um percentual de 55,5% da mesma.

### 4.3.4. Qualidade das águas

Quando foi levantado o cadastro de poços existentes na bacia do Araripe pelo DNPM (1996), constatou-se que existiam apenas trinta análises de água, sendo dezenove em Juazeiro do Norte, nove em Barbalha e uma análise em Crato e outra em Brejo Santo. Assim, foram executadas mais 72 análises físico-químicas distribuídas homogeneamente entre os municípios da região. A Tabela 6 mostra a relação dos municípios contemplados com os respectivos valores médios dos ânions e cátions, bem como do resíduo seco das análises realizadas.

**Tabela 6. Valores médios do resíduo seco, cátions e ânions (mg/L) das águas analisadas no sistema aquífero médio**

MUNICÍPIOS	R.S.*	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Juazeiro do Norte	212,7	18,8	105,3	46,6	20,7	11,8	37,2	3,5
Crato	166,0	18,1	60,0	16,1	17,4	9,7	8,1	5,1
Barbalha	229,6	19,2	81,7	39,2	16,9	13,3	28,0	3,7
Missão Velha	180,8	25,2	70,7	19,1	17,1	11,2	15,3	6,8
Abaiara	401,0	95,5	132,1	41,4	36,0	25,2	36,0	7,2
Brejo Santo	264,5	21,4	165,4	40,2	27,2	14,0	45,8	6,0
<b>Médias</b>	<b>232,2</b>	<b>29,8</b>	<b>101,1</b>	<b>33,3</b>	<b>21,9</b>	<b>13,4</b>	<b>27,9</b>	<b>5,2</b>

Com base nessas análises, pode-se admitir que as águas do Sistema Aquífero Médio são muito boas, porém observa-se a diferenciação existente entre as águas de Crato-Juazeiro-Barbalha-Missão Velha, todas com valores médios de resíduo seco inferiores a 230 mg/L, da área de Abaiara-Brejo Santo, onde os valores médios de resíduo seco variam entre 264,5 e 401,0 mg/L. Conforme DNPM (1996), essas águas mais mineralizadas são em parte captadas do aquíclode Brejo Santo, visto que, muitos poços na região de Brejo Santo explotam camadas arenosas contidas entre os argilitos do Brejo Santo.

No estudo realizado pelo DNPM (1996) as águas do Sistema Aquífero Médio são classificadas como do tipo bicarbonatadas sódicas, apresentando as seguintes relações iônicas:  $\text{CO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$  e  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ . É esclarecido que essa predominância dos carbonatos e bicarbonatos sobre os demais ânions é normal para águas continentais em aquíferos granulares, mas que a predominância dos sulfatos sobre os cloretos somente pode ser justificada pela presença da gipsita da Formação Santana. As águas das fontes, que constituem um dos elementos de recarga dos aquíferos, ao escoarem superficialmente no talude, por sobre as camadas gipsíferas, provocam a lixiviação dos sulfatos carreando-os para o sistema aquífero.

Veríssimo (1999), por meio da análise de 35 amostras de água nos municípios de Barbalha (10), Crato (12) e Juazeiro do Norte (13), verificou igualmente a predominância de águas do tipo bicarbonatada, seguidas por águas cloretadas e mistas. Com relação à potabilidade, todas as amostras estavam dentro dos padrões adotados pelo Ministério da Saúde no Brasil e pela Organização Mundial de Saúde – OMS. Quanto ao uso das águas na indústria e na irrigação, as análises identificaram um caráter predominantemente corrosivo, o que prejudica alguns processos industriais, porém enquadrando-se na faixa de baixo a médio risco de salinidade e baixo risco de sódio, podendo ser usadas para irrigação em muitos tipos de lavouras e diferentes tipos de solos.

Segundo o DNPM (1996), todas as 102 amostras analisadas mostraram-se aproveitáveis para uso na irrigação. A classificação de acordo com os critérios do United States Soil Laboratory (USSL) apresentou-se como: 1) Risco de Adsorção de Sódio - SAR sempre inferior a 5, concordante com a classe  $S_1$ ; 2) condutividade elétrica variável da classe  $C_1$  até  $C_3$ , alcançando 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Assim, apenas 4,8% das amostras analisadas apresentam restrições a alguns tipos de culturas, exigindo solos de boa drenabilidade.

No projeto de monitoramento e gestão do aquífero Missão Velha na bacia do Araripe (COGERH/GOLDER-PIVOT, 2005) foi apresentada uma caracterização qualitativa das águas subterrâneas nos domínios do gráben Crato-Juazeiro, com base em alguns parâmetros hidroquímicos (T, pH, OD, CE, STD,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_3$  e Cl<sup>-</sup>) obtidos em oito campanhas de monitoramento, buscando identificar as áreas críticas, em termos de qualidade, bem como avaliar as suas possíveis fontes de contaminação.

A partir dos resultados das análises, constatou-se que alguns parâmetros (*i.e.* STD,  $\text{NO}_3$  e Cl<sup>-</sup>) apresentaram valores anômalos em pontos específicos da área, caracterizando períodos e locais com condições favoráveis à produção de águas subterrâneas com alguma restrição ao uso, de acordo com os padrões ambientais estabelecidos (Resolução Nº 20, do CONAMA, de 18/06/86; Portaria Nº 518, do Ministério da Saúde, 25/03/04). Além disso, os teores de  $\text{NH}_3$  apresentaram-se acima do padrão de potabilidade das águas na maioria dos pontos e dos períodos monitorados, caracterizando a grande vulnerabilidade do sistema aquífero local.

Em função destes pontos foi possível definir onze áreas críticas, onde ocorreram alterações significativas na qualidade das águas subterrâneas, em pelo menos uma das campanhas realizadas. Estas áreas foram descritas, buscando caracterizar o comportamento dos parâmetros de interesse nos pontos de observação. Para tanto, a partir da base geológica local, foi considerada a distribuição espacial destes pontos e a variação temporal dos valores anômalos observados para os parâmetros de interesse, confrontado-os com as condições físicas existentes na área do gráben de Crato-Juazeiro.

#### 4.3.4.1. Estudos Isotópicos

Os estudos isotópicos das águas subterrâneas do Cariri, realizados pelo Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (SANTIAGO *et al.* 1996) indicam que as águas desse sistema aquífero são recarregadas por infiltração através da Formação Santana. Essa proposta é descartada pelo DNPM (1996), devido a diferenças de cargas potenciométricas existentes entre os sistemas aquíferos Superior e Médio, comprovadas nos poços estratigráficos perfurados na chapada.

#### 4.3.5. Vulnerabilidade natural e risco à poluição

O termo vulnerabilidade natural está intrinsecamente ligado às características hidrogeológicas próprias de cada unidade litológica, que irão fornecer resistência a modificações quanto a ações antrópicas imprevistas, associado à ocupação do meio físico e ao tipo de carga contaminante que possa vir a afetar a unidade aquífera.

As diversas atividades do homem, como as práticas agrícola e industrial, modificam os mecanismos físicos naturais e, conseqüentemente, influenciam em todos os setores e, particularmente, nos recursos hídricos subterrâneos, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. No geral subestima-se a vulnerabilidade das unidades aquíferas, sem se levar em conta a porosidade (que se traduz em capacidade de armazenamento do fluido), permeabilidade (basicamente representa a velocidade com que um fluido atravessa seções de um corpo, no caso rochoso), profundidade do nível estático, posicionamento de áreas de descarga e recarga dos aquíferos e, particularmente, tipo de ocupação do meio.

Várias são as fontes potencialmente capazes de fornecer substâncias poluentes para as águas, tais como: a ausência de saneamento básico; as águas superficiais poluídas; as atividades agrícolas; as atividades industriais e; os poços abandonados e/ou construídos de maneira incorreta. Além das fontes citadas anteriormente, outras formas potenciais de poluição das águas subterrâneas podem ser enumeradas, a exemplo de cemitérios, postos de combustível etc, pesando significativamente, a localização relativa à zona de vulnerabilidade.

Nas últimas décadas diversos métodos têm sido propostos para a gestão da qualidade das águas, trabalhando com aspectos de vulnerabilidade natural e potencial de poluição. Segundo Veríssimo (1999), os mais usuais são: SAI (LE GRAND, 1964); LSR (LE GRAND, 1964); SRS (HAGERTY *et al.* 1973); HRS (CALDWELL *et al.* 1981); SEM (RAO *et al.* 1985); DRASTIC (ALLER *et al.* 1987); IMPACT (CUSTÓDIO, 1992) e; GOD (FOSTER, 1987).

Para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos da região do Cariri, Ribeiro e Varíssimo (1995) utilizaram os critérios propostos por Foster (1987), além do conhecimento direto da região abordada, aplicando o sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero apresentado na Figura 5. Assim, foram definidas três zonas de vulnerabilidade, conforme a Figura 6.

**a) Baixa:** corresponde à região onde afloram as rochas cristalinas e os sedimentos da Formação Santana. É considerada, de modo geral, uma zona de baixa vulnerabilidade devido às baixíssimas condições

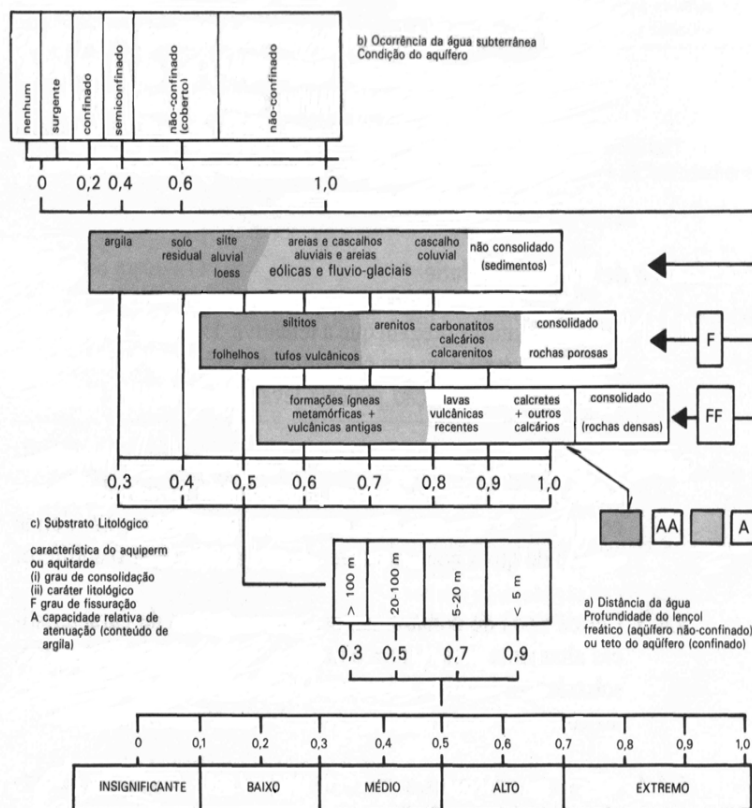


Figura 5. Sistema para avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero  
Fonte: Foster (1987)

de permeabilidade e porosidade dos litótipos, que não permitem um avanço acelerado, comparativamente, de qualquer carga poluente. Automaticamente, o tempo de trânsito de uma carga contaminante é maior.

**b) Moderada:** abrange a região aflorante do aquífero Mauriti, que possui boas características de armazenamento (porosidade) e capacidade de se deixar percolar pela água (permeabilidade), além do nível estático pouco profundo, o que reflete um médio risco de vulnerabilidade. Localmente,

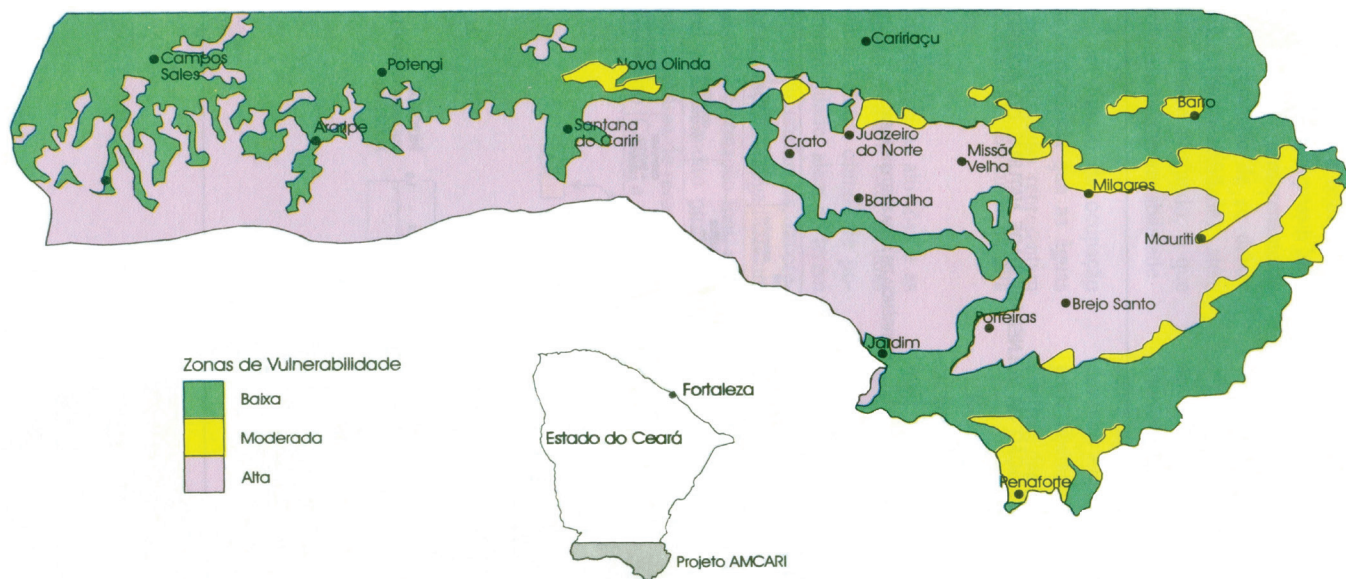


Figura 6. Zonas de vulnerabilidade natural dos aquíferos da região do Cariri  
Fonte: Ribeiro e Veríssimo (1995)



em função da ocupação do meio e da importância que as águas subterrâneas desta formação representam para o Cariri, podem alcançar um nível de alta vulnerabilidade.

**c) Alta:** compreende as aluviões e as formações Missão Velha e Exu; as duas primeiras possuem valores ótimos de porosidade e permeabilidade, além de terem níveis estáticos pouco profundos, favorecendo qualquer migração e chegada de um elemento poluente. A Formação Exu, apesar de ter nível estático muito profundo, representa a principal área de recarga indireta dos aquíferos do Cariri e qualquer poluição que ocorra neste contexto terá, conseqüentemente, reflexos diretos nas águas subterrâneas do Cariri.

Além dos parâmetros abordados, deve ser enfatizada a ocupação e uso dos terrenos. Inúmeras indústrias estão posicionadas sobre aquíferos importantes para a região, devendo existir o monitoramento dos dejetos liberados a fim de que se tenha o controle das cargas potenciais poluidoras. Ressalta-se, finalmente, que um aquífero seriamente

contaminado poderá nunca mais vir a ter as mesmas características qualitativas naturais que o caracterizavam. Os Estados Unidos vêm tentando há anos despoluir unidades aquíferas seriamente comprometidas e ainda, na maioria deles, não conseguiram, mesmo utilizando técnicas modernas que envolvem gastos de milhões de dólares.

#### 4.3.6. Uso da água subterrânea

As águas subterrâneas encontradas na região do Cariri representam importante fonte de abastecimento, tanto para a população urbana e rural de alguns municípios, quanto para o suprimento hídrico de projetos de irrigação.

A população de Juazeiro do Norte é abastecida de água subterrânea de poços tubulares de 400 m de profundidade, sendo que a população que reside na zona rural é suprida por sistema de adutoras provenientes destes poços de, aproximadamente, 30 km (BANCO DO NORDESTE, 2001).

## 5. A REDE DE MONITORAMENTO PROJETADA PARA O AQUÍFERO MISSÃO VELHA

Para o Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), as perfurações de poços previstas visam o monitoramento do aquífero Missão Velha (ou Sistema Aquífero Médio de DNPM, 1996).

Os pontos (locações), previamente selecionados segundo critérios adotados para a rede de monitoramento, foram visitados pela equipe executora do projeto e analisadas suas condições de segurança, posicionamento geológico e aspectos hidrogeológicos, para que se pudesse proceder às perfurações.

De posse das futuras informações obtidas através da RIMAS, espera-se, dentre outros benefícios, contribuir para a avaliação quantitativa da exploração de água subterrânea no sistema aquífero, para estimativa das

reservas e de parâmetros hidráulicos, bem como para avaliação da qualidade da água.

### 5.1. Poços de monitoramento implantados

Até o momento (agosto/2012) foram perfurados e instalados 22 piezômetros. Além disso, foi incorporado à rede um poço existente construído pela CPRM para um estudo realizado na bacia da Araripe. As principais características dos poços de monitoramento encontram-se apresentadas na Tabela 7.

Informações mais completas a respeito dos poços de monitoramento podem ser obtidas na página da RIMAS

**Tabela 7. Principais características dos poços de monitoramento em operação pela CPRM**

NÚMERO DO POÇO (NÚMERO SIAGAS)	LOCALIZAÇÃO		MUNICÍPIO	LOCALIDADE	PROF. (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)
	LATITUDE	LONGITUDE				
2300022129	-7.408	-39.400	Milagres	Agua Vermelha	70.00	10.80
2300022909	-7.219	-38.593	Missão Velha	Arraial de Cima	70.00	6.12
2300022889	-7.331	-39.204	Mauriti	Bananeira	117.00	64.10
2300022892	-7.292	-38.818	Mauriti	Deserto dos Pebas	116.00	76.86
2300022908	-0.730	-38.717	Barbalha	EMBRAPA	70.00	12.55
2300022906	-7.270	-38.949	Crato	Escola Rose F. Macedo	80.00	55.12
2300022129	-7.496	-38.802	Brejo Santo	Jenipapeiro	60.00	8.15
2300022893	-7.491	-38.862	Mauriti	Jequi	70.00	29.50
2300022154	-7.495	-39.016	Brejo Santo	Lagoa da Vaca	80.00	11.08
2300022896	-7.397	-39.270	Abaiera	Queimadas	72.00	18.67
2300022895	-7.320	-39.379	Barbalha	Santana III	72.00	20.75
2300020827	-7.207	-38.932	Crato	São Bento	50.00	14.12
2300022907	-7.287	-38.912	Mauriti	São Sebastião	65.00	3.50
2300022891	-7.258	-39.258	Juazeiro do Norte	Sede_UFC (Campus Cariri)	70.00	26.78
2300022894	-7.293	-39.303	Milagres	Serrote	72.00	18.62
2300022506	-7.591	-3.918	Brejo Santo	Sítio Boqueirão	60.00	18.57
2300022600	-7.348	-3.903	Abaiera	Sítio Cajueiro	78.00	11.65
2300022599	-0.736	-3.899	Missão Velha	Sítio Canta Galo	92.00	41.22
2300022593	-7.372	-39.171	Missão Velha	Sítio Carrancudo	81.00	36.10
2300022598	-7.269	-39.129	Missão Velha	Sítio Jerimum	81.00	48.50
2300022592	-7.290	-39.052	Milagres	Sítio Melo	132.00	79.65

na web da CPRM ([www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)) e no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, disponível no endereço <http://siagas.cprm.gov.br>.

O mapa da Figura 7 mostra a área de exposição do sistema aquífero Tacaratu/Inajá, e a localização dos pontos de monitoramento implantados.

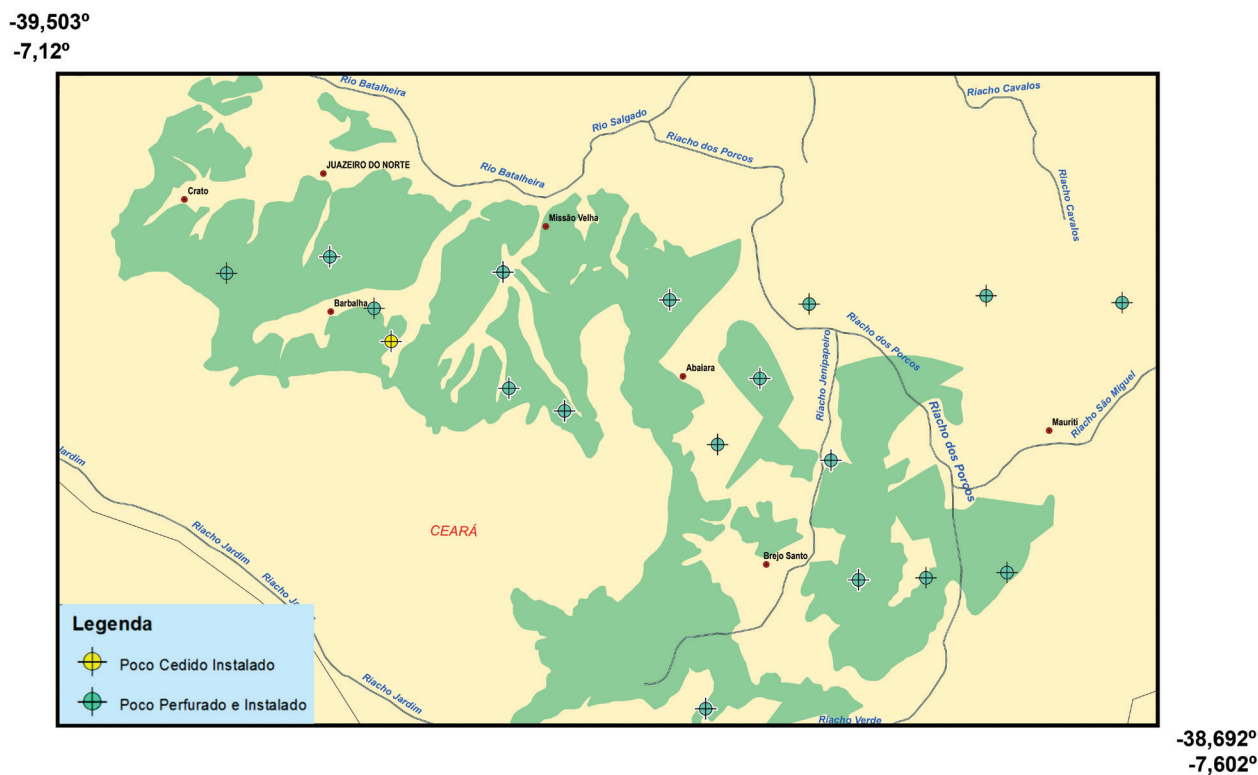


Figura 7. Área de afloramento da Formação Missão Velha e pontos de monitoramento implantados

## **6. INFORMAÇÕES PARA PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DO PROJETO**

Os dados cadastrais sobre os pontos de água são razoavelmente representativos em vista ao universo total de poços da região, que é de aproximadamente 3.500 poços.

Utilizando-se do SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, será selecionado um conjunto de poços tubulares representativos da área, tendo como critérios a existência de dados construtivos e litológicos dos poços e a captação apenas do nível aquífero considerado foco do monitoramento. Após visitas de campo, serão feitas a análise e a seleção final dos poços que possam vir a ser integrados à rede de monitoramento.

Tendo por objetivo a elaboração da potenciometria do(s) aquífero(s) em foco, os poços integrantes da rede de pontos de água serão nivelados altimetricamente. Nesse nivelamento será empregado o sistema geodésico de posicionamento global, utilizando-se a ferramenta denominada de GPS geodésico, capaz de fornecer dados consistentes com precisão centimétrica.

A partir dos dados climatológicos e dos dados do monitoramento deverão ser determinados os componentes do ciclo hidrológico por meio de métodos

de cálculo do balanço hídrico e que permitirá inferir os valores e, possivelmente, os mecanismos de recarga.

Em locais em que não existem poços passíveis de serem utilizados para o monitoramento deverão ser construídos piezômetros.

A partir do resultado analítico das amostragens quinzenais (mínimo de 43 parâmetros) e semestrais (8 parâmetros) serão realizados estudos hidrogeoquímicos e de qualidade da água, verificando-se além de sua classificação para os diversos usos, a sua interação e modificações sofridas naturalmente ao longo do fluxo desde a zona de recarga até o ponto da captação e zonas de exutórios naturais e aquelas oriundas de intervenções antrópicas.

Com base em todos os dados levantados e utilizando os modelos desenvolvidos como apoio, serão avaliadas reservas, recursos, potencialidades e disponibilidades dos recursos hídricos subterrâneos.

Para a implantação de monitoramento de águas subterrâneas é necessário que haja uma estrutura de caracterização hidrogeológica a partir da integração, análise e interpretação dos dados existentes e ampla pesquisa bibliográfica.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, F. T. dos. *Estudo hidrogeológico do aquífero rio da Batateira e caracterização da possibilidade de abastecimento d'água nos municípios do Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – CE*. 2000. 150f. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.
- ANJOS, N. F. R. *Novos elementos sobre hidrogeologia do Alto Jaguaribe Ceará*. Recife: SUDENE. 1963. Série Hidrogeologia, n. 1, 19 p.
- APPI, C. J. PONTE, F. C.; SILVA-TELLES JR. *Geologia da Bacia Sedimentar do Araripe*. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DIVEX. 1990.
- APPI, C. J.; HASHIMOTO, A.; FREITAS, E. L. Fácies sedimentares e sequências deposicionais no neo-Alagoas da Chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. *Boletim de resumos...* Goiânia: SBG. p. 47.
- ASSINE M. L. *Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, Rio Claro*. 1990. 124f. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1990.
- BANCO DO NORDESTE. *Documento referencial do pólo de desenvolvimento integrado cariri cearense. 2001*. Disponível em: <[http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede\\_Irigacao/Docs/Documento%20Referencial%20do%20Polo%20de%20Desenvolvimento%20Integrado%20Cariri%20Cearense.PDF](http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede_Irigacao/Docs/Documento%20Referencial%20do%20Polo%20de%20Desenvolvimento%20Integrado%20Cariri%20Cearense.PDF)>. Acesso em: 2 Ago. 2012.
- BANCO DO NORDESTE. *Perfil econômico da agricultura do Cariri*. Fortaleza: Banco do Nordeste. 1999. 66p.
- BANCO DO NORDESTE. *Perfil econômico da indústria do Cariri*. Fortaleza: Banco do Nordeste. 1999. 81p.
- BANCO DO NORDESTE. *Perfil econômico da pecuária do Cariri*. Fortaleza: Banco do Nordeste. 1999. 62p.
- BARROS F. C. Sobre a Sistemática da Serie Araripe. *Rev. Engenharia. Mineração Metalurgia*. Rio de Janeiro,. v.37, n. 218, p.52, 1963.
- BEURLEN, K. A geologia da Chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 34, n. 3, p. 365-370, 1962.
- BEURLEN K. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.43, supl., p. 411-415, 1971.
- BEURLEN, K. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 17, 1963, Recife. *Anais...* Recife: SBG/SUDENE, 1963. 47 p.
- BRAUN, O. P. G. *Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil (Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe)*. Rio de Janeiro: DGM/DNPM. 1966. Boletim n. 236.
- BRITO NEVES B. B. A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. In: SIMP. BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990, Crato.. *Atas...* Crato: DNPM/SBP/SBG. 1990, p. 21-33.
- CAGECE. *Captação de Juazeiro do Norte: condições de exploração dos poços..* Fortaleza: CAGECE-Companhia de Água e Esgoto do Ceará, 1988. 16p. Relatório de conclusão.
- CAGECE. *Captação de Juazeiro do Norte: Dimensionamento das condições de exploração dos poços tubulares*. Fortaleza: CAGECE-Companhia de Água e Esgoto do Ceará , 1976. 24p.
- CAGECE/PLANAT. *Captação de Juazeiro do Norte: Estudo Geofísico por eletrorresistividade*. Fortaleza: CAGECE/PLANAT, 1984. 153p. Relatório técnico.
- CALDASSO, A. L. da S. *Geologia da quadricula 094E-Folha Crato*. Recife: SUDENE, 1967. n.3, 65 p. Série Geologia Regional.
- COGERH. *Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Rio Jaguaribe*. Fortaleza: COGERH. 1999. CD-ROM.
- COGERH/GOLDER-PIVOT. *Implantação do sistema de monitoramento/gestão de uma área piloto do aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri*. Relatório Específico-Fase I. Fortaleza: SRH/COGERH, 2002. 90p. Inédito.
- COGERH/GOLDER-PIVOT. *Implantação do sistema de monitoramento/gestão de uma área piloto do aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri*. Interpretação dos dados de monitoramento qualitativo das águas subterrâneas na área do graben crato-juazeiro. Fortaleza: SRH/COGERH, 2005. 90p. Inédito.
- COSTA, W. D.; NETO, M. S. C. C; SOUZA, F. J. A. *Plano de Gestão da APA da Chapada do Araripe - CE/PE/PI - Estudo dos Recursos Hídricos*. Fortaleza: FUNDETEC, 1998. 99 p.
- CPRM. *Hidrogeologia da porção oriental da bacia do Araripe*. Fortaleza: CPRM/UFC. 2008. 1 CD-Rom

- CPRM. *Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará – Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará*. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Org.: Francisco Edson Mendonça Gomes. 2000. 1 CD-Rom
- CRUZ, W. B.; FRANÇA, H. P. M. *Inventário hidrogeológico básico do nordeste, Folha 14 – Jaguaribe SO*. Recife: SUDENE-Divisão de Documentação, 1970. n.31., 22p. Série Hidrogeologia.
- DNPM. *Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Programa nacional de estudos dos distritos mineiros*. Recife: DNPM- distritos regionais Pernambuco e Ceará, 1996. 101 p. il.
- FORTES, F. P. *Estudo morfo-estrutural da Chapada do Araripe*. Natal: Petrobras/DIGUAR/DIREX, 1983. (Inédito).
- FOSTER S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. 1987. In: VAN DUIJVENBOODEN W, VANWAEGENINGH HG (eds) *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*. The Hague: Committee on Hydrological Research, 1987. p. 69–86.
- FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F.; BRASIL, R. W. Aspectos Hídricos do Cariri. In: SÍMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990, Crato. *Anais...* Crato: DNPM. v 1. p. 99-110
- GASPARY, J. e ANJOS, N. da F. R. dos; *Estudo Hidrogeológico de Juazeiro do Norte – Ceará*. Recife: SUDENE, 1964. n.3. 25p. Série Hidrogeologia.
- GASPARY, J.; ANJOS, N. da F. R. dos; REBOUÇAS, A. da C.; MANOEL FILHO, J.; LEAL, O., GARAU, J.; GEUILLOT, P. *Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe*. Recife: SUDENE, v.7, 1967, 245p, Hidrogeologia.
- GEVJ - *Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe. Estudo geral de base do Vale do Jaguaribe*. Recife: SUDENE/GEVJ, 1967. 2v.
- GHIGNONE J. I.; COUTO E. A.; ASSINE M. L. *Estratigrafia e Estrutura das Bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. *Anais...* Goiânia: SBG. v.1. p. 271-285.
- GUERRA, S. M. S. *Análise morfoestrutural da Bacia do Araripe*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, 3, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: PETROBRAS/DEPEX, v. TT-119, 1986. 12 p.
- HASHIMOTO A. T.; APPI C. J.; SOLDAN A. L.; CERQUEIRA J. R.. O neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.17, n.2, p.118-122, 1987.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=23&dados=1>> Acesso em: 1 jun. 2012.
- IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Ceará em números 2009. *Informações Socioeconômicas e geográficas ao Governo e à Sociedade Cearense*, 2009. Disponível em <[http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara\\_em\\_numeros/2009/](http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2009/)>. Acesso em 03/abril/2011.
- IPLANCE - FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DO CEARÁ. *Atlas do Ceará. Governo do Estado do Ceará, Secretaria do Planejamento e Coordenação*. Fortaleza: SEPLAN, 1997. 65p.
- KIMURA, G. *Caracterização hidrogeológica do sistema sedimentar do Gráben Crato-Juazeiro, no Vale do Cariri*. 2003. 150f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2003.
- MACHADO, C. J. F. *Modelagem geoquímica e de fluxos do sistema aquífero subterrâneo na Bacia Sedimentar do Araripe*. 2005. 157f. Tese (Doutorado em Física) Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2005.
- MARINHO, J. M. L.; CORDEIRO, W.; VASCONCELOS, S. M. S.; SOUZA, M. L. *Estudos Hidro-Estratigráficos da Bacia do Araripe, Ceará, Utilizando Eletroresistividade*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, 2002, Florianópolis. *Anais..* Florianópolis: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2001. CD-ROM.
- MARQUES, A. A.; MACEDO, I. P.; MARINHO, J. M. L.; OLIVEIRA, R. R de. *Eletro-resistividade aplicada à prospecção de água subterrânea na Chapada do Araripe-Ce*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 3, 1984, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1984.
- MENDONÇA, L. A. R. *Recursos hídricos na Chapada do Araripe - Ceará*. 2001. 217f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2001.
- MENDONÇA, L. A. R. *Modelagem matemática, química e isotópica de uma bateria de poços na cidade de Juazeiro do Norte - Ceará*. 1996. 122f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 1996.
- MIRANDA, L. O. S.; FERRARI, M. P.; VIANA, R. B. *Prospecção sísmica de reconhecimento na Bacia do Araripe*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 3, 1984, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: IBP/Petrobras 1986. Boletim TT-158, 11p.

- NEUMANN, V. H. M. L. *Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptiense-Albienses de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil)*. 1999. 250f. Tese (Doctorado) - Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, 1999.
- PONTE F. C.; APPI C. J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal. *Anais...* Natal: SBG, 1990. p. 211-226.
- PONTE, F. C. Arcabouço estrutural e evolução tectônica da bacia mesozóica do Araripe, Nordeste do Brasil. In: PONTE, F. C. *et al.* (Coord.). *Geologia das Bacias Sedimentares Mesozóicas do Interior do Nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro: Petrobras/CENPES/DIVEX/SEBIPE. 1991. Relatório interno.
- PONTE, F.C.; PONTE-FILHO, F. C. *Estrutura Geológica e Evolução Tectônica da Bacia do Araripe*. Recife: DNPM, 1996. 68 p.
- PONTE, F.C.; PONTE-FILHO, F. C. Evolução Tectônica e Classificação da Bacia do Araripe. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4, Rio Claro. *Anais...* Rio Claro: UNESP. 1996. p. 123-133. Boletim.
- RAND, H. M.; MANSO, V. A. V. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG. 1984. v. 4, p. 2011-2016.
- RIBEIRO, J. A. *Minerais não-metálicos: Região do Cariri*. Projeto Avaliação Ambiental da Região do Cariri (Projeto AMCARI). Fortaleza: CPRM/DNPM, 1995. 13p. (Série Recursos Minerais v. 5).
- RIBEIRO, J. A.; VERÍSSIMO, L. S. *Vulnerabilidade natural das unidades aquíferas.. Projeto Avaliação Ambiental da Região do Cariri (Projeto AMCARI)*. Fortaleza: CPRM, 1995. 30p. il. (Série Recursos Hídricos v. 1).
- SANTIAGO, M. F.; FRISCHKORN, H.; BEZERRA, A.; BRASIL, R.. *Medidas hidroquímicas em poços e fontes do Cariri - sul do Ceará*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABAS, 1988. p.112-120.
- SANTIAGO, M.F.; MENDES FILHO, J.; SILVA, C.M.S.V. e FRISCHKORN, H. –Estudo Isotópico da Dinâmica dos Aquíferos do Cariri. In: *Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe*. Recife: DNPM, 101p. 1996.. p.89-101.
- SEPLAG *Secretaria de Planejamento e Gestão*. Disponível em: <<http://imagens.seplag.ce.gov.br/pdf/20090703/do20090703p01.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2010.
- SILVA M. A. M. Evaporitos do Cretáceo da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. *Boletim de Geociências*, Rio de Janeiro, v.2, n.1, p. 53-63, 1988.
- SILVA M. A. M. Lower Cretaceous sedimentary sequences in the Araripe Basin, Northeastern Brazil: a revision. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.16, n.3, p. 311-319, 1986b.
- SILVA M. A. M. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.16, n.3, p. 306-310, 1986a.
- SILVA M. A. M. *The Araripe Basin, Northeast Brazil. Regional geology and facies analysis of a Lower Cretaceous evaporitic depositional complex*. 1983. 287f. PhD. Thesis - Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University, New York. 1983.
- SILVA, C. M. S. V. *Modelo fenomenológico para circulação da água na bacia sedimentar do Cariri com base em isótopos e hidroquímica*. 1996. 162p. Tese (Doutorado em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 1996.
- SMALL H. L. *Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará*. Recife: Inspetoria de Obras Contra Secas, 1913. 80p. (Publicação 25).
- SRH - Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará e SOHIDRA-Superintendência de Obras Hidráulicas. *Projeto Poços Pioneiros*. Fortaleza: SRH/SOHIDRA. 2v, 2001. Relatório.
- SRH-Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará e SOHIDRA-Superintendência de Obras Hidráulicas. *Projeto Poços Pioneiros - Fortaleza: SRH/SOHIDRA. 2v, 2001.Anexos*.
- SRH-Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. *Plano Estadual de Recursos Hídricos - Diagnósticos (v1)*. Fortaleza: SRH. 4v, 1992.
- SRH-Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. *Plano Estadual de Recursos Hídricos - Estudos de Base I (v2)*. Fortaleza: SRH. 4v, 1992.
- SRH-Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. *Plano Estadual de Recursos Hídricos - Estudos de Base II (v3)*. Fortaleza: SRH. 4v, 1992.
- SRH-Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. *Plano Estadual de Recursos Hídricos - Planejamento (v4)*. Fortaleza: SRH. 4v, 1992.
- VERÍSSIMO, L. S. *A importância das águas subterrâneas para o desenvolvimento socioeconômico do eixo Crajubar, Cariri Ocidental – Estado do Ceará*. 1999. 127f. Dissertação ( Mestrado) – Departamento de Geologia – Universidade Federal de Ceará. Fortaleza, 1999.





[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

**PAC** PROGRAMA DE  
ACELERAÇÃO DO  
CRESCIMENTO

 **CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

Secretaria de  
**Geologia, Mineração e  
Transformação Mineral**

Ministério de  
**Minas e Energia**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA