

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
DELEGACIA DO MME EM PERNAMBUCO E CEARÁ
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO MINERAL
4º DISTRITO PB 10º DISTRITO CE
SEÇÃO DE GEOLOGIA E EXPLORAÇÃO MINERAL**

PROGRAMA NACIONAL DE ESTUDOS DOS DISTRITOS MINEIROS

**PROJETO AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA
DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

FASE I TEXTO

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
DELEGACIAS DO MME EM PERNAMBUCO E NO CEARÁ
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
4º DISTRITO-PF - 10º DISTRITO-CE
SEÇÃO DE GEOLOGIA E EXPLORAÇÃO MINERAL

PROGRAMA NACIONAL DE ESTUDOS DOS DISTRITOS MINEIROS

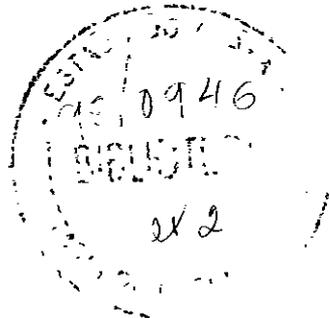
**PROJETO AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA
DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

FASE I

TEXTO

Lote. 01249 - Prep (X) Scan () Index ()
Projeto Nº 116102
Volume _____
Qtd. A4 _____ Qtd. A3 _____
Qtd. A2 _____ Qtd. A1 _____
Qtd. A0 _____ Outros _____
Recife - 1996

2116/01



000003

APRESENTAÇÃO

As Delegacias do Ministério de Minas e Energia nos Estados de Pernambuco e Ceará e o Departamento Nacional da Produção Mineral, através dos 4º e 10º Distritos (DNPM/PE e DNPM/CE, respectivamente), sentem-se honrados e gratificados em apresentar o relatório da fase I do **PROJETO AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**, consoante com o Projeto Avaliação das Bacias Sedimentares Interiores do Nordeste, que por sua vez, é parte integrante do Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros

Trata-se, o referido programa, de um esforço concentrado do Ministério de Minas e Energia e do DNPM, em dotar a comunidade geocientífica brasileira de documentos básicos, através dos quais são fornecidos subsídios sobre a potencialidade dos bens minerais existentes no país, destacando-se entre eles, pela sua peculiaridade e escassez, notadamente no Nordeste, o bem mais valioso A Água.

Assim, o relatório ora apresentado constitui-se no documento básico para o estudo da potencialidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Araripe e traduz o resultado do trabalho de uma equipe, que, com dedicação e seriedade, procurou cumprir, a contento, a tarefa que lhe foi confiada

Agradecemos, portanto, ao esforço conjunto de todos envolvidos no desenvolvimento desta nobre e digna missão de promover o aprimoramento dos conhecimentos hidrogeológicos da Bacia Sedimentar do Araripe, que servirão de fundamentos básicos para o desenvolvimento integrado da Região Nordeste do Brasil

Delegacias do MME em Pernambuco e no Ceará
Distritos Regionais do DNPM em Pernambuco e no Ceará

Recife, 1996

000004

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Raimundo Mendes de Brito - Ministro de Estado

SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

Giovani Toniatti - Secretário

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL

Miguel Navarrete Fernandez Júnior - Diretor Geral

Otto Brittencourt Netto - Diretor Geral Adjunto

DIRETORIA DE EXPLORAÇÃO MINERAL

DIVISÃO DE RECURSOS MINERAIS E HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Emanuel Texeira de Queiroz

Serviço de Águas Subterrâneas

Adelino Gregório Alves

Serviço de Patrimônio Mineral

Cláudio Hecht

DIVISÃO DE GEOLOGIA E PESQUISA MINERAL

Carlos Schobbenhaus Filho

Serviço de Geologia de Depósito Mineral

Carlos Eduardo da Silva Filho

Serviço de Cartografia e Remoto

Gilberto Ruy Derze

DELEGACIA DO MME NO ESTADO DE PERNAMBUCO

Augusto Cezar

DELEGACIA DO MME NO ESTADO DO CEARÁ

Fernando Antonio da Costa Roberto

4º DISTRITO DO DNPM - PERNAMBUCO

Marcos Antônio de Holanda Tavares

Seção de Geologia e Pesquisa Mineral

Alarico Antônio Frota Mont'Alverne

10º DISTRITO DO DNPM - CEARÁ

José Betmar Melo Figueira

Seção de Geologia e Pesquisa Mineral

Alexandre Carneiro Filho

PROJETO AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE

COORDENAÇÃO GERAL

Geol^o Alarico Antônio Frota Mont'Alverne-DNPM/PE

CONSULTORES

Geol^o Francisco Celso Ponte - *Geologia e Estratigrafia*
Geol^o Waldir Duarte Costa - *Hidrogeologia*

EQUIPE EXECUTORA

Geologia

Geol^o José Robinson Alcoforado Dantas - DNPM/PE
Geol^o Carlos Fernando Lopes - DNPM/CE

Hidrogeologia

Geol^o Antônio Honório de Melo Junior - DNPM/PE
Geol^o João Sérgio do Amaral Ponte - DNPM/CE
Geol^o José Betimar Melo Figueira - DNPM/CE
Tecn^o em Geologia Severino do Ramo Souza - DNPM/PE
Tecn^o Emanuel Carlos Cezário da Silva - DNPM/PE

PARTICIPAÇÃO ESPECIAL

Estudo Isotópico da Dinâmica dos Aquíferos do Cariri

Prof^o Marluce F. Santiago - Departamento de Física/UFC
Prof^o Josué Mendes Filho - Departamento de Física/UFC
Prof^o H. Frischkorn - Departamento de Física/UFC

APOIO DA SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS - SOHIDRA, GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

000006

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	2
SUMÁRIO	5
I - INTRODUÇÃO	7
I.- LOCALIZAÇÃO	7
I.2 - OBJETIVOS E METODOLOGIA	8
II - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	15
II.1 - CLIMA	15
II.2 - HIDROGRAFIA	17
II.3 - GEOMORFOLOGIA	18
III - GEOLOGIA	21
III.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	21
III.2 - ESTRATIGRAFIA	21
III.2.1 - Estratigrafia de Seqüências	21
• <i>Seqüência Gama</i>	21
• <i>Seqüência Pré-Rifte</i>	23
• <i>Seqüência Rifte</i>	23
• <i>Seqüência Pós-Rifte</i>	24
III.2.2 - Unidades Litoestratigráficas	24
• <i>Formação Mauriti</i>	25
Grupo Vale do Cariri	26
• <i>Formação Brejo Santo</i>	27
• <i>Formação Missão Velha</i>	28
• <i>Formação Abaiara</i>	29
Grupo Araripe	29
• <i>Formação Rio da Batateira</i>	29
• <i>Formação Santana</i>	30
• <i>Formação Arajara</i>	31
• <i>Formação Exu</i>	32
Depósitos Cenozóicos	32
III.3 - ARCABOUÇO ESTRUTURAL	32
III.4 - EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR	37
III.4.1 - Ciclo Tectono-Sedimentar Paleozóico	37
• <i>Ciclo Gama</i>	37
III.4.2 - Estágios Tectono-Sedimentares Mesozóicos	38
• <i>Estágio Pré-Rifte</i>	38
• <i>Estágio Rifte</i>	38
• <i>Estágio Pós-Rifte</i>	38
IV - HIDROGEOLOGIA	40
IV.1 - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA REGIONAL	40
IV.1.1 - O Contexto Hídrico da Bacia	40
IV.1.2 - Controle Tectono-Estrutural dos Sistemas Aquíferos	42
IV.2 - O SISTEMA AQUÍFERO SUPERIOR	43
IV.2.1 - Ocorrência, Geometria e Dimensionamento	43
IV.2.2 - Alimentação	44
IV.2.3 - Condições de Escoamento e Descarga	44
IV.2.4 - Reservas e Recursos Hídricos	46
IV.2.5 - Qualidade da Água	50
IV.3 - O SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO	50
IV.3.1 - Ocorrência, Geometria e Dimensionamento	50
IV.3.2 - Alimentação	51
IV.3.3 - Condições de Escoamento e Descarga	54
IV.3.4 - Características Hidrodinâmicas	57
IV.3.5 - Características dos Poços Explotando o Sistema Aquífero	61

IV.3.6 - Reservas e Recursos Hídricos	65
IV.3.7 - Qualidade das Águas	67
IV.4 - O SISTEMA AQUÍFERO INFERIOR	69
IV.4.1 - Ocorrência, Geometria e Dimensionamento	69
IV.4.2 - Alimentação	70
IV.4.3 - Condições de Escoamento e Descarga	70
IV.4.4 - Características Hidrodinâmicas	71
IV.4.5 - Características dos Poços Explotando o Sistema Aquífero	74
IV.4.6 - Reservas e Recursos Hídricos	74
IV.4.7 - Qualidade das Águas	78
IV.5 -AQUICLUDES	80
V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
V.1 - Conclusões. ..	81
V.2 - Recomendações	81
VI- BIBLIOGRAFIA	85
APÊNDICE	88
ESTUDO ISOTÓPICO NA REGIÃO DO CARIRI	89

ANEXOS

Anexo I	- CATÁLOGO DE POÇOS E DE FONTES
Anexo II	- GRÁFICOS DE ENSAIOS DE BOMBEAMENTO
Anexo III.1	- Mapa Geológico da Bacia Sedimentar do Araripe - Escala 1:250.000 - Mapas Geológicos das Folhas Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim - Escala - 1:100.000
Anexo III.2	- Mapa de Localização das Fontes: Bacia Sedimentar do Araripe - Escala - 1:250.000 - Mapas de Localização dos Poços: Folhas Santana do Cariri, Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim - Escala 1:100.000
Anexo III.3	- Mapas Iso-Piezométricos : Folhas Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim - Escala - 1:100.000
Anexo III.4	- Mapas de Profundidade do Nível Estático : Folhas Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim - Escala - 1:100.000
Anexo III.5	- Mapas de Iso-Transmissividades : Folhas Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim - Escala 1:100.000
Anexo III.6	- Mapas de Resíduo Seco: Folhas Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim Escala - 1:100.000

I - INTRODUÇÃO

I.1 - LOCALIZAÇÃO

A Bacia Sedimentar do Araripe localiza-se no alto sertão nordestino, cobrindo uma área com cerca de 11.000 km², sendo delimitada, aproximadamente, pelas coordenadas geográficas: 38°30'00" e 40°55'00" de longitude oeste de Greenwich; 7°10'00" a 7°50'00" de latitude sul (Figura I.1). Territorialmente engloba parte dos Estados de Pernambuco, Ceará e Piauí e constitui-se no divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE) ao norte, São Francisco (PE) ao sul e Parnaíba (PI) a oeste.

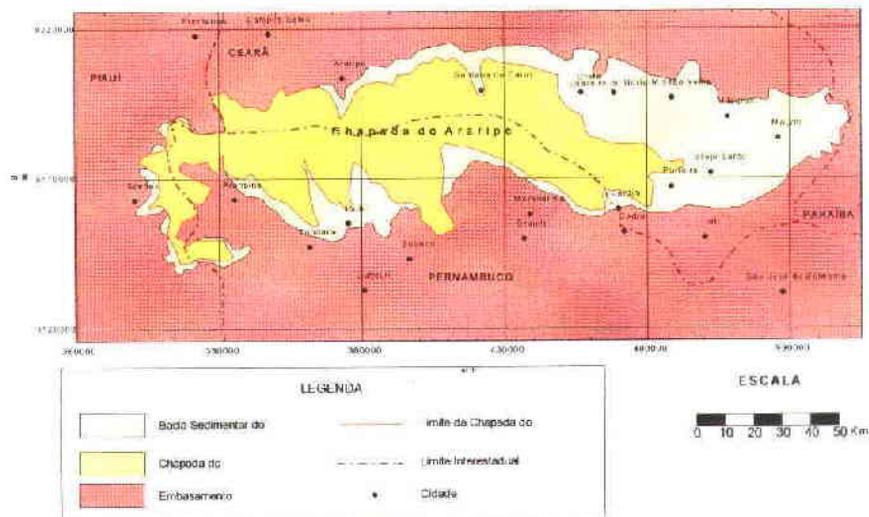


Figura I.1 - Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Araripe.

Importantes municípios encontram-se inseridos em sua área de domínio, destacando-se os do Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Brejo Santo, Milagres (Ceará), Araripe, Ipueira, Trindade, Ouricuri, Bodocó (Pernambuco) e Simões no Piauí. Os acessos aos mesmos podem ser feitos através das rodovias federais asfaltadas BR-232, BR-230, BR-116, BR-122, BR-316, além de rodovias estaduais de boa qualidade.

Preponderam na região as atividades ligadas à agricultura, notadamente no que diz respeito às culturas de feijão, milho, mandioca e cana-de-açúcar, essa última visando não só a indústria açucareira, como também o fabrico de rapadura e aguardente, produzidas em larga escala na porção cearense da bacia que corresponde ao Vale do Cariri.

A mineração ocupa também lugar de destaque na economia regional, principalmente no lado pernambucano, ou mais precisamente nos municípios de Araripe, Trindade, Ipueira e Ouricuri, onde se desenvolve uma intensa atividade mineira objetivando a extração e beneficiamento da gipsita, para a produção do gesso, utilizado pelas indústrias locais na fabricação de placas divisórias, massa para revestimento, giz, etc. Deve-se salientar que a produção gesseira corresponde a aproximadamente 90% da produção nacional.

I.2 - OBJETIVOS E METODOLOGIA

I.2.1 - Objetivos

Os objetivos do projeto são a avaliação do potencial hidrogeológico da bacia e o estabelecimento de parâmetros que permitirão a racionalização da captação das águas subterrâneas para consumo humano, industrial e agrícola

I.2.2 - Metodologia

- **Levantamento bibliográfico**

Um extensivo levantamento bibliográfico foi realizado, com catalogação de 1 581 títulos de trabalhos relacionados à bacia, nas diversas áreas da geologia, paleontologia, hidrogeologia, mineração, etc. Trata-se, desse trabalho, de um importante acervo técnico de dados bibliográficos que ficará disponível à comunidade geológica e comporá um anexo independente intitulado *Bibliografia sobre as Bacias Fanerozóicas do Interior do Nordeste Oriental do Brasil - 1816 a 1994*, tendo como autores os Drs. Francisco Celso Ponte e Vera Lúcia de Araújo Pontes

- **Levantamento fotogeológico**

Considerando a nova conceituação litoestratigráfica/estrutural advinda de trabalhos mais recentes, foi realizado um estudo fotogeológico de toda área da bacia, utilizando-se aerofotos nas escalas de 1 25 000 e 1 70 000. A análise minuciosa das aerofotos permitiu a individualização de grandes unidades litoestratigráficas, bem como ressaltou os alinhamentos estruturais que, associados à interpretação geofísica (linhas sísmicas), evidenciaram a existência dos extensos falhamentos responsáveis pela estruturação da bacia em "horsts" e "grabens"

- **Interpretação geofísica**

Com base nas linhas de reflexão sísmica executadas por Azevedo & Travassos Petróleo S A para a PETROBRÁS, foram elaborados mapas estruturais e perfis geológicos, através dos quais foi possível realizar-se uma interpretação mais acurada sobre os aspectos litoestratigráficos e estruturais da Bacia do Araripe, que, por sua vez, serviu de suporte para as interpretações e inferências hidrogeológicas

Os referidos mapas e perfis, bem como as planilhas de cálculos utilizadas na interpretação dos sismogramas foram reunidos, pelo Dr. Francisco Celso Ponte, no relatório apresentado ao DNPM, em 1993, sob o título *Interpretação Geológica de Linhas de Reflexão Sísmica na Bacia do Nordeste do Brasil*

Concluída a fotointerpretação geológica, foram efetuadas algumas etapas de campo e sob a orientação do Dr. Francisco Celso Ponte, consultor técnico do projeto, foram executados o mapa geológico da bacia na escala 1 250 000 e os mapas geológicos, na escala 1 100 000, das folhas Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim

- **Cadastramento de poços**

O cadastramento dos poços existentes na bacia e na área precambriana próxima a ela (cerca de 5 quilômetros da borda) foi executado em duas fases. Na fase inicial foi efetuado um levantamento junto às empresas e órgãos públicos detentores de cadastros de poços e bancos de dados hidrogeológicos, tais como DNPM, SUDENE, CPRM, FNS, CISAGRO/PE, CAGECE/CE e também junto às empresas privadas como a CORNER e a T. Janer, dentre outras que atuam no setor, concluído o inventário dos dados existentes foi confeccionada uma "ficha de poço" e dado início à fase seguinte, cadastramento de campo ao longo de toda a área da bacia, que, por sua vez, foi complementado no escritório com dados mais específicos

A ficha acima citada, base do banco de dados do SISON, é constituída de quatro folhas, contendo

- *Folha 1* todas as informações obtidas no campo, referentes à localização, à fisiografia / geologia / hidrogeologia, às características do ponto d'água (poço ou fonte), à qualidade da água e ao seu uso

- *Folha 2* os perfis construtivo, litológico, estratigráfico e geofísico
- *Folha 3* dados de análises físico-químicas e bacteriológicas, assim como as diversas classificações químicas efetuadas
- *Folha 4* os elementos dos ensaios de bombeamento executados e a respectiva interpretação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos

Além dessas fichas individuais, que não acompanharão o relatório tendo em vista o grande volume que representam, foram preenchidas fichas coletivas, em programa EXCEL que permite o tratamento estatístico dos dados e a representação gráfica dos elementos cadastrados

Como resultado final, foram cadastrados 1 485 poços, distribuídos por municípios e por estado, conforme aparece no Quadro I 2 1 em anexo Verifica-se, segundo a Figura I 2 1 a seguir, que 75,96% dos poços foram perfurados no Estado do Ceará, 19,73% no Estado de Pernambuco e 4,31% no Estado do Piauí

Estado	Município	Número de Poços
Ceará	Juazeiro do Norte	217
	Crato	233
	Barbalha	69
	Missão Velha	72
	Brejo Santo	96
	Milagres	75
	Mauriti	136
	Abaiara	45
	Jardim	18
	Jati	31
	Penaforte	28
	Porteiras	25
	Barro	27
	Nova Olinda	24
	Santana do Carri	18
Araripe	14	
Total do Ceará		1128
Pernambuco	Araripina	73
	Bodocó	70
	Cedro	22
	Exu	40
	Ipubi	38
	Moreilândia	15
	Ouricuri	18
	Trindade	17
Total de Pernambuco		293
Piauí	Caldeirão Grande	22
	Simões	33
	Padre Marcos	8
	Marcolândia	1
Total do Piauí		64
Total Geral		1485

Quadro I.2.1 - Numero de poços cadastrados na Bacia Sedimentar do Araripe

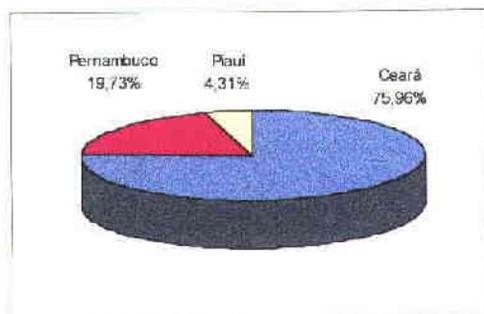


Figura 1.21 - Distribuição dos poços por estado na Bacia sedimentar do Araripe.

No quadro 1.2.2 são apresentados alguns parâmetros estatísticos dos poços cadastrados; como valores médios, observa-se que a profundidade fica em torno de 78,46 metros, os níveis estáticos em aproximadamente 19,19 metros e o rebaixamento médio da ordem de 19,00 metros, para vazões médias de apenas 14,88m³/h. Considerando-se que nos 8 (oito) poços perfurados pela FNS no município do Crato(CE), com profundidades médias de 112,82 metros, obteve-se para rebaixamentos médios da ordem de 25,62 metros, vazões médias de 232,76m³/h, constata-se que a maioria deles encontra-se mal construído.

Elementos Estatísticos	Profundidade	Nível Estático	Nível Dinâmico	Vazão Total	Vazão Específica
	(m)	(m)	(m)	(m ³ /h)	(m ³ /h.m)
Número dados	1087	979	864	961	821
Valor médio	84,85	19,74	38,21	14,95	1,40
Desvio padrão	33,68	14,20	17,46	29,05	2,82
Coef. de variação	39,69%	73,45%	45,69%	194,31%	230,71%
Valor máximo	270,00	97,00	129,73	300,00	29,0
Valor mínimo	2,35	+0,90	2,00	0,02	0,01

Quadro 1.2.2 - Tratamento estatístico dos dados dos poços na Região do Cariri-Ceará. (1128 poços).

• Análises físico-químicas das águas dos poços

O número de análises físico-químicas existentes na região do Cariri, onde foi concentrado o estudo hidrogeológico por haver um número de dados bem maior que no restante da bacia, era insignificante - apenas 335 - e distribuídos nas mais variadas épocas do ano e em distintos anos.

Dessa maneira, foi efetuada uma campanha de coleta de águas de uma rede de poços, previamente escolhida, de modo a permitir um conhecimento hidroquímico da área, tendo sido coletadas e analisadas, em laboratórios do Governo do Ceará, um total de 97 (noventa e sete) amostras, cujos resultados serão devidamente interpretados nos capítulos seguintes.

• Ensaios de bombeamento

No cadastramento de poços foram encontrados dados tabelados de ensaios de bombeamento, porém sem a devida interpretação dos coeficientes hidrodinâmicos dos aquíferos testados. No âmbito deste trabalho foram interpretados 56 (cinquenta e seis) ensaios já realizados e executados outros 3 (três) ensaios em poços existentes na cidade do Crato (perfurados pela FNS). O resultado desses ensaios, assim como a interpretação dos demais serão discutidos nos capítulos seguintes.

- **Nivelamento barométrico de poços**

Tendo como objetivo a realização do mapa iso-piezométrico dos aquíferos em exploração na região do Cariri, foi escolhida uma rede de poços regularmente distribuídos na área, a fim de ser procedido o seu nivelamento barométrico

Dessa maneira, foram nivelados 247 poços, preferencialmente escolhidos por possuírem perfil geológico e dados completos de produção

- **Locação de poços estratigráficos para futuras perfurações**

Com a finalidade de dirimir dúvidas acerca da sequência litoestratigráfica e, sobretudo, sobre que aquífero se estava explotando, em determinada região, e quais as suas dimensões reais, foram locados 7 (sete) poços, para oportunamente serem perfurados, conforme distribuição abaixo

- Estado de Pernambuco - borda sudoeste da bacia, nos municípios de Araripina, Trindade e Bodoco, com profundidades prováveis variando entre 500 e 1 000 metros (3 poços)
- Estado do Ceará - borda nordeste da bacia nos municípios de Santana do Cariri, Crato, Barbalha e Missão Velha com profundidades previstas para variarem entre 400 e 800 metros

- **Perfuração do poço de Bodocó - PE**

De outubro a dezembro de 1994 o DNPM, através da CPRM, perfurou o poço 4-BO-01-PE, cujas características estão descritas abaixo

a) Localização

Coordenadas geográficas	40 ⁰ 03'00" de Longitude W Gr e 07 ⁰ 26'31" Latitude S
Coordenadas em UTM	9 178 000 m N e 379 550 m E
Cota altimetria	804,14 m

b) Dados técnicos

Profundidade total perfurada:		933,00 m		
Perfuração	Diâmetro (")	Intervalo (m)	Total do int. (m)	
	36	0,00 - 10,65	10,65	
	26	10,65 - 120,00	109,35	
	12 1/4	120,00 - 933,00	813,00	
Revestimento	Diâmetro (")	Intervalo (m)	Total do int. (m)	
	28	0,00 - 10,65	10,65	
	18	0,00 - 108,30	108,30	
	7 7/8	100,00 - 532,85	432,85	
	5 1/2	708,50 - 713,50	5,00	
	Diâmetro (")	Intervalo (m)	Total do int. (m)	
Filtros	Abertura de 0,50mm	6	532,58 - 678,50	145,92
	Abertura de 0,65mm	6	678,50 a 708,50	30,00
			Intervalo (m)	Volume (m³)
Cimentação			0,00 - 506,07	44,00

000013

c) Perfil litoestratigráfico

Litologia	Formação	Intervalo (m)
Arenito/siltito	Exú	0,00 a 243,0
Argilito/siltito/arenito	Arajara	243,0 a 279,0
Arenito/folhelho/calculutito	Santana	279,0 a 448,0
Arenito/argilito/folhelho/siltito	Rio da Batateira	448,0 a 729,0
Folhelho/arenito	Brejo Santo	729,0 a 916,0
Rocha cristalina	Embasamento	916,0 a 933,0

d) Dados hidrogeológicos (interpretação da PETROBRÁS)

Porosidade da Formação Rio da Batateira	33 a 39%
Nível freático da Formação Exu	182,00 m
Nível piezométrico da Formação Rio da Batateira	370,00 m
Salinidade da água da Formação Rio da Batateira	385mg de NaCl

e) Dados do ensaio de bombeamento)

Nível dinâmico	358,70 m
Vazão	27,23 m ³ / h
Vazão específica	2,72 m ³ / h.m
Coefficiente de transmisividade	4,71x10 ⁻³ m ² /s

• Inventário dos exutórios naturais (fontes)

Foram inventariados no campo 344 exutórios naturais que ocorrem nos estados do Ceará (293 = 85,1%), Pernambuco (43 = 12,5%) e Piauí (8 = 2,4%), distribuídos conforme é mostrado na Figura 1.2.2 e no Quadro 1.2.3, onde aparecem inclusive, os dados de suas descargas (médias por município).

Os volumes de água liberados por essas fontes também são mais elevados no Ceará, com vazão média em torno de 18 m³/h, contra 2 m³/h em Pernambuco e 0,1 m³/h no Piauí.

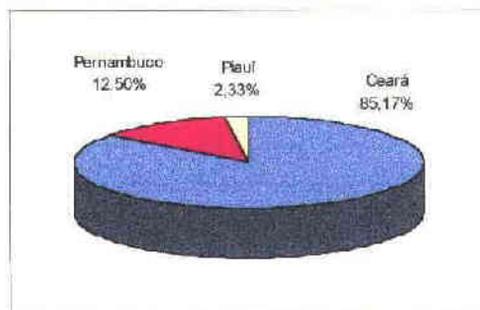


Figura 1.2.2 - Distribuição das fontes por estado na Bacia Sedimentar do Araripe.

Estado	Município	Nº de Fontes	Vazão (m ³ /h)			
			Total	Média	Máxima	Mínima
Ceará	Crato	79	1.428,26	18,08	376,00	0,10
	Barbalha	33	1.455,94	44,09	348,52	0,80
	Missão Velha	52	857,13	16,48	352,00	0,21
	Brejo Santo	13(2)	10,32	0,94	3,30	0,08
	Porteiras	39(12)	295,26	10,93	182,37	0,20

Quadro 1.2.3 - Vazões de exutórios medidos no período de outubro a dezembro de 1993.

Estado	Município	Nº de Fontes	Vazão (m ³ /h)
--------	-----------	--------------	-----------------------------

			Total	Média	Máxima	Mínima
	Jardim	41(11)	307,04	10,23	132,98	0,07
	Santana Carrn	30(7)	296,78	13,49	181,46	0,04
	Nova Olinda	10	45,40	4,54	16,57	0,06
Total do Ceará		297	4 690,86	17,81	376,00	0,04
Pernambuco	Exu	19	45,73	2,41	12,96	0,10
	Bodocó	11	9,08	0,82	5,40	0,09
	Moreilândia	8	27,35	3,42	8,10	0,80
	Serrita	2	2,24	1,12	2,16	0,08
	Araripina	2	0,45	0,22	0,30	0,15
	Ipubi	1	0,90	0,90	0,90	0,90
Total de Pernambuco		43	85,75	1,99	12,96	0,08
Piauí	Simões	3	0,39	0,13	0,20	0,09
	Marcolândia	2	0,10	0,05	0,05	0,05
	Cald Grande	3	0,30	0,10	0,15	0,07
Total do Piauí		8	0,79	0,09	0,20	0,05
Total Geral		348	4.777,40			

Quadro I 2.3 (continuação) - Vazões de exutórios medidos no período de outubro a dezembro de 1993

- **Análises das águas dos exutórios naturais**

Foram executadas análises físico-químicas das amostras de águas de 13 fontes, cujos resultados serão discutidos no capítulo específico.

- **Análises isotópicas das águas de poços e dos exutórios naturais**

Através de acordo informal com o Departamento de Física da Universidade Federal do Ceara, foram iniciados os trabalhos de coleta de água de poços e fontes, para datação utilizando-se o método carbono $14^{14}C$ Técnicos do DNPM, sob a coordenação dos Drs Marluce Santiago, Josué Mendes Filho e Carla Vidal Silva (todos da U F C), efetuaram as coletas e encaminharam as amostras para o Laboratório de Física daquela universidade para serem procedidas as análises Os resultados obtidos estão apresentados no Apêndice, com o título " **MODELO ISOTÓPICO DA DINÂMICA DOS AQUÍFEROS DO CARIRI**".

- **Elaboração dos mapas hidrogeológicos temáticos**

A partir dos dados de campo e dos resultados das análises de laboratório, foram confeccionados os seguintes mapas temáticos

- a) Mapa de Profundidade do Nível D'água
- b) Mapa Piezométrico
- c) Mapa de Iso-Transmissividade
- d) Mapa Hidroquímico

- **Avaliação de reservas e disponibilidade**

A avaliação das reservas permanentes e prováveis e as respectivas disponibilidades, por aquífero, foi realizada de forma precária, tendo em vista a inexistência de dados de poços profundos, sobretudo no Vale do Carrn

Como todos os poços perfurados naquele vale são parcialmente penetrantes nos aquíferos, somente após a perfuração dos poços estratigráficos profundos , programados para a região do Carrri, é que se poderá ter uma idéia melhor sobre o comportamento dos aquíferos

- **Elaboração do Relatório Final**

000015

Após o desenvolvimento de toda a metodologia descrita, incluindo-se aí a interpretação dos dados de campo e de laboratório, foi elaborado um relatório técnico circunstanciado, contendo os textos explicativos sobre a Geologia e a Hidrogeologia da Bacia Sedimentar da Chapada do Araripe, além dos anexos referentes aos mapas temáticos, cadastros de poços e exutórios naturais, e curvas dos ensaios de bombeamento

II - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

II.1 - CLIMA

A Bacia Sedimentar do Araripe, estando engastada na região fisiográfica do Sertão, possui um clima semi-árido do tipo BSh' (Classificação de Köeppen), caracterizado por duas estações distintas, uma chuvosa no verão e outra seca, variando para Aw' na região do Cariri, caracterizado por ser quente e úmido com chuvas máximas no outono.

a) Precipitação

A região norte-oriental, correspondente ao Cariri cearense, é marcada por precipitações mais acentuadas do que a região sul-ocidental de Arariplina a Ouricuri em Pernambuco. Com efeito, os postos pluviométricos de Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha, alguns deles com período de observação de até 74 anos, acusaram uma precipitação média anual da ordem de 1.033 mm; para toda a região do Cariri, a média é de 920 mm/ano. Enquanto isso, a região sul-ocidental apresenta uma média anual da ordem de 720 mm, ficando 50% dos postos entre 600 e 700mm, sendo até mesmo inferior a 600 mm/ano nos postos de Ouricuri e Granito. No Piauí, o único posto, de Simões, mostra uma precipitação de 640 mm/ano.

Quanto à distribuição da precipitação durante o ano, pode ser visto na Figura II.1.1 (estação de Barbalha-CE) que o mês de março com média de 234 mm representa o máximo mensal, enquanto o mês de outubro, com apenas 2,5 mm, constitui o menor índice de precipitação mensal. Constata-se ainda que o período de janeiro a abril, totaliza 810,7mm, enquanto no período de maio a dezembro precipita apenas 190,7mm, ou seja, 80% da precipitação ocorre em apenas quatro meses do ano.

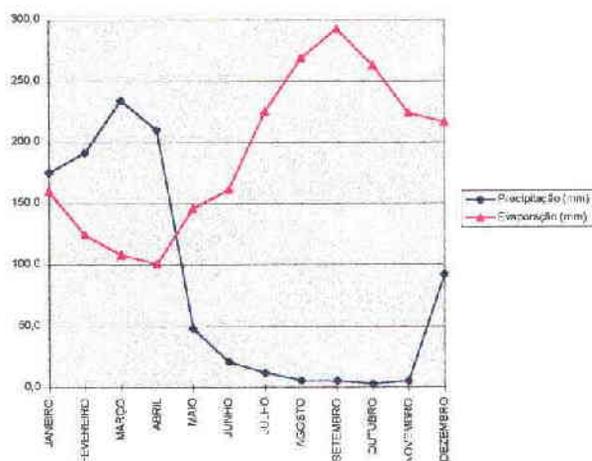


Figura II.1.1 - Variação mensal média da precipitação-evaporação na estação de Barbalha-CE (Fonte Normais do INMET-1961/1990).

b) Temperatura

A temperatura média anual varia muito pouco ao longo da Bacia do Araripe, ficando entre 24°C e 26°C, com mínima de inverno (julho) entre 21°C e 23°C, e máxima de verão (janeiro) entre 25°C e 27°C. A variação mensal também apresenta uma baixa amplitude térmica, como visto na Figura II.1.2, variando de 23,8°C em junho/julho até 26,8°C em novembro. Na Estação do IPA em Arariplina, a temperatura média mensal varia entre 20,2°C em julho e 24,3°C em outubro.

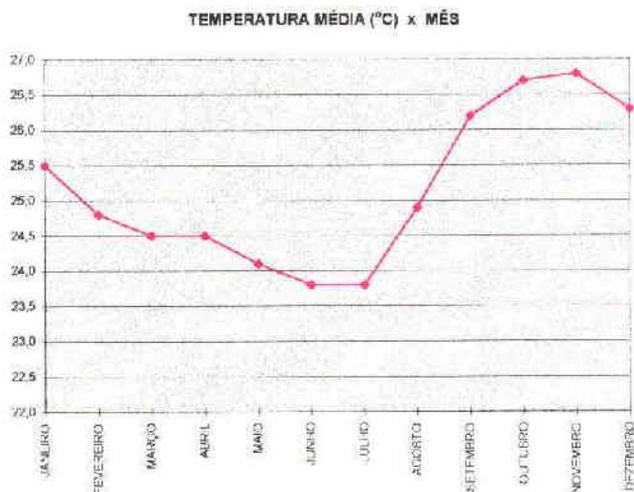


Figura II.1.2 - Variação mensal média da temperatura na estação de Barbalha-CE
(Fonte: Normais Climatológicas do INMET-1961/1990).

a) Umidade Relativa do Ar

Na estação de Barbalha (Figura II.1.3), a umidade relativa do ar varia desde a menor média de 51% em outubro à média máxima de 80% em março, com média anual de 63,6%, enquanto na estação do IPA em Araripina, a menor média também ocorre em outubro com o valor de 55% enquanto a maior média, de 83% ocorre em maio, com média anual de 71,4%.

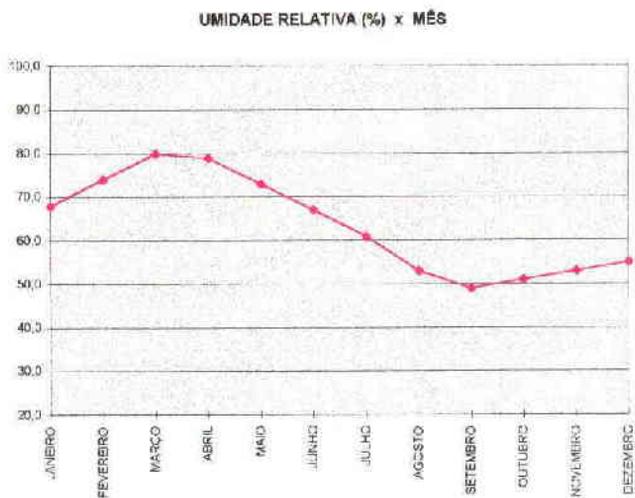


Figura II 1 3 - Variação mensal média da Umidade Relativa do Ar na Estação de Barbalha-CE
(Fonte: Normais Climatológicas do INMET-1961/1990).

d) Insolação

Ao contrário da umidade do ar, a insolação é maior na região do Cariri onde apresenta um total anual de horas de 2.848, contra 2.681 na região de Araripina; na primeira, a média mais elevada ocorre em setembro com 276,4 horas e a média mais baixa, em fevereiro, com 191,9 horas; na segunda, os valores são respectivamente de 262,5 horas em setembro, e 174,3 horas em maio (Figura II.1.4).

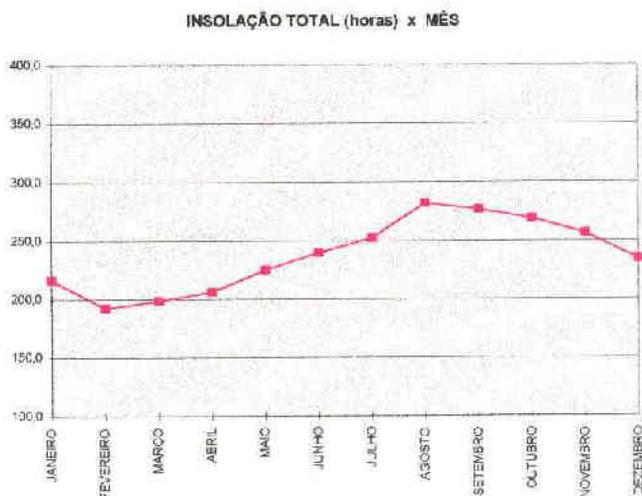


Figura A II.1.4 - Variação mensal média da insolação total na estação de Barbalha-CE (Fonte: Normais Climatológicas do INMET-1961/1990).

e) Ventos

Não há registro de velocidade de ventos na Estação de Barbalha (Normais Climatológicas do período 1961/90 do INMET); na Estação do IPA em Araripina, a velocidade do vento varia entre 0,93 m/s em dezembro e 1,33 m/s em julho.

f) Evaporação

Somente na Estação de Barbalha (Figura II.1.1) existem dados de evaporação total, atingindo ao ano, o valor de 2 288,6 mm, com mínima em abril - 100,5 mm - e máxima em setembro - 292,8 mm.

g) Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial calculada pela fórmula de TURC, apresentou para a região oeste, uma média anual de 1.387 mm, com média mensal máxima em outubro - 135 mm e mínima em junho - 89,5 mm; na região ocidental, os valores médios anuais de ETP variam entre 1.300 e 1.400 mm.

II.2 - HIDROGRAFIA

A drenagem superficial é representada pelos altos cursos das bacias do Jaguaribe no Estado do Ceará, do Brígida e Garças em Pernambuco e do Poti no Piauí, atuando pois, esse acidente geográfico em forma de chapada, como um divisor hidrográfico regional.

Considerando que nos estados de Pernambuco e Piauí não existem relações de contribuição entre a bacia sedimentar e a bacia hidrográfica, desde que a chapada termina em forma de um

talude íngreme, somente serão referendados aqui os aspectos hídricos da bacia do Rio Jaguaribe no Ceará

O Rio Jaguaribe é formado no seu alto curso pelos rios Bastiões que procede do Araripe, Carriús que nasce em Santana do Cariri e Salgado que drena toda a região do Cariri cearense e desempenha a principal relação entre os sistemas aquíferos da bacia do Araripe

O Rio Salgado recebe a contribuição dos riachos *Batateiras*, *Granjeiro* e *Carás* na região do Crato-Juazeiro do Norte, *Salamanca* em Barbalha, *Seco* em Missão Velha e do *riacho dos Porcos* que drena toda a região ocidental, incluindo os municípios de Milagres, Mauriti, Brejo Santo, Porteiras, Jardim e Jati

A hidrografia da bacia sedimentar, sobretudo na região do Cariri, é caracterizada por

- 1 ausência de rede hidrográfica na parte superior da chapada, plana e permeável,
- 2 um setor torrencial nas vertentes da chapada, desde o sopé da falésia dos arenitos superiores até a planície, percolando sobre as zonas de coluvionamento, nesse setor as águas pluviais recebem ainda a colaboração das restituições dos arenitos superiores, em forma de fontes pontuais ou difusas,
- 3 uma zona de aluvionamento depois da ruptura da declividade das vertentes, as torrentes depositam rapidamente sua carga nas planícies onde elas se espraiam. Os transbordamentos em cheia são numerosos e facilitados pelos trabalhos agrícolas que utilizam as aluviões para cultivar a cana-de-açúcar (Bermond et alii, 1967)

O Riacho Batateiras junto ao Granjeiro, na estação fluviométrica de Carité, apresenta, no estudo elaborado pelo GEVJ/SUDENE, uma descarga média da ordem de 40×10^6 m³/ano, tendo sido avaliadas as parcelas de contribuição das cheias (águas pluviais) em 40%, das restituições subterrâneas em 40% e das fontes (infiltração) em 20%. Enquanto isso, o Riacho Seco que complementa a drenagem daquela região, teve a sua descarga avaliada em torno de 8×10^6 m³/ano

Na região oriental, o Riacho dos Porcos que tem uma extensa bacia hidrográfica, despeja no Rio Salgado cerca de 85×10^6 m³/ano, todavia nessa bacia a contribuição é quase totalmente de águas pluviais, pois praticamente não existem fontes dos arenitos superiores e a vazão de escoamento dos aquíferos é muito reduzida, como será visto no estudo a seguir apresentado

II.3. GEOMORFOLOGIA

Geomorfologicamente, podem ser reconhecidas três zonas distintas *Zona de Chapada*, *Zona de Talude* e *Zona de Pediplano*, cada uma delas mostrando características peculiares do ponto de vista de litologia, relevo, clima, hidrografia e vegetação, melhor perceptíveis na região norte oriental da bacia que compreende o Vale do Cariri (apresentado na Figura II 1) o qual, por sua vez, inclui os municípios do Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Abaiara, Milagres, Mauriti, Jardim, Porteiras e Brejo Santo

A *Zona de Chapada* ou *Chapada do Araripe*, como é mais conhecida, é constituída pelos arenitos da Formação Exu e apresenta relevo tabular quase plano, formando uma extensa "mesa" limitada em quase toda sua extensão por escarpas abruptas, de contornos irregulares e desníveis consideráveis, que chegam a ultrapassar 300 metros. Dois segmentos podem ser individualizados nesta zona: o primeiro, localizado nos limites dos estados de Pernambuco e Ceará, se estende na direção E-W, cobrindo uma superfície com aproximadamente 180 quilômetros de comprimento e largura variável entre 30 e 50 quilômetros, constituindo o divisor de água das bacias hidrográficas dos rios São Francisco ao sul e Jaguaribe ao norte. Na porção mais ocidental da bacia, nos limites dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, esta zona sofre uma inflexão de noventa graus e se estende, na direção N-S, por cerca de 60 quilômetros com largura média de 20 quilômetros, constituindo-se, assim, o outro segmento que funciona como o divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, a leste e Parnaíba a oeste. As altitudes da chapada, no primeiro segmento, decrescem no sentido E-W, atingindo elevação máxima (1 000m) e mínima (700m) ao norte de Porteiras (CE) e nas imediações de Araripina (PE), respectivamente. A partir de Araripina, em direção ao oeste, a altitude vai aumentando gradativamente chegando a atingir a cota máxima de 760 metros. A ausência quase total de drenagem no topo da chapada está diretamente relacionada às características do solo que a recobre, pois, sendo o mesmo oriundo de

arenitos, apresenta-se bastante uniforme, essencialmente arenoso, poroso e permeável, não oferecendo, portanto, quaisquer condições para o desenvolvimento de uma boa rede de drenagem. A vegetação nativa é uniforme, densa e de médio a grande porte. Devido às características do solo, extensas áreas encontram-se cultivadas, destacando-se a lavoura da mandioca, utilizada na fabricação de farinha.

A **Zona de Talude**, que bordeja o sope da chapada, inclui, geologicamente, unidades litológicas das formações Arajara (siltitos e arenitos argilosos e/ou caulínicos) e Santana (margas, folhelhos e calcários, contendo níveis intercalados de gipsita). O solo, de baixa acidez, derivado desta associação litológica, é espesso, pouco permeável e bastante fértil, desenvolvendo-se nele uma drenagem relativamente densa e ramificada. No contato entre as formações Exu (na base da escarpa) e Arajara e no âmbito desta última formação, existem centenas de exutórios naturais de água (fontes), que poderiam e deveriam ser melhor aproveitados para irrigação e/ou abastecimento d'água dos municípios localizados ao sope da chapada. No entanto, o que se observa é a sua exploração como fonte de lazer e atração turística, haja vista os hotéis, balneários e clubes de campo existentes na região. A abundância de água e a fertilidade do solo são os fatores responsáveis pelo desenvolvimento da vegetação exuberante exibida por esta feição fisiográfica.

A **Zona de Pediplano**, bem representada na porção cearense da bacia, constitui uma "vasta depressão, com extensão da ordem de 1 500km², emoldurada ao sul, pelas falésias escarpadas da Chapada do Araripe (a chamada Serra do Araripe) e ao norte e nordeste pelas cuevas dos arenitos siluro-devonianos da Formação Mauriti" (Ponte, 1991). A sua área de domínio se desenvolve desde a região do Crato - Juazeiro do Norte - Barbalha - Missão Velha, até os municípios de Abaiara, Milagres e Mauriti a leste, e Brejo Santo, Porteirias e Jardim ao sul, mostrando uma topografia, com altitude média em torno de 400 metros, caracterizada por morros alongados entremeados por vales amplos de fundo plano. Uma exceção a este comportamento topográfico é a Serra da Mãozinha (com altitude máxima entre 800 e 900m) que nada mais é que uma saliência, no âmbito da Zona de Pediplano, das zonas de Chapada e Talude, descritas anteriormente. As litologias predominantes no Vale do Cariri, como é chamada esta zona, relacionam-se às formações Brejo Santo e Missão Velha (Jurássico), Abaiara e Rio da Batateira (Cretáceo), estando este conjunto balizado, ora pelos arenitos da Formação Mauriti ora pelas rochas do embasamento cristalino precambriano. Os solos oriundos das unidades litológicas aí presentes, têm uma composição argilo-siltica-arenosa (formações Rio da Batateira e Abaiara), arenosa (Formação Missão Velha) ou argilosa (Formação Brejo Santo) e a vegetação nativa, onde preservada, é tipicamente de caatinga. O principal curso d'água que drena o vale é o Rio da Batateira, cujos riachos tributários são alimentados constantemente pelas fontes localizadas nas vertentes da Chapada do Araripe. Devido às características do solo e aos mananciais de águas subterrâneas e superficiais, a agricultura aqui é bem desenvolvida, observando-se extensas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, feijão, milho, arroz, etc.

00:021

000022

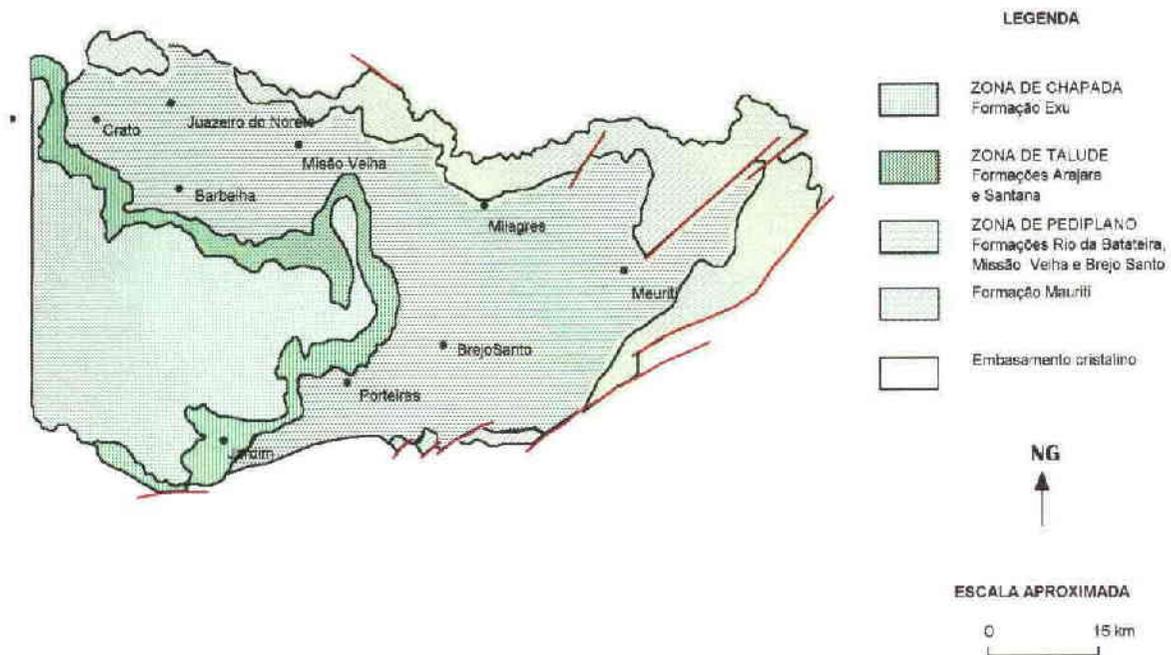


Figura II 1 - Zonas fisiográficas da parte leste da Bacia do Araripe (esboço)

III - GEOLOGIA

III 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Instalada na Província Borborema, dentro da área de domínio do "Sistema de Dobramento Piancó-Alto Brígida" (Brito Neves, 1975), a Bacia do Araripe corresponde a uma bacia sedimentar de evolução policíclica, em cujo arcabouço estratigráfico podem ser distinguidas "quatro sequências tectono-sedimentares limitadas por discordâncias regionais ou por hiatos paleontologicamente definidos a Sequência Gama de idade siluro-devoniana (?), a Sequência Pré-Rifte, de idade neojurássica (?), a Sequência Rifte, de idade neocomiana e a Sequência Pós-Rifte de idade aptiana-albiana" (Ponte, 1992a) Estruturalmente, segundo Ponte (1991b), o segmento mesozóico da bacia (Jurássico Superior ao Cretáceo Médio) é formado por dois compartimentos estruturais superpostos o compartimento inferior, corresponde às bacias do tipo rifte, encravadas em depressões estruturais do embasamento precambriano, originadas do tectonismo eo-cretácico, e o compartimento superior, corresponde à cobertura tabular meso-cretácica que recobre aquelas bacias rifte

III.2 - ESTRATIGRAFIA

A estratigrafia da Bacia do Araripe é abordada aqui sob o enfoque adotado por Ponte (1991, 1992) que conciliou duas concepções estratigráficas distintas (1) de um lado o moderno enfoque da estratigrafia genética, que parte da identificação de sequências tectono-estratigráficas naturais e dos sistemas deposicionais que as incluem, levando a uma melhor compreensão paleogeográfica da bacia, e de outro lado (2), o enfoque descritivo da litoestratigrafia formal Esse objetivo foi conseguido mediante a redefinição da coluna litoestratigráfica da bacia (Ponte & Appi, 1990), de tal modo a subordinar as unidades formais às unidades genéticas identificadas na análise de sistemas deposicionais (Ponte, 1991c e 1992a) Enfoque semelhante já havia sido adotado no Brasil em mapeamentos geológicos regionais realizados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (Pedreira & Margalho, 1990, Guimarães & Pedreira, 1990 E Bonfim & Pedreira, 1990)

O resultado dessa integração está sintetizado na Figura III 2 1 e no Quadro III 2 1, cujos conceitos crono-litoestratigráficos são adotados no presente trabalho

III.2 1 - Estratigrafia de Sequências

Ponte (1991c e 1992a) identificou quatro sequências tectono-sedimentares vinculadas à evolução da bacia Sequência Gama (Soares et al , 1987) de presumível idade siluro-devoniana, Sequência Pré-Rifte provavelmente de idade neo-jurássica, Sequência Rifte de idade eo-cretácica (neocomiana) e Sequência Pós-Rifte de idade meso-cretácica (aptiana/albiana)

- **Sequência Gama**

Constitui a base da coluna sedimentar da Bacia do Araripe e registra o início da sedimentação, em condições de plataforma estável, sobre uma extensa área do nordeste brasileiro

Na bacia em questão, compreende os sedimentos terrígenos que repousam discordantemente sobre o embasamento precambriano e está representada por um Sistema Depositional Fluvial Entrelaçado e Eólico (Ponte, 1992a), no qual observa-se uma nítida predominância dos arenitos médios a grosseiros de origem fluvial sobre os arenitos finos de origem eólica Todo este conjunto recebe a denominação litoestratigráfica de Formação Mauriti

000024

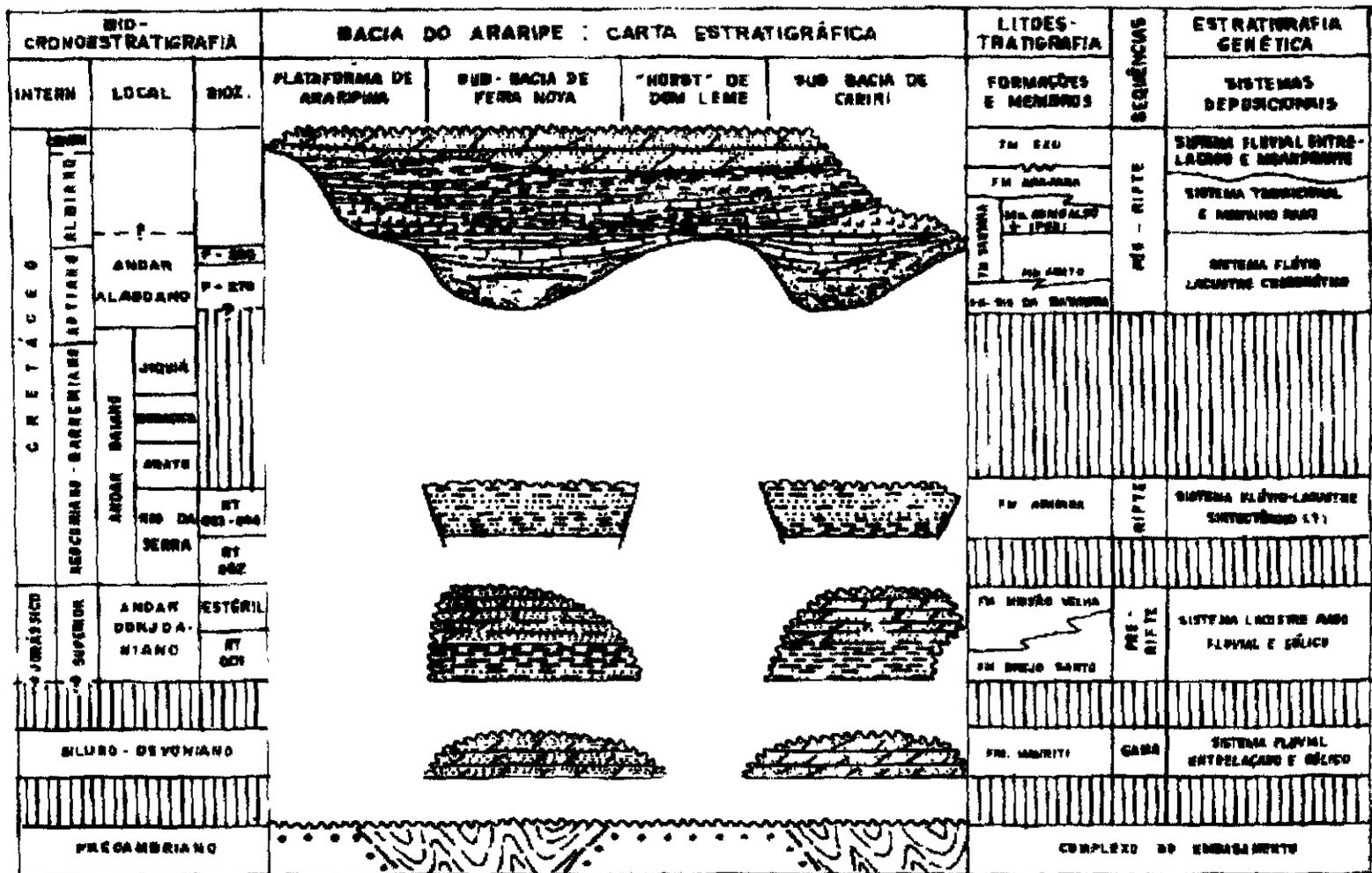


Figura III.2.1 - Carta estratigráfica da Bacia do Araripe (Fonte Pontes, 1992)

EVENTO TECTÔNICO SEDIMENTAR	SEQUÊNCIA TECTÔNICO SEDIMENTAR	CRONOESTRATIGRAFIA				LITOESTRATIGRAFIA		
		ERA	PERÍODO	ANDAR		GRUPO	FORMAÇÃO	
				INTERNACIONAL	LOCAL			
		GO-ONDZENC	QUATERNÁRIO				ALUVIÕES	
			TERCIÁRIO				CÓBERTURAS ARENOSAS E AREAS ASSIMILARES DEPOSITOS DE TALUS	
ESTÁGIO PÓS-RIFTE	SEQUÊNCIA PÓS-RIFTE	GONDWANA	CRETACEO	MÉDIO	ALBIANO	?	ARARIPE	EXU
				INFERIOR	APTIANO			ALBIANO
ESTÁGIO RIFTE	SEQUÊNCIA RIFTE	GONDWANA	JURÁSSICO SUPERIOR	M A I M	BARRERIANO	ARATU	VALE DO CARIRI	SANTANA
ESTÁGIO PRÉ-RIFTE	SEQUÊNCIA PRÉ-RIFTE							NEOCOMIANO
CICLO GAMA	SEQUÊNCIA GAMA	GONDWANA	DEVONIANO SILURIANO			JURÁSSICO INFERIOR		ABAIABA
		DISCORDÂNCIA PRÉ-NEOZOICA						BREJO SANTO
		DISCORDÂNCIA PRÉ-SILURIANO						MAURITI
EMBASAMENTO PRECAMBRIANO								

FONTE ADAPTADA DE PONTE & APPI (1990) & PONTE (1992)

Quadro III.2.1 - Coluna crono-litoestratigráfica da Bacia do Araripe

• Sequência Pré-Rifte

Repousando discordantemente sobre a anterior, a Sequência Pré-Rifte constitui o registro sedimentar do estágio tectônico que antecedeu a ruptura ou rifting Eo-Cretáceo na Região Nordeste do Brasil

Na Bacia do Araripe se faz representar por um único sistema deposicional, o Sistema Lacustre Raso, Fluvial e Eólico Donjoamiano, no qual podem ser distinguidas três associações litofaciológicas distintas a primeira, de origem fluvial meandrante, lacustre e secundariamente eólica, representa a base da sequência e inclui arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos alternados, contendo intercalações ocasionais de arenitos finos vermelhos com estratificações cruzadas, planares, de grande porte, a parte intermediária, composta por argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons escuros, bem estratificados e raros leitos de folhelhos verdes, representa uma associação tipicamente lacustre rasa, finalmente, no topo ocorre uma associação de arenitos fluviais, predominantemente anastomosados, mostrando uma sucessão de ciclos deposicionais granodécrescentes desde a base (arenitos grosseiros com níveis conglomeráticos) até o topo (arenitos finos, argilosos e siltitos) As seções basal e média, e a seção superior da sequência, correspondem, respectivamente, às formações Brejo Santo e Missão Velha, datadas do Andar Dom João (Jurássico Superior?) Toda a sequência repousa discordantemente sobre os arenitos siluro-devonianos da Formação Mauriti

• Sequência Rifte

Correlata ao estágio de ruptura do paleo-continente de Gondwana, que deu origem ao processo de formação da margem continental brasileira, a Sequência Rifte representa o Andar Baiano das bacias pericratônicas que, de acordo com a PETROBRAS, subdivide-se em quatro andares Rio da Serra, Aratu, Buracica e Jiquiá, dos quais, se fazem presentes na bacia do Araripe, apenas o Andar Rio da Serra e, provavelmente, a parte inferior do Andar Aratu

Ponte (1992a) afirma que na Sequência Rife daquela bacia é reconhecido apenas um sistema deposicional, o Flúvio-Lacustre Sintectônico (?) Neocomiano, cuja associação litofaciológica, reunida sob a terminologia litoestratigráfica de Formação Abaiara, é constituída por uma alternância de arenitos argilosos, finos a médios e siltitos, argilitos e folhelhos de cores variegadas

• Sequência Pós-Rife

Separada das demais pela discordância pré-aptiana, esta sequência, de idade mesocretácica (Andar Alagoas), compreende um ciclo deposicional transgressivo/regressivo, no qual são distinguidos três sistemas deposicionais Sistema Flúvio-Lacustre Carbonático, Aptiano-Albiano, Sistema Transicional-Evaporítico e Marinho Raso, Meso-Albiano e o Sistema Flúvio-Entrelaçado Meandrante Albo-Cenomaniano

O primeiro dos três sistemas é indicativo da fase transgressiva e compreende dois ciclos flúvio-lacustres sobrepostos O mais antigo, está representado por uma sucessão litológica granodecrescente, que se inicia por arenitos médios passando, em direção ao topo, a arenitos médios a finos, siltitos argilosos e, finalmente, a uma seção compacta de folhelhos negros, betuminosos, orgânicos e fossilíferos, denominada de "Camadas Batateira" por Hashimoto et al (1987), segundo Ponte & Appi (1990)

O processo deposicional teve continuidade com o assoreamento do sistema lacustre por arenitos fluviais, instalando-se, então, um novo ciclo de deposição que, a exemplo do anterior, mostra-se granodecrescente em direção ao topo e está representado, por arenitos grosseiros a conglomeráticos, que gradam para uma sequência alternada de arenitos finos, siltitos e folhelhos, contendo na parte superior calcários argilosos, laminados, bastante fossilíferos A seção se completa com um nível de folhelhos negros, pirobetuminosos, papiráceos e fossilíferos

Excetuando-se a seção carbonato-pelítica do topo, pertencente ao Membro Crato (Formação Santana), todo o resto da sequência foi reunida por Ponte & Appi (op cit), sob a denominação de Formação Rio da Batateira

O intervalo deposicional intermediário ou Sistema Transicional-Evaporítico e Marinho Raso, Meso-Albiano corresponde à fase de maior transgressão com clara ingressão na bacia e compreende três grandes associações litofaciológicas a associação evaporítica, que ocupa a base do sistema, é constituída por bancos estratiformes de gipsita, lateralmente descontínuos, intercalados por folhelhos cinza e verde, indicando, segundo Ponte (1992a), um ambiente transicional, predominantemente evaporítico, que caracteriza o Membro Ipubi da Formação Santana Sobrepondo-se ao pacote evaporítico, ocorre uma associação de folhelhos, arenitos calcíferos e calcários micríticos de ambientes lagunares e marinhos rasos do Membro Romualdo, a terceira associação inclui os sedimentos terrígenos finos, bem estratificados, ondulados, de ambientes lagunares e marinhos litorâneos, representativos da Formação Arajara

Encerrando a Sequência Pós-Rife, o Sistema Fluvial Entrelaçado e Meandrante, Albo-Cenomaniano (?), denominado litoestratigraficamente de Formação Exu, é constituído por ciclos sucessivos de arenitos fluviais grosseiros, de regime entrelaçado que gradam para arenitos fluviais médios, argilosos de regime meandrante

III 2.2 - Unidades Litoestratigráficas

O registro mais antigo, que se tem notícia, sobre a litoestratigrafia da Bacia do Araripe data do início deste século, ocasião em que Small (1913) reconheceu uma "Série Sedimentar", constituída por quatro seções, denominadas (da base para o topo) de "Conglomerado Basal", "Arenito Inferior", "Calcário de Sant'Anna" e "Arenito Superior", e incluídas no Cretáceo com base nas datações de peixes fósseis feitas por Agassiz (1840) e Jordan & Branner em (1908)

De um modo geral o esquema proposto por Small (op cit) vem sendo adotado até hoje, pois os demais autores que o sucederam, propuseram apenas modificações nas terminologias daquelas unidades ou a subdivisão das mesmas em formações e/ou membros, permanecendo, no entanto, o esquema geral concebido pelo citado autor (Quadro III 2 2)

A partir da década de 80, os trabalhos realizados pela PETROBRÁS, direta ou indiretamente (através de convênios com a UFPE e com empresas concessionárias), objetivando a descoberta de petróleo na Bacia do Araripe, deram origem a um acervo de informações

geológicas, geofísicas, morfo-estruturais, e estratigráficas de tal importância, que levou o centro de pesquisa daquela empresa (CENPES) a realizar um estudo integrado da bacia, possibilitando a Ponte & Appi (1990) proporem uma revisão da sua coluna estratigráfica. Dando prosseguimento àqueles estudos, Ponte (1992a) caracterizou os sistemas deposicionais, sob o ponto de vista da estratigrafia genética e, conseqüentemente, estabeleceu a coluna crono-litoestratigráfica mostrada na Figura III 2 1 e no Quadro III 2 1

• Formação Mauriti (Sdm) - Siluro/Devoniano (?)

A designação Formação Mauriti foi introduzida na literatura geológica nordestina por Gaspari & Anjos (1964) em substituição ao Conglomerado Basal de Small (1913) e à Formação Cariri de Beurlen (1962) Braun (1966). com base em correlações estratigráficas e preocupado em unificar a nomenclatura litoestratigráfica regional, passou a denominá-la de Formação Tacaratu (termo egresso da Bacia de Jatobá - PE), além de correlacioná-la com a Formação Serra Grande da Bacia do Paraíba

Ao analisar os esquemas estratigráficos propostos para a Bacia do Araripe (Quadro III 2 2), depreende-se que a grande maioria dos autores adotou a designação Formação Cariri, observando, principalmente, a sua prioridade com relação à data de publicação Ponte & Appi (1990), no entanto, mesmo reconhecendo esta prioridade, optaram pela designação de Formação Mauriti e afirmam, dentre as diversas justificativas apresentadas, que o nome Mauriti deriva de uma localidade tipo bem definida, onde ocorrem as mais vastas e típicas áreas de afloramento da formação

Litologicamente é constituída por uma seqüência monótona de arenitos claros, quartzosos e/ou feldspáticos, de granulometria média a grosseira, com grãos sub-angulares, mal selecionados. Geralmente são silicificados, principalmente em áreas próximas as falhas e no topo da unidade. O grau de litificação é um importante limitador da capacidade de acumulação de água subterrânea nesta unidade, sendo esta a razão pela qual é encontrada sobretudo nas fraturas, mostrando um comportamento semelhante ao do embasamento precambriano, tratando-se portanto de um aquífero fissural. Quando friáveis, mostram-se com boa permeabilidade

Em algumas exposições desta unidade, é possível reconhecer-se uma gradação granulométrica decrescente em direção ao topo, que se inicia com níveis conglomeráticos, na base, sucedidos por arenitos médios com estratificações cruzadas de médio porte. Fechando o ciclo deposicional, ocorrem leitos delgados de siltitos e arenitos finos de cor cinza

Arenitos feldspáticos, níveis de ortoconglomerados bem preservados e fragmentos de rochas do embasamento que ocorrem predominantemente na base da seqüência, gradam para tipos quartzosos, com granulometria fina e grãos sub-arredondados a arredondados, bem selecionados, mostrando estratificações cruzadas de grande porte, constituindo uma fácies tipicamente eólica. Ocorrem, ocasionalmente, associadas à fácies fluvial supra-descrita, em afloramentos na cachoeira do Rio Batateira, cerca de 3 quilômetros ao norte de Missão Velha e margeando a BR-116, a leste de Milagres

Dentre suas áreas de exposição (restritas ao Estado do Ceará), as mais significativas e extensas localizam-se nas folhas Milagres e Crato onde, em contato discordante ou falhado com o embasamento precambriano, emolduram as unidades que lhes sobrepõem. Nas folhas de Santana do Cariri, Jardim e São José do Belmonte, aflora de modo descontínuo e esparso. Na parte oeste da bacia (Folha Campos Sales), o poço 2-AP-1-CE, executado em 1986 pela PETROBRAS, no município de Araripe (CE), e o poço 4-B0-1-PE, perfurado recentemente pelo DNPM, (1994), no município de Bodocó-PE, atingiram o embasamento cristalino, respectivamente a 1 490 e 916 metros de profundidade, em contato direto com a Formação Brejo Santo, não tendo sido detectada, portanto, a Formação Mauriti (Figura III 2 2)

Trata-se, de uma unidade arenítica afossilífera, datada provavelmente do Siluro-Devoniano, constituindo um pacote com espessura variável entre 10 e 50 metros (Beurlen, 1963 e Veiga, 1966), sobreposto e sotoposto, discordantemente, ao Embasamento Precambriano e à Formação Brejo Santo (Jurássico Superior?)

	SMALL 1913	BEURLEN 1962	BEURLEN 1963	MORAES 1963	BARREYRAS 1964	BRAUN 1966	BEURLEN 1971	DANTAS 1974
SÉRIE ARANJE	ARENITO SUPERIOR	FORMAÇÃO EXU	FORMAÇÃO EXU	FORMAÇÃO ARAJARA	FORMAÇÃO PERRA NOVA	FORMAÇÃO EXU	FORMAÇÃO EXU	FORMAÇÃO EXU
	Calcário de Sant'Anna	Membro Superior	FORMAÇÃO SANTANA	Membro Superior	FORMAÇÃO SANTANA	FORMAÇÃO SANTANA	Membro Romualdo	FORMAÇÃO SANTANA
		Membro Gipsífero					Membro Ipubi	
	Membro Inferior	FORMAÇÃO CRATO	Membro Inferior			Membro Crato		
Arenito Inferior	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO SERGI	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO SERGI
					FORMAÇÃO BREJO SANTO	FORMAÇÃO ALIANÇA	FORMAÇÃO BREJO SANTO	FORMAÇÃO ALIANÇA
Conglomerado Basal	FORMAÇÃO CARIRI	FORMAÇÃO CARIRI	FORMAÇÃO CARIRI	FORMAÇÃO MAURITI	FORMAÇÃO TACARATU	FORMAÇÃO CARIRI	FORMAÇÃO TACARATU	FORMAÇÃO TACARATU

	MORAES et al 1976	LINA 1979	DANTAS 1980	SILVA 1983, 1986	BRITONEVES 1990	PONTE & APPI 1990	BERTHOUD 1990	MARTILL & WILBY 1993
FORMAÇÃO SANTANA	FÁCIES argilo-silítica & evaporítica	FORMAÇÃO EXU	FÁCIES argilo-silítica & evaporítica	FORMAÇÃO SANTANA	FORMAÇÃO SANTANA	FORM EXU F ARAJARA	FORMAÇÃO EXU	FORMAÇÃO SANTANA
				FORMAÇÃO ARARIPINA		Membro Romualdo		Membro Romualdo
	FÁCIES carbonática	Membro Crato	FÁCIES carbonática			Membro Ipubi	Membro Ipubi	FORMAÇÃO IPUBI
						Membro Crato	Membro Crato	FORMAÇÃO CRATO
FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO SERGI	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA	FORMAÇÃO	FORMAÇÃO	FORMAÇÃO
						MISSÃO VELHA	MISSÃO VELHA	MISSÃO VELHA
FORMAÇÃO BREJO SANTO		FORMAÇÃO BREJO SANTO	FORMAÇÃO BREJO SANTO	FORMAÇÃO ALIANÇA		FORMAÇÃO BREJO SANTO	FORMAÇÃO BREJO SANTO	FORMAÇÃO BREJO SANTO
FORMAÇÃO CARIRI	FORMAÇÃO TACARATU	FORMAÇÃO CARIRI	FORMAÇÃO TACARATU	FORMAÇÃO TACARATU	FORMAÇÃO MAURITI	FORMAÇÃO MAURITI	FORMAÇÃO CARIRI	FORMAÇÃO CARIRI

FONTE ADAPTADA DE PONTE & APPI (1990) e MARTILL & WILBY (1993)

Quadro III.2.2 - Quadro comparativo das colunas estratigráficas propostas para a Bacia Sedimentar do Aranje

Grupo Vale do Cariri

A proposição do termo Grupo Vale do Cariri por Ponte & Appi (1990), deve-se ao fato de que é na região homônima que ocorrem as melhores exposições e a sequência mais completa do pacote de sedimentos terrígenos, de idade neo-jurássica a eo-cretácica, limitado, discordantemente, pela Formação Mauriti na base e pelo grupo Aranje, no topo. De acordo com o conceito daqueles autores, o grupo em questão compreende as sequências tectono-sedimentares Pré-Rifte e Rifte representadas pelas formações Brejo Santo e Missão Velha (Jurássico Superior) e Formação Abaiara (Cretáceo Inferior) respectivamente.

Martill & Wilby (1993) adotaram a mesma terminologia Grupo Vale do Cariri, entretanto consideraram-no subdividido nas formações Cariri, Brejo Santo, Missão Velha e Rio da Batateira

Analisando-se os esquemas propostos para este grupo constata-se que o de Ponte & Appi (op cit) é bem mais coerente e correto, tendo em vista que o mesmo inclui um pacote sedimentar contínuo, limitado na base pela discordância pré-mesozóica e no topo pela discordância pre-apriana, sendo esta a razão de ter sido adotado no presente trabalho

• **Formação Brejo Santo (Jbs) - Jurássico Superior(?)**

Gasparly & Anjos (1964) aplicaram a denominação de Formação Brejo Santo, para designar a sequência de folhelhos, argilitos e arenitos que ocorre tipicamente nos arredores da cidade de Brejo Santo (Ceará) Corresponde à porção basal da Formação Missão Velha (BEURLIN, 1962) e foi correlacionada por Braun (1966) à Formação Aliança, do Jurássico das bacias de Recôncavo, Tucano e Jatobá

Assim como a Formação Mauriti, sua área de domínio acha-se restrita, quase que exclusivamente, à porção da bacia correspondente ao Vale do Cariri, estando melhor representada nas folhas Milagres (principalmente) e Crato, muito embora aflorem, também, nas folhas S José do Belmonte e Jardim Excetuando-se o Vale do Cariri e a região localizada a oeste e ao sul da cidade de Nova Olinda (CE), esta formação é reconhecida apenas em sub-superfície, conforme atestam os poços 2-AP-1-CE e 4-BO-1-PE que a atravessaram nas profundidades de 1023 a 1490 metros e 729 a 916 metros respectivamente (Figura III 2 2)

Litologicamente é constituída, na base, por uma alternância bem estratificada de arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos, contendo, localmente, intercalações de arenitos vermelhos No topo, ocorrem argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons escuro estratificados e esporádicos leitões de folhelhos verdes

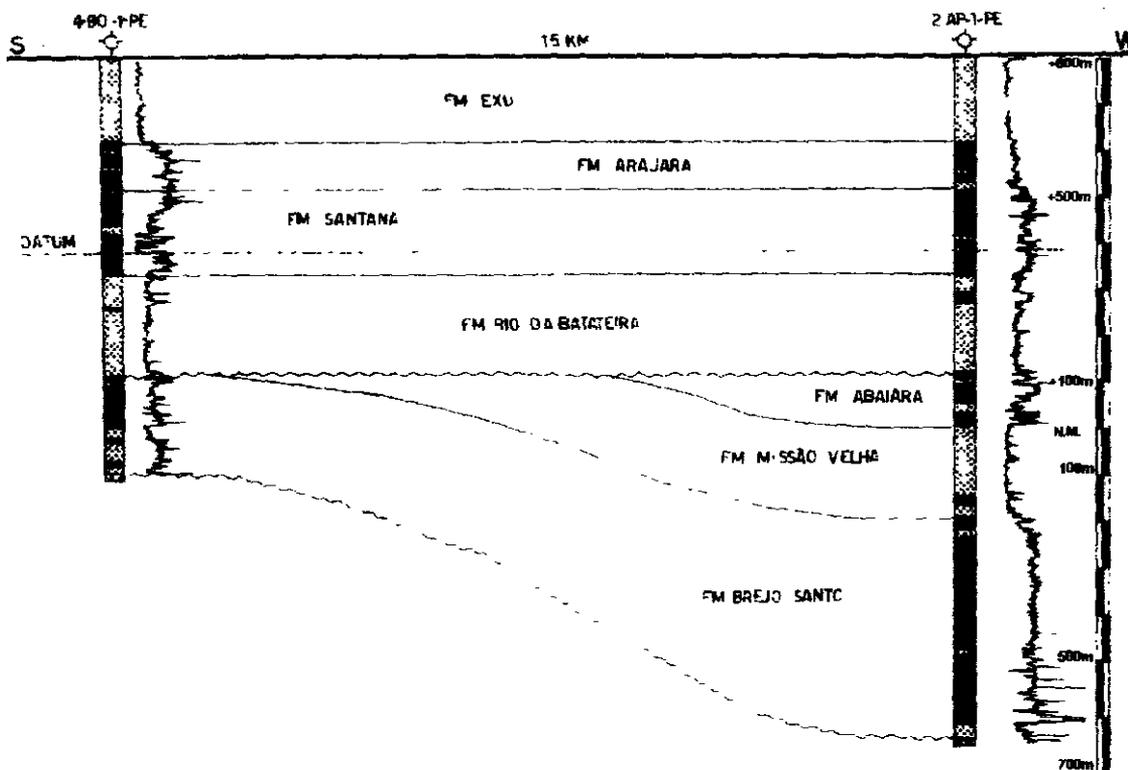


Figura III.2.2 -- Perfil de correlação (Fonte PETROBRAS, DIRGEO/SEPRAVE, 1994)

A associação paleontológica, de conchostráceos (Bairdestheria mawsoni, Bairdestheria mirandibensis, R C e Paleolinadiopsis barbosai, R C) e, principalmente de ostrácodes da biozona Bissulcocypsis pricei (RT-001) indicativa do Andar D João (neo-jurássico) permitiu Braun (1966)

correlacioná-la à Formação Aliança das Bacias do Reconcâvo, Tucano e Jatobá e adotar esta mesma terminologia na Bacia do Araripe

• **Formação Missão Velha (Jmv) - Jurássico Superior(?)/Cretáceo Inferior (?)**

Na concepção original de Beurlen (1962) a Formação Missão Velha, equivalente ao Arenito Inferior de SMALL (1913), era muito mais abrangente e compreendia toda a coluna sedimentar situada, entre as formações Cariri na base e Santana no topo. Em 1964, Gaspary & Anjos, redefiniram esta formação e desmembrando a seção superior (arenosa) da seção basal (argilo-arenosa), adotaram, respectivamente, as denominações de Formação Missão Velha e Formação Brejo Santo, as quais foram correlacionadas por Braun (op cit) às formações Sergi e Aliança das bacias do Recôncavo, Tucano e Jatobá

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

Segundo Ponte & Appi (1990), as melhores exposições, situadas a leste da cidade de Missão Velha e nas proximidades norte de Abaiara, mostram superposições de ciclos deposicionais fluviais granodécrescentes, iniciando, na base, por arenitos conglomeráticos e culminando, no topo, por leitos delgados de arenitos finos, argilosos e siltitos avermelhados. A ocorrência de troncos de madeira fóssil é comum nos leitos conglomeráticos. Segundo Martill & Wilby (1993), Berthou, em 1990, estimou uma espessura de 190 metros para o conjunto Brejo Santo (50m)/Missão Velha (140m), porém não ficou claro se estaria incluída ou não, neste conjunto, a Formação Rio da Batateira. Os dados de sub-superfície obtidos do poço 2-AP-1-CE revelaram para esta formação uma espessura de 187 metros (intervalo de 836 a 1 023 m de profundidade) Entretanto o poço 4-BO-1-PE atingiu o embasamento sem atravessá-la (Figura III 2 2)

O seu posicionamento estratigráfico, sobreposto à Formação Brejo Santo (Jurássico Superior) e sotoposto à Formação Abaiara (Cretáceo Inferior) em contato normal, permite atribuir-lhe uma idade neo-jurássica a eo-cretácica, estando incluída, portanto, no Andar Dom João (zona estéril)

• **Formação Abaiara (Kab) - Cretáceo Inferior**

O termo Formação Abaiara foi proposto por Ponte & Appi (1990) para designar o pacote de sedimentos que constitui a parte superior do Grupo Vale do Cariri e que ocorre tipicamente ao sul da cidade de Abaiara (CE), na área compreendida entre os riachos Camelé e Olho d'Água do Milho. As associações litológicas e paleontológicas, permitem, segundo Ponte Filho & Ponte (1992), sua perfeita identificação, tanto em superfície como em sub-superfície, conforme foi constatado na localidade-tipo acima mencionada e no intervalo de 712 a 836 metros de profundidade do poço-tipo (2-AP-1-CE) ASSINE em 1990 (apud Ponte Filho & Ponte, op cit) aplicou a mesma denominação para caracterizar a coluna sedimentar contida no intervalo de 722 a 837 metros de profundidade daquele poço-tipo, corroborando, em parte, a idéia de Ponte & Appi (op cit) quanto ao seu posicionamento e espessura em subsuperfície. Entretanto com relação a seção-tipo estabelecida por ASSINE, localizada entre a rodovia CE-096 e a cidade de Abaiara, existe uma discordância de opiniões pois Ponte & Appi (op cit) acreditam que na maior parte daquela seção-tipo afloram, na realidade, os termos litológicos das formações Brejo Santo e Missão Velha

Cavalcanti & Viana (1992) aplicaram a denominação de Membro Olho d'Água Comprido (Formação Missão Velha) à seção que aflora na localidade homônima, a leste da cidade de Missão Velha, e correlacionaram-na com a Formação Abaiara de Ponte & Appi (op cit) Ponte, (1992a) e Ponte Filho & Ponte (1992), no entanto, a incluíram na Formação Brejo Santo

Estas divergências levaram Ponte Filho & Ponte (op cit) a propor, formalmente, a caracterização estratigráfica da Formação Abaiara e para tal, consideraram como localidade-tipo e seção-tipo, o intervalo de 712 a 836 metros de profundidade do poço 2-AP-1-CE e um trecho de 8km da estrada carroçável que liga a cidade de Abaiara à vila de Conceição, passando pela vila de Olho d'Água da Pedra. Como seções de referência foram selecionados, fora da área-tipo, os afloramentos localizados na margem da rodovia CE-096, a aproximadamente 7,5km a leste de Missão Velha (Folha Crato) e no corte de estrada, próximo à linha de transmissão situada a 17km (em linha reta) a leste da cidade de Brejo Santo (Folha Milagres)

Considerando-se que os dados de superfície não permitem avaliar a sua espessura e que o poço 4-BO-1-PE atingiu o embasamento precambriano sem atravessá-la, atribui-se para esta unidade uma espessura de 124 metros, conforme foi constatado no poço 2-AP-1-CE

Com áreas de exposições modestas e restritas ao Vale do Cariri, a Formação Abaiara, segundo Ponte (1992a) e Ponte Filho & Ponte (op cit), encontra-se limitada na base por um provável hiato deposicional (ausência da parte inferior do Andar Rio da Serra), evidenciado em campo pela sua aparente deposição sobre um nível de cascalhos (seixos de quartzo, sílex e madeira silicificada) pertencente ao topo da Formação Missão Velha. O limite superior é marcado pela discordância pré-aptiana, caracterizada pela falta de registros com idade Aratu Superior, Buracica e Jiquiá, indicando um período erosivo e/ou não deposicional (Ponte op cit)

Litologicamente a Formação Abaiara é composta por alternâncias bem estratificadas de arenitos micáceos cinzas, amarelos ou avermelhados, predominantemente finos (com grãos sub-angulares), argilosos e semi-friáveis com siltitos, argilitos e folhelhos de cores variegadas (verde oliva, vermelhos, cinza e amarelos)

A análise faciológica das litologias que a constituem, diagnosticam uma sedimentação de origem lacustre rasa, deltáico-lacustre, de planícies de inundação fluvial e fluviais meandrantas, de baixa energia

Cronoestratigraficamente, posiciona-se no Andar Rio da Serra (Cretáceo Inferior), tendo por base a presença, na fácies pelítica, de ostrácodes da biozona Cypridea (Moriníoides) candeiensis KRO, Cypridea sellata Viana, Cypridea tucanoensis KR0 e Cypridea (Moriníoides) grekoffi (Silva Telles Jr et al , 1991) É possível que esta sequência se estenda até a parte inferior do Andar Aratu, haja vista a existência, embora rara, de Cypridea vulgaris

Grupo Araripe

O termo Série Araripe foi adotado por Small (1913) para designar toda a sequência sedimentar da Bacia do Araripe, constituída da base para o topo pelo Conglomerado Basal, Arenito Inferior, Calcário de Sant'Anna e Arenito Superior. Caldasso (1967) excluiu, da Série Araripe, o conglomerado basal, no que concordaram os autores que o sucederam. Braun (1966) dividiu o pacote sedimentar em dois grupos tectono-sedimentares, denominado-os de "Grupo Pré-Tectônico", constituído pelas formações Tacaratu, Aliança e Sergi (equivalentes estratigráficos das formações Mauriti, Brejo Santo e Missão Velha) e "Grupo Pós-Tectônico", no qual estão insendadas as formações Exu e Santana. Dantas (1974,1980), concordando com a conceituação estrutural de Braun , aplicou a designação de Grupo Araripe para caracterizar, litoestratigraficamente, o Grupo Pós-Tectônico

Ponte & Appi (1990), apoiados nas idéias de Braun e Dantas, redefiniram o Grupo Araripe, incluindo nele toda a sequência tectono-sedimentar depositada durante a fase pós-rifte de evolução tectônica da bacia. Assim definido, o Grupo Araripe passou a ser constituído pelas formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu

• Formação Rio da Batateira (Krb) - Cretáceo Médio

Formação Rio da Batateira foi o termo aplicado por Ponte & Appi (op cit) para definir a seção terrígena basal da Sequência Pós-Rifte que aflora tipicamente por cerca de 3,0 km ao longo do Rio da Batateira (em direção à Chapada do Araripe), a partir da Vila da Batateira na zona suburbana da cidade do Crato (CE)

A área de domínio desta formação, restrita ao Vale do Cariri, se estende amplamente desde o sope da Chapada do Araripe, a oeste da cidade do Crato (Vila da Batateira), até a Serra da Mãozinha, entre as cidades de Barbalha e Missão Velha. A partir daí sua área de exposição se estreita consideravelmente e, contornando a Chapada do Araripe, se estende em direção ao sul, até próximo à cidade de Jardim (CE) onde se acunha e desaparece por sob a chapada. De acordo com os conhecimentos atuais não aflora no restante da bacia, sendo reconhecida apenas em sub-superfície, através dos poços 2-AP-1-CE e 4-BO-1-PE, nos quais foi atravessada nos intervalos de 514 a 712m e 448m a 729 metros de profundidade, respectivamente (Figura III 2 2)

Dois ciclos fluviais-lacustres compõem o pacote sedimentar representativo desta coluna, havendo uma maior contribuição fluvial no primeiro, enquanto que no segundo predominam os depósitos lacustres. A sequência se inicia por bancos de arenitos fluviais médios a grosseiros, gradando, ascendentemente, para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e se

encerra com uma seção de folhelhos negros, orgânicos, fossilíferos, denominada de Camadas Batateira por Hashimoto et al (1987) Berthou et al (1994), em estudos realizados ao longo do Rio da Batateira, subdividiram a "Unidade Rio da Batateira" (80 metros de espessura) em três "assembléias" litológicas, denominadas, da base para o topo, de Misericórdia (fluvial), Tia Rosa (flúvio-lacustre) e Desfiladeiro (lacustre) Intercalada entre as unidades Missão Velha e Rio da Batateira, reconheceram a "Unidade Fundão"(10 metros de espessura), composta essencialmente de folhelhos negros e marrons, às vezes betuminosos

Segundo Ponte & Appi (1990) as espessuras da Formação Rio da Batateira, no rifte do Cariri e no rifte soterrado sob a Chapada do Araripe (constatada no poço 2-AP-1-CE) são da ordem de 200 metros No poço 4-BO-1-PE a espessura atravessada foi de 281 metros

O conteúdo fossilífero dos folhelhos escuros e em particular dos folhelhos betuminosos, representado por fragmentos de peixes, conchostráceos, ostracodes e pólen, indica uma idade correspondente à parte superior do Andar Alagoas

Conforme foi dito anteriormente, ao folhelho betuminoso que ocorre no topo da Formação Rio da Batateira, Hashimoto et al (op cit) aplicaram a denominação de Camadas Batateira e correlacionaram-nas às camadas "Trairi" e "Ponta do Tubarão" da Supersequência Transicional da Bacia do Ceará e da Bacia Potiguar, respectivamente Os referidos autores consideraram estas duas camadas como o registro do evento terminal do Andar Aptiano Em virtude disso, PONTE & APPI (op cit) admitiram que o intervalo entre o folhelho betuminoso e os calcários laminados da base da Formação Santana (Membro Crato) representa o marco da transição Aptiano/Albiano na Bacia do Araripe

• Formação Santana (Ks) - Cretáceo Médio

Inicialmente denominada Calcário de Sant'Anna (Small, 1913), e posteriormente de Formação Santana (Beurlen, 1962), a unidade ora descrita tem sido motivo de controvérsias entre os diversos autores que a têm estudado, principalmente no que diz respeito a sua divisão em sub-unidades ou membros Beurlen, em 1962, subdividiu-a nos membros inferior, gipsífero e superior, porem, no ano seguinte, desmembrou a parte inferior daquela unidade, passando a denominá-la de Formação Crato Devido à contestação de alguns autores, dentre eles Moraes (1963) e Braun (1966), Beurlen, em 1971, desconsiderando o que havia proposto em 1963, retorna a sua idéia original, e subdivide a Formação Santana nos membros Crato (inferior), Ipubi (médio) e Romualdo (superior) Em que pese o fato de alguns autores, tais como Moraes Et Al (1976), Lima (1979), Silva (1986), Brito Neves (1990), Martill & Wilby (1993) e outros (Quadro III 2 2) se contraporem à idéia de Beurlen (1971), será mantido neste trabalho, o esquema proposto por este último autor, considerando-se, portanto, a Formação Santana subdividida nos membros Crato, Ipubi e Romualdo

Em superfície, a sequência mais representativa da formação ocorre no lado cearense da bacia, distribuída numa área de afloramento contínua que, margeando a Chapada do Araripe, se estende pelos municípios Santana do Cariri (de onde deriva o termo Formação Santana). Nova Olinda, Juazeiro do Norte, Barbalha, Missão Velha, Abaiara, Porteiras e Jardim Nesta faixa aflora a sequência completa, distinguindo-se, de forma clara e insofismável, os membros Crato, Ipubi e Romualdo, conforme a definição de Beurlen (1971) Entretanto, este comportamento litoestratigráfico não pode ser estendido para toda a bacia, haja vista que, fora daquela faixa, o Membro Crato quando não está ausente, é reconhecido apenas em sub-superfície Nos estados de Pernambuco e Piauí predominam os termos litológicos do Membro Ipubi (gipsífero), entretanto em algumas localidades, aflora o Membro Romualdo, sendo o mesmo evidenciado pela presença de concreções calcárias com ictiólitos, dispersas num solo cinza escuro característico deste membro

O Membro Crato, situado na seção inferior da formação, constitui um pacote que, de acordo com Ponte & Appi (1990), apresenta uma espessura média da ordem de 50 metros e compreende, da base para o topo, folhelhos cinzas, castanhos, calcíferos, laminados e calcários micríticos cinza claro e creme, argilosos e finamente laminados Para Silva (1983), apud Ponte & Appi (op cit) estes sedimentos representam fácies centrais de um sistema deposicional lacustre, por ele batizado de "Lago Araripe" Moraes et al (1976). considerando que esta unidade é composta predominantemente de calcários, contendo intercalações de folhelhos e siltitos mais ou menos calcíferos, margas e calcarenitos, aplicaram-lhe a denominação de "Fácies Carbonatadas" Por outro lado considerando-se que os folhelhos basais deste membro correspondem, provavelmente, às Camadas Batateira de Hashimoto et al (op cit) e, portanto pertencente a seção superior da Formação Rio da Batateira, será adotada neste trabalho a concepção de Moraes et al (op cit),

quanto ao aspecto faciológico, sendo mantido, no entanto, o termo litoestratigráfico Membro Crato, proposto por Beurlen (op cit) Com relação ao seu conteúdo litológico, Ponte (1992a) se refere a uma associação de litofácies que se inicia com arenitos grosseiros, conglomeráticos, gradando, em direção ao topo, para terrígenos finos bem estratificados e para calcários argilosos laminados e culmina com uma camada de folhelhos orgânicos, negros, papiráceos, na base do Membro Ipubi

O Membro Ipubi, repousa sobre a unidade anterior em contato normal e gradacional, sendo constituído predominantemente por bancos estratiformes de gipsita, contendo, de forma subordinada intercalações de folhelhos cinza e verdes Todo o conjunto tem, em média, uma espessura de 30 metros e seu contato superior é nítido e brusco, representando segundo Silva (op cit) uma discordância regional Trata-se da unidade de maior interesse econômico em toda Bacia do Araripe, tendo em vista, os grandes depósitos de gipsita contidos nela

Do ponto de vista paleontológico o Membro Romualdo (topo da Formação Santana) é o mais expressivo, pois intercalado nos folhelhos e margas fossilíferos cinza-esverdeados, ocorre um horizonte rico em concreções carbonáticas de dimensões variadas, contendo, na sua grande maioria, peixes fósseis que, além do valor científico, apresentam-se economicamente interessantes, haja vista a sua grande procura por parte de colecionadores Ainda intercalados nos folhelhos ocorrem calcários argilosos, fossilíferos (preferencialmente na parte superior da unidade) e lentes de arenitos friáveis O contato inferior com o Membro Ipubi, é marcado por uma fina camada de microconglomerado ou arenito conglomerático com estratificação cruzada acanalada, contendo concreções argilosas e seixos de quartzo e gipsita Esta camada, com 1 a 2 metros de espessura, evidencia, de acordo com Ponte & Appi (op cit), o início de uma sequência deposicional sobre uma discordância erosiva A espessura do membro Romualdo varia de 2 a 15 metros, segundo Moraes et al (1976)

No poço 4-BO-1-PE, a espessura atingida pela Formação Santana foi de 169 metros (intervalo de 279 a 448 metros de profundidade), não tendo sido constatada a presença da camada gipsífera do Membro Ipubi

• Formação Arajara (Kar) - Cretáceo Médio

O termo Formação Arajara foi adotado por Moraes et al (1963) em substituição ao Arenito Superior de Small (1913) e Formação Exu de Beurlen (1962) Com o passar dos anos o termo caiu em desuso (Quadro III 2 2), até que Ponte & Appi (em 1990) o reabilitaram, não com o mesmo enfoque dado por Moraes et al (op cit), mas sim, para designar a sequência de siltitos, argilitos e arenitos sobreposta ao Membro Romualdo da Formação Santana e sotoposta à Formação Exu Mabesoone & Tinoco (1973) admitiram que esta sequência pertencia ao mesmo sistema deposicional da Formação Santana, no entanto consideraram-na, assim como Beurlen (op cit), como sendo o membro inferior da Formação Exu MARTILL & WILBY (1993), corroborando a idéia de Mabesoone & Tinoco (op cit) e Beurlen (op cit) aplicaram a denominação de Membro Simões para caracterizar a porção inferior daquela formação

O nome deriva do povoado de Arajara, localizado cerca de 12 quilômetros (em linha reta) ao sul da cidade do Crato e em cujos arredores observam-se boas exposições desta unidade Ponte & Appi (1990) descreveram a Formação Arajara, tomando por base a seção que aflora na estrada Crato - Arajara e nos cortes da rodovia BR-316 a oeste de Araripina, na região limítrofe entre os estados do Piauí e Pernambuco Nos trabalhos de campo realizados pela equipe do Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia do Araripe ficou evidenciada a sua existência em outros locais da bacia, tais como na rodovia Marcolândia - Calderão Grande, ao norte de Rancharia, na descida da Chapada do Araripe em direção a Bodocó ou a Feitoria e na rodovia Araripina-Simões O fato desta formação ser reconhecida em várias outras localidades, além daquelas citadas por Ponte & Appi (op cit), e a peculiaridade de suas características morfológicas e fotogeológicas, levam a crer tratar-se de uma unidade contínua ou quase contínua, que aflora por toda extensão da bacia, bordejando o sopé da escarpa da Chapada do Araripe

Litologicamente é composta por siltitos, argilitos, arenitos finos argilosos e/ou caulínicos, bem estratificados, exibindo estruturas sedimentares (marcas onduladas, laminações cruzadas e, eventualmente estruturas de fluidização) e coloração variegada, predominando as tonalidades vermelha e amarela sobre as demais

Seu contato inferior, com o Membro Romualdo, é feito de modo gradacional enquanto que, com a unidade que lhe sobrepõe, a Formação Exu, é bem marcado por uma discordância erosiva regional, conforme afirma Silva (1983, 1986)

A espessura da formação, levando-se em conta os dados de superfície, é difícil de ser estimada, haja vista que na maioria das vezes, encontra-se recoberta por depósitos de talus proveniente dos arenitos de Formação Exu. Em sub-superfície, as espessuras constatadas, nos poços 2-AP-1-CE e 4-BO-1-PE foram de 100 metros (intervalo de 237 a 337 metros de profundidade) e 36 metros (intervalo de 243 a 279 metros de profundidade), respectivamente.

Lima (1978), apud Ponte & Appi (op cit), com base em estudos palinológicos, admite que esta unidade se depositou durante o Albiano, em condições climáticas quentes e áridas.

• **Formação Exu (Ke) - Cretáceo Médio**

Foi designada originalmente de Arenito Superior por Small (1913), tendo assumido, em trabalhos subsequentes, as denominações de Formação Exu (Beurlen, 1962), Formação Arajara (Moraes, et al, 1963) e Formação Feira Nova (Gaspary & Anjos, 1964). Considerando-se a precedência da data de publicação e a consagração pelo uso, será adotada, no presente trabalho, a conceituação de Beurlen (op cit), no entanto em concordância com Ponte & APPI (1990), a seção inferior, composta por siltitos e arenitos finos argilosos, foi aqui individualizada sob a denominação de Formação Arajara, conforme descrita anteriormente.

Trata-se, do ponto de vista estratigráfico, da unidade que encerra a sequência paleo-mesozóica da Bacia Sedimentar do Araripe, constituindo uma capa contínua em toda extensão da chapada, representada por uma sequência monótona de arenitos vermelhos friáveis, argilosos, em geral caulínicos, de granulometria variável, contendo, mais das vezes, leitos intercalados de arenitos grosseiros a conglomeráticos. Todo o conjunto, que repousa discordantemente sobre a Formação Arajara, constitui bancos grosseiramente acamadados, com estratificações cruzadas, evidenciando litofácies típicas de depósitos fluviais.

As espessuras aflorantes desta formação são variáveis, atingindo valores máximos (150 a 200 metros) na parte leste da chapada e valor mínimo, em torno de 100 metros na extremidade oeste. Em sub-superfície, foram constatadas as espessuras de 237 metros no poço 2-AP-1-CE e 243 metros, no poço 4-BO-1-PE.

Não se tendo notícias de quaisquer referências sobre a existência de fósseis no âmbito desta formação, atribui-se para ela, tentativamente, uma idade albiana-cenomaniana.

• **Depósitos Cenozóicos - Terciário / Quaternário**

Os sedimentos cenozóicos encontram-se representados pelas coberturas terció-quaternárias arenosas, areno-argilosas e areno-siltica argilosas (Tqc), depósitos de talus (TQt) e pelas aluviões quaternárias (Qal).

As coberturas terció-quaternárias, no Vale do Cariri, estão relacionadas, principalmente às Formações Missão Velha e Rio da Batateira. No restante da bacia, principalmente no estado de Pernambuco recobrem

extensas áreas de domínio da Formação Santana, conforme pode ser observado na região de Arraiana, Trindade, Ipubi e Bodocó. Os depósitos de talus, mapeáveis na escala de 1:250.000, incluem os sedimentos oriundos das Formações Arajara e Santana que afloram no lado cearense da bacia e que, devido ao seu posicionamento ao sopé das vertentes da chapada, mascaram o contato desta última formação com a Formação Rio da Batateira.

Finalmente, os depósitos quaternários compreendem os aluviões dos rios que drenam a bacia, destacando-se, entre eles, os rios da Batateira e Salamanca e os riachos Seco, da Vagem, Jenipapeiro, São Miguel, Violeta, Mameluco, etc.

III.3 - ARCABOUÇO ESTRUTURAL

As pesquisas realizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, anteriores a década de 80, tiveram por objetivo primordial defini-la litoestratigraficamente, não havendo, portanto, preocupação em analisá-la sob o ponto de vista tectono-estrutural. Entretanto, Braun (1966) considerando a "discriminação tectônica" existente entre as unidades sedimentares presentes na bacia, dividiu a sua

coluna estratigráfica em dois compartimentos estruturalmente distintos, denominando-os de "Grupo Pre-Tectônico" (Siluro-Devoniano/Jurássico) e "Grupo Pós-Tectônico" (Cretaceo)

A partir dos anos 80 houve um maior interesse em conhecer aquela bacia quanto ao aspecto tectono-estrutural, destacando-se neste contexto os trabalhos de Ghignone et al (1986) Brito Neves (1990) e Ponte (1991b)

Ghignone et al (op cit) estudando a porção da bacia que corresponde ao Vale do Cariri, individualizou sete blocos estruturais distintos, denominando-os de Missão Velha, Crato-Corredores, Mauriti, Mararupá-Anauá, Brejo Santo, Serrote das Cacimbas e São Miguel (Figura III 3 1) Mesmo tendo definido e descrito todos esses blocos, afirmam que as feições estruturais mais importantes são 1) o bloco de Crato-Corredores, subdividido em blocos menores, com "grabens e horsts" arqueados, 2) o Meio-Graben de Serra das Cacimbas, 3) o Horst de Mauriti, localizado entre os dois primeiros Continuando com a análise estrutural, concluem que "os blocos restantes representam centros de resistência ao aprofundamento e, em consequência, consignam falhamentos secundários, incidentes sobre as vias principais de abatimento"

Brito Neves (1990), ao enquadrar a Bacia do Araripe dentro do contexto geotectônico regional, afirma que a mesma é tipicamente cratônica policíclica, na qual todos os estágios evolutivos mostram evidências de uma herança tectônica das discontinuidades estruturais do embasamento Brasileiro O estágio rifte principal resultou das tensões NW-SE associadas à abertura continental mesozóica, porém, seguindo "trends" estruturais pre-existentes do embasamento Neo-Proterozóico Partindo dessas premissas e contando com a ajuda de mapas sísmicos, gravimétricos, esquemáticos-estruturais e geológicos identificou, de oeste para leste, os blocos estruturais, de direção NE-SW, assim denominados

- Alto Araripina-Quinquerê (herdado de embasamento), Alto Dom Leme, Horst de Barbalha, Alto de Milagres, Horst de Mauriti-Brejo Santo, Fronteira (PB-CE)
- Sub-Bacias/Baixos de Feira Nova, Crato-Juazeiro, Missão Velha, Mararupá-Anauá e São Miguel-Serrote das Cacimbas

Ponte (1991b) apresentou um novo modelo estrutural para a Bacia do Araripe, no qual podem ser distinguidos dois compartimentos estruturais superpostos o inferior ou Riftes Neocomianos, caracterizado por bacias do tipo rifte, (eo-cretácicas) ocupando depressões de embasamento, e o superior representado pela cobertura tabular, sub-horizontal meso-cretácica que constitui a Chapada do Araripe

O compartimento estrutural do estilo rifte é bem exposto no Vale do Cariri, entretanto levantamentos gravimétricos e sísmicos o identificaram, também, sob a Chapada do Araripe

Embasado nestes fatos, Ponte (op cit) individualizou, dentro deste compartimento, as sub-bacias Leste ou do Cariri e Oeste ou de Feira Nova, separadas por um bloco alto, denominado de Horst de Dom Leme (Figura III 3 2) Os falhamentos principais situam-se na continuidade do falhamento do embasamento ou se alinham nas mesmas direções preferenciais dos mesmos, ou seja, na direção NE-SW (que limita as sub-bacias) e na direção E-W (aproximadamente), concordantemente com as direções estruturais de lineamentos Patos ao norte e Pernambuco ao sul

A Sub-Bacia Leste ou do Cariri limita-se a oeste com o Horst de Dom Leme, através da falha do Crato e estendendo-se em direção ao leste, até o município de Bonito de Santa Fé (Paraíba), entra em contato com o embasamento precambriano Ao norte é limitada pelos arenitos da Formação Mauriti e ao sul encontra-se, em parte, soterrada pela cobertura tabular meso-cretácica que constitui a Chapada do Araripe e em parte em contato falhado com o embasamento Internamente, PONTE (op cit) reconheceu, nesta sub-bacia, blocos estruturais ("grabens", "horsts", blocos escalonados), todos limitados por falhas de orientação predominantemente NE-SW Os principais horsts identificados foram os de Barbalha, de Abaiara e de Brejo Santo-Mauriti Dentre os grabens destacam-se os de Crato-Juazeiro, de Missão Nova, de Jenipapeiro e do Serrote das Cacimbas-Palestina

Ainda, segundo Ponte (op cit) a sub-bacia em questão, com profundidade máxima em torno de 1 400m (região Crato-Juazeiro), encontra-se limitada por falhas NW-SW e encaixada entre duas plataformas rasas a plataforma de Milagres-Missão Velha, ao norte e a plataforma de Jardim, ao sul

A Sub-Bacia Oeste ou Sub-Bacia de Feira Nova, descoberta através de levantamento gravimétrico e posteriormente confirmada nos perfis sísmicos e na sondagem exploratória 2-AP-1-CE, localiza-se sob a cobertura tabular meso-cretácica, sub-horizontal, formadora da Chapada do Araripe, constituindo um pacote sedimentar com 786 metros de espessura (conforme dados daquela sondagem) composto, da base para o topo, pelas formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara

Silva (1994), analisando os dados do poço 4-BO-1-PE e correlacionando-os com aqueles obtidos no poço 2-AP-1-CE (localizado cerca de 15km a NE do primeiro), concluiu que, do pacote sedimentar referido anteriormente, apenas a Formação Brejo Santo se faz presente, em contato com a sequência meso-cretácica que a sobrepõe através de uma discordância erosional pré-mesozóica (Figura III 2 2)

Esta sub-bacia tem, aparentemente, uma orientação NE-SW, sendo limitada a leste pelo Horst de Dom Leme e a oeste pela plataforma Araripina-Pajeú. No seu interior são reconhecidos, pelo menos, dois blocos escalonados, intermediados por um graben. Todo o conjunto mergulha para noroeste e encontra-se limitado por falhas de direção NE-SW. A sua extremidade sudoeste assemelha-se a uma plataforma rasa com limites mal definidos, sendo por isso denominada de plataforma de Ipubi.

Sua profundidade máxima, de acordo com os dados sísmicos, é da ordem de 1 700m, abaixo da superfície da chapada, entretanto no poço 2-AP-1-CE o embasamento precambriano foi atingido aos 1 490 metros abaixo da referida superfície, enquanto que, no poço 4-BO-1-PE, o embasamento foi atravessado aos 910 metros de profundidade.

Os altos estruturais mais significativos descritos por Ponte (op cit), são o Horst de Dom Leme, que se posiciona entre as sub-bacias, do Cariri e de Feira Nova e a plataforma de Araripina-Pajeú, situada a oeste da sub-bacia de Feira Nova.

O Horst de Dom Leme orienta-se segundo a direção NE-SW, mergulhando no sentido nordeste, e está recoberto pela estratos sub-horizontais da sequência meso-cretácica.

A Plataforma de Araripina-Pajeú, constitui uma feição estrutural rasa de direção NE-SW e mergulho para leste-sudeste, estando, em sua maior parte, encoberta pela Chapada do Araripe.

Finalmente, recobrindo, discordantemente, grande parte dos riftes neocomianos e do embasamento circundante, ocorre uma cobertura tabular sub-horizontal meso-cretácica, de idade aptiana-albiana, constituindo um pacote sedimentar de espessura variável, (471 e 505 metros nos poços 4-BO-1-PE e 2-AP-1-CE, respectivamente). formado pelas formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu.

000036

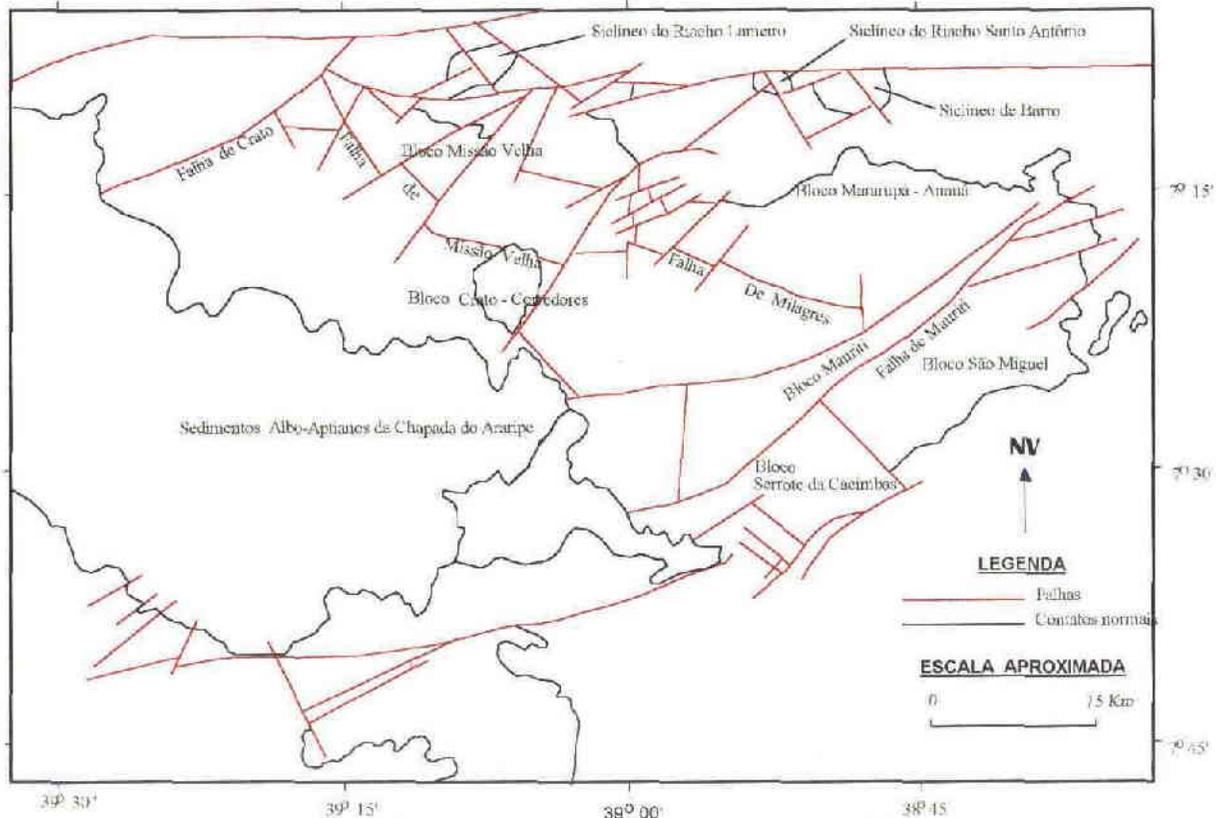


Figura III.3 1 - Mapa esquemático do arcabouço estrutural da parte leste da Bacia do Araripe - Cariri. (Fonte: Ghignone, 1996).

000037

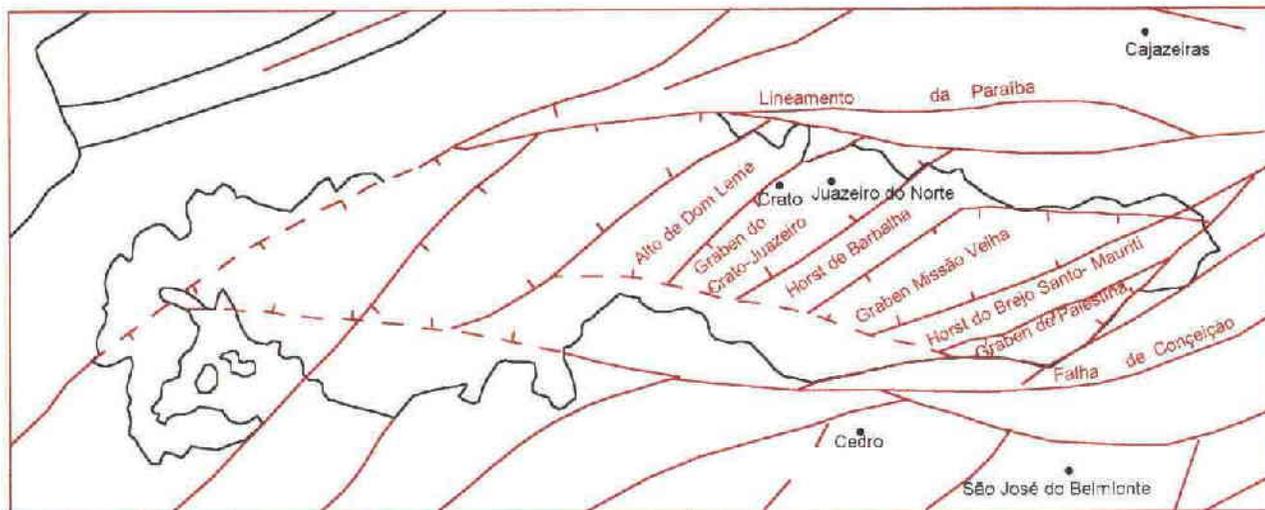


Figura III.3.2 - Arcabouço estrutural da Bacia do Araripe..
 (Segundo Pontes F. C., 1992)

000038

III 4 - EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR

Passadas duas décadas e meia após Braun (op cit) haver lançado suas idéias, Ponte (1991b), integrando e interpretando as informações obtidas dos trabalhos desenvolvidos nos anos 80 pela PETROBRÁS (levantamentos geofísicos e geológicos, estudos morfo-estruturais e sondagem), apresenta um trabalho sobre o "Arcabouço Estrutural e Evolução da Bacia Mesozóica do Araripe", onde, além de elaborar o mapa do arcabouço estrutural do embasamento daquela bacia, fez uma revisão da literatura geológica, analisando os principais trabalhos sob o ponto de vista estratigráfico/estrutural

No citado trabalho, Ponte considera a Bacia do Araripe caracterizada morfologicamente por duas unidades (Vale do Cariri e Chapada do Araripe) e estruturalmente formada por dois compartimentos distintos (Riftes Neocomianos-Cretáceo Inferior e Coberturas Tabulares Meso-Cretácicas) Quanto à evolução tectônica mesozóica, faz referência a três estágios bem definidos Estágio Pré-Rifte, Estágio Rifte ou Sintectônico e Estágio Pós-Rifte

Aquele mesmo autor, em 1991c e 1992b, estudando os sistemas deposicionais na Bacia do Araripe, já descritos neste trabalho, se refere a um ciclo tectônico mais antigo que aqueles estágios, o Ciclo Gama, durante o qual, foram depositados os sedimentos siluro-devonianos que constituem a base da sequência sedimentar daquela bacia

Segundo PONTE et al (1991) a reconstituição completa do desenvolvimento tectono-sedimentar paleozóico na Província Borborema, onde encontra-se instalada a Bacia do Araripe, é uma tarefa bastante difícil, tendo em vista que da sedimentação que se procedeu naquele período restam apenas remanescentes isolados Assim, considerando a proximidade daquela bacia com a Sinéclise do Parnaíba, cuja evolução histórica tem sido objeto de estudo por vários autores Ponte et al (op cit) aplicando os conceitos de Soares et al (1978) sobre as sequências paleozóicas das bacias intracratônicas, fizeram referências a quatro ciclos deposicionais Alfa (Cambriano-Ordoviciano Inferior), Beta (Ordoviciano Superior-Siluriano), Gama (Siluriano Superior-Carbonífero Inferior) e Delta (Carbonífero Superior-Permiano) Entretanto, na Bacia do Araripe, apenas o Ciclo Gama foi reconhecido, sendo evidenciado pelos sedimentos terrígenos grosseiros da Formação Mauriti Esta formação, de acordo com Ponte (1991a e b) não tem relação genética direta com a evolução tectono-sedimentar da atual Bacia do Araripe, mas apenas representa remanescentes de uma extensa sedimentação epicontinental paleozóica sobre a Província Borborema

III.4.1 Ciclo Tectono-Sedimentar Paleozóico

• *Ciclo Gama (Siluriano Superior-Carbonífero Inferior)*

A deposição dos sedimentos terrígenos (Formação Mauriti), correlacionada a este ciclo, se processou durante a fase de quiescência tectônica generalizada que caracteriza o Estágio de Estabilização da plataforma brasileira, no qual, segundo Almeida (1969), são distinguidas duas fases evolutivas Fase Talassocrática (Siluriano Inferior ao Carbonífero Inferior) e Fase Geocrática (Carbonífero Superior ao Triássico), caracterizadas, respectivamente, por grandes transgressões marinhas epicontinentais e por uma sedimentação continental com ingressões episódicas da maré

Na Sinéclise do Parnaíba, enquanto se processava a ingressão marinha no sentido de noroeste para sudeste, havia aporte de sedimentos terrígenos grosseiros, provenientes das áreas emersas adjacentes, incluída entre elas parte da Província Borborema Tais sedimentos originaram a Formação Serra Grande e as unidades litoestratigráficas siluro-devonianas que lhes são correlatas (formações Tacaratu e Mauriti), constituindo-se, assim uma ampla cobertura, provavelmente contínua, que ultrapassou os limites da atual Bacia do Parnaíba Testemunhos dessa cobertura, sobre a Província Borborema, são encontrados nas bacias do Araripe, Cedro e Barro (Formação Mauriti), nas bacias do Jatobá e Mirandiba e nos remanescentes sedimentares presentes em São José do Belmonte, Tupanaci, Betânia e Afogados da Ingazeira, no Estado de Pernambuco (Formação Tacaratu)

Ainda na Fase Talassocrática a região Nordeste, do Eo-Devoniano ao Eo-Carbonífero, assistiu a um soerguimento crustal que provocou o recuo da paleo-bacia do Parnaíba, ficando exposta a erosão parte da Sequência Gama Esta, provavelmente, é a razão pela qual sobre a Província Borborema, a referida sequência esteja representada apenas pela sua porção basal, Siluro-Devoniana

III 4.2 - Estágios Tectonos-Sedimentares Mesozóicos

Ponte (1991a), ao se referir às bacias mesozoicas do interior do Nordeste brasileiro, afirma que a Bacia do Araripe, a exemplo das demais "deve sua implantação à evolução e reflexos, não muito remotos, dos eventos tectônicos responsáveis pela fragmentação do paleo-continente do Gondwana, individualizando as placas continentais Sulamericana e Africana e formando, entre elas, o Oceano Atlântico Sul" Este mesmo autor, ainda em 1991 (Ponte 1991b) ao estudar a evolução tectônica daquela bacia, aplicou os mesmos conceitos adotados no estudo das bacias pericratônicas da margem continental brasileira e identificou três estágios tectônicos sucessivos Estágio Pré-Rifte (*Jurássico Superior?*), Estágio Rift (*Cretáceo Inferior*) e Estágio Pós-Rifte (*Cretáceo Médio*)

• Estágio Pré-Rifte (*Jurássico Superior ?*)

Este estágio se iniciou no Neo-Permiano, com o processo de soergimento e intumescência da crosta, que perdurou até o final do Jurássico, ocasião em que um tectonismo incipiente, provocado por forças tensionais promoveu o estiramento, o adelgaçamento e uma posterior subsidência da parte axial da área soergida, dando origem a uma ampla e rasa depressão bacial, alongada no sentido N-S denominada por Ponte et al (1971) de Depressão Afro-Brasileira

Os sedimentos flúvio-eólico-lacustrinos depositados naquela depressão vieram a constituir a Sequência Pré-Rifte, composta por folhelhos vermelhos, na base e arenitos grosseiros, no topo Esta sequência jurássica, incluída no Andar Dom João (Viana et al , 1971) ou Andar Donjoaniano de Brito & Campos (1983) , caracteriza-se por apresentar uma extraordinária continuidade lateral e vertical em toda sua extensa área de ocorrência, sendo reconhecida nas bacias do Recôncavo e Tucano (Formação Afligidos), nas bacias de Camamu, Almada, Recôncavo, Tucano, Jatobá e Mirandiba (formações Aliança e Sergi), e na Bacia de Sergipe-Alagoas (formações Candeeiro, Bananeiras e Serraria) Na Bacia do Araripe está representada pelas formações Brejo Santo e Missão Velha

• Estágio Rift (*Cretáceo Inferior-Neocomiano*)

A fase de estabilização da plataforma brasileira que se estendeu até o final do Jurássico, foi interrompida, no início do Cretáceo Inferior, por uma intensa tectônica ruptural que provocou o fraturamento e colapso da crosta ao longo do eixo maior da geoanticlinal formada durante o processo de soergimento e intumescência crustal Este tectonismo tafrogênico, denominado de Reativação Wealdeniana por Almeida (1967) deu origem a um sistema de riftes assimétricos, alongados segundo a direção NE-SW e compartimentados em "grabens", "semi-grabens" e blocos escalonados

O processo de rifteamento culminou com a ruptura do paleo-continente do Gondwana e posterior migração das placas Sulamericana e Africana, dando ensejo à formação do Oceano Atlântico Sul e, conseqüentemente, às margens continentais brasileira e africana

A sequência sedimentar de origem lacustre-deltaico-fluvial, depositada durante este estágio inclui, nas bacias costeiras, os andares Rio da Serra, Aratu, Buracica e Jiquiá definidos por Viana et al (1971) e reunidos por Brito & Campos (op cit), no Andar Baiano

De acordo com Ponte (1992b), com o abortamento prematuro do rift do Araripe, apenas foram depositados os sedimentos relacionados à porção superior do Andar Rio da Serra e, talvez, à parte inferior do Andar Aratu, constituindo a sequência flúvio-lacustrina representativa da Formação Abaiara, que é correlacionada ao Grupo Rio do Peixe (Bacia do Rio do Peixe, na Paraíba) e ao Grupo Iguatu, das bacias de Iguatu, Icó e Lima Campos, no Ceará

• Estágio Pós-Rifte (*Cretáceo Médio-Aptiano/Albiano*)

Cessada a fase de intensa atividade tectônica, instalou-se um período de quiescência relativa, onde pequenos afundamentos e/ou compactação dos sedimentos depositados nos riftes originaram, na Bacia do Araripe, depressões rasas nas quais, ao final do Andar Alagoas, começaram a ser depositados os sedimentos meso-cretácicos constituintes da sequência Pós-Rifte (Ponte 1992a e b) Inicialmente houve a deposição dos sedimentos flúvio-lacustre-carbonáticos (Aptiano-Albiano) que compõem a Formação Rio da Batateira e o Membro Crato (base da Formação Santana) A sedimentação da Formação Santana teve continuidade com a deposição da fácies evaporítica do Membro Ipubi em pequenas bacias restritas e culminou com a deposição dos folhelhos, arenitos

calcíferos, e calcários de ambientes lagunares e marinhos rasos do Membro Romualdo. Em seguida foram depositados, em ambientes lagunares e marinhos rasos, os terrígenos finos (arenito fino e siltitos) interestratificados da Formação Arajara.

No Albiano Médio um pulso tectônico tardio reativou muitos dos falhamentos brasileiros, provocando falhamentos e basculamento nas camadas das formações Rio da Batateira, Santana e Arajara. Este evento, provavelmente, foi responsável pela fragmentação das bacias mesozóicas de Iguatu e Rio do Peixe, no interior do Nordeste do Brasil.

A sequência Pós-Rifte, na Bacia do Araripe se encerra no final do Albiano ou no início do Cenomaniano com a deposição dos terrígenos grosseiros, de origem flúvio-aluvial, da Formação Exu.

Finalmente, segundo Ponte (1992b), a ausência de representantes neo-cretácicos, a posição topográfica do topo da Formação Exu, com altitudes médias superiores a 800 metros acima do nível do mar e o dissecamento erosional das bordas da Chapada do Araripe indicam que desde o Cenomaniano a região vem sofrendo um soerguimento epirogênico, predominando até hoje o regime de erosão.

IV - HIDROGEOLOGIA

IV.1 - CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA REGIONAL

IV.1.1 - O Contexto Hídrico da Bacia

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

Ao longo dos seus 11 000 km², apresenta uma maior predominância da "zona de chapada" com altitudes variando entre 700 e 1 000m, onde se pode alcançar toda a sequência das várias formações geológicas que constituem a bacia sedimentar, isto é, os grupos Araripe (superior) e Vale do Cariri (inferior) , tendo o poço 2-AP-1-CE perfurado, pela PETROBRÁS em Araripe-CE, alcançado o embasamento cristalino a uma profundidade de 1 490m

A sua porção oriental é dominada pela "zona de pediplano", com uma área aproximada de 1 500 km², altitude média de 400 m, denominada de Vale do Cariri, onde predominam as sequências estratigráficas do Grupo Vale do Cariri, com exposições localizadas do Grupo Araripe em testemunhos erosivos representados pelas "serras" do Juá e da Mãozinha, com altitudes entre 800 e 900m Apesar da diferença de cota de 500 m entre a chapada (média de 900 m) e o pediplano (média de 400 m), estudos de sísmica efetuados pela PETROBRÁS na zona de pediplano revelaram profundidades do pacote sedimentar, predominantemente do Grupo Vale do Cariri, de até 1 500m, no "Graben do Crato-Juazeiro"

Essa diversificação litoestratigráfica, acarreta a formação de uma alternância de aquíferos, aquíferos e aquícludes, que apresentam características variáveis também com relação à localização, isto é, variam espacialmente, mostrando descontinuidades verticais e laterais No capítulo III, referente à geologia, a Fig III 2 mostra um perfil de correlação entre os poços 4-BO-1-PE perfurado no município de Bodocó-PE e 2-AP-1-CE, no município de Araripe-CE, verifica-se que no primeiro, as formações Abaiara e Missão Velha não aparecem, pois teriam sido erodidas antes da deposição da Formação Rio da Batateira

Em termos de importância hidrogeológica, a região do Cariri apresenta muito maior interesse, em virtude de serem os melhores aquíferos situados à pouca profundidade, sendo susceptíveis de exploração com poços de 100 m, no topo da chapada, ao contrário, os níveis d'água estão muito profundos, a mais de 100 m, dificultando a sua captação em poços ali perfurados

Considerando a similitude de características hidrogeológicas, a imprecisão na descrição de grande parte dos perfis geológicos dos poços perfurados, e a pouca profundidade alcançada pelos poços (máxima de 250 m, com média de 78 m). será procedida, no presente estudo, a seguinte divisão hidrogeológica na Bacia do Araripe

- 1 **Sistema Aquífero Superior** (*formações Exu e Arajara*) - ± 320 m de espessura
- 2 **Aquíclude Santana:** - ± 180 m de espessura
- 3 **Sistema Aquífero Médio** (*formações Rio da Batateira , Abaiara e Missão Velha*) - ± 500 m de espessura
- 4 **Aquíclude Brejo Santo** - ± 400 m de espessura
- 5 **Sistema Aquífero Inferior** (*Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo*) com 60 a 100 m de espessura

O agrupamento dessas formações em "sistemas aquíferos" embora não seja, a rigor, totalmente válido, teve que ser adotado em função da precariedade dos dados, tanto em quantidade, como em qualidade

Assim e que o Sistema Aquífero Superior não apresenta uma uniformidade de características hidrodinâmicas entre as duas formações envolvidas, desde que, a permeabilidade da Formação Exu, predominantemente arenosa, é sempre bem superior à da Formação Arajara, mais argilosa, que apresenta mais característica de um aquífero do que de um aquífero

Apesar dessa diferenciação, não ocorre uma separação distinta e espacialmente continua entre essas duas unidades estratigráficas, e a maior evidência disso é que um grupo de exutórios naturais (fontes) ocorre na base da Formação Exu, enquanto outro grupo ocorre dentro da Formação Arajara, ou no seu contato com a Formação Santana com cotas variando entre 650 m e 750m. Por outro lado, não existem poços profundos no topo da chapada, explotando simultaneamente essas duas formações

O Sistema Aquífero Médio, é ainda mais complexo por envolver três unidades estratigráficas, todas com características litológicas semelhantes e condições hidrodinâmicas muito próximas entre si. Esse sistema predomina em todo o vale do Cariri ou zona de pediplano, onde se concentra a maior exploração de águas subterrâneas, na Bacia do Araripe

De acordo com o levantamento geofísico (sismica) elaborado pela PETROBRAS e interpretado por Ponte & Appi (1990) o aquífero Rio da Batateira ocorre discordantemente sobre os aquíferos Abaiara ou Missão Velha, a depender da situação estrutural local, com espessura variável entre 50 e 150 m, em toda a porção ocidental do vale do Cariri. desde o Crato até Abaiara. Na região de Abaiara predomina o aquífero de mesmo nome, enquanto para leste, predomina o aquífero Missão Velha

Por último, vem o Sistema Aquífero Inferior, na base da sequência estratigráfica, aparecendo na condição de livre na borda da bacia, tanto na região de Juazeiro do Norte - Missão Velha, como na faixa de Milagres - Mauriti, na condição de confinado, é captado ocasionalmente em áreas de cobertura do aquíclode Brejo Santo, cujas camadas mais inferiores possuem intercalações arenosas que acumulam água juntamente com o aquífero Mauriti, daí ser constituído um sistema aquífero

O aquíclode Santana acarreta distinta separação entre os sistemas aquíferos Exu/Arajara e Rio da Batateira/Abaiara/Missão Velha, por ser constituído por materiais totalmente impermeáveis como folhelhos, calcário e gipsita, em camadas contínuas com quase 200 m de espessura, sua importância hidrogeológica é muito pequena, pois, na chapada, apenas dois poços estratigráficos foram perfurados através desse aquíclode, ficando os poços exploratórios, todos com profundidades de até 200 m. Eventualmente, como será visto adiante, podem ocorrer camadas arenosas dentro da Formação Santana, principalmente na sua porção basal, constituindo aquíferos de pequena importância face às suas reduzidas espessuras

O aquíclode Brejo Santo também desempenha pequena importância, pois o aquífero que lhe e sotoposto, isto é, o Mauriti, apresenta baixa produtividade

Os 1 485 poços cadastrados na bacia foram distribuídos da seguinte maneira, em relação ao quadro hidrogeológico supra-descrito

- a) Sistema Aquífero Médio 807 poços. ou seja, 54,3 % do total,
- b) Sistema Aquífero Inferior 321 poços, ou 21,6 % do total.
- c) localização variada entre embasamento cristalino na borda da bacia, coluviões, aquíclode Santana e Sistema Aquífero Superior (apenas 2) 357 poços, ou 24,1 % do total

O estudo procedido ficou restrito aos poços dos sistemas aquíferos médio e inferior, totalizando 1 128 poços (75,9 % do total cadastrado)

Nos capítulos que se seguem, será tratado o comportamento nos sistemas aquíferos distintos, todavia merece uma análise prévia a relação entre poços perfurados e poços desativados pelos mais variados motivos, tais como quebra de equipamento de bombeamento, assoreamento do poço, baixa vazão devido a má construção do poço. etc

Do total de 1 128 poços profundos nos dois sistemas aquíferos (médio e inferior), 363 se acham desativados (32,2 %), em relação a cada sistema aquífero, tem-se que no médio, 281 dos 807 poços perfurados estão desativados (34,8 %), enquanto que no sistema aquífero inferior, 72 dos 321 poços perfurados não mais funcionam (22,4 %) A Figura IV 1 1 ilustra melhor a situação

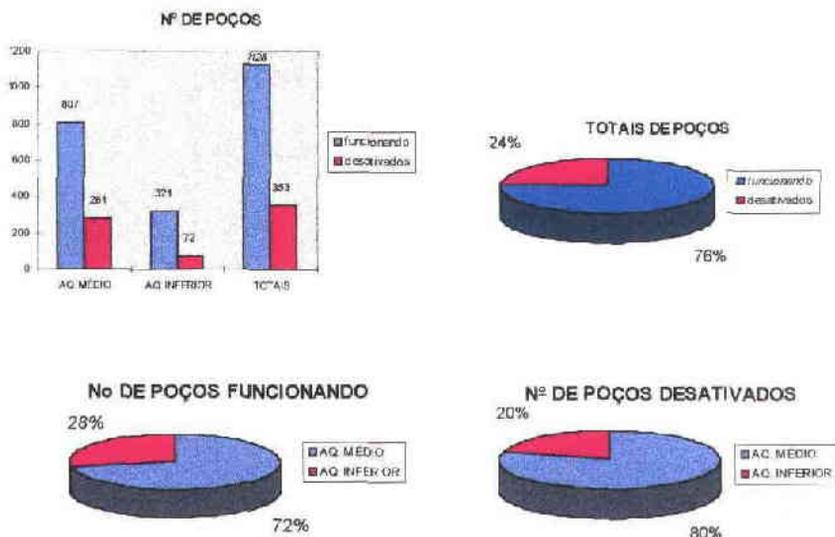


Figura IV.1.1 - Relação entre poços perfurados e desativados

IV.1.2 - O Controle Tectono-Estrutural dos Sistemas Aquíferos

Conforme ficou devidamente caracterizado nos itens III.3 e III.4, a Bacia Sedimentar do Araripe apresenta uma estrutura geológica condicionada por ciclos tectono-sedimentares no que resultou, basicamente, duas sub-bacias: a de Feira Nova a oeste e a do Cariri a leste, separadas entre si por um alto estrutural denominado de "Alto de Dom Leme".

A Sub-Bacia de Feira Nova é limitada a oeste pela Plataforma Araripina-Pajeú, enquanto a Sub-Bacia do Cariri é limitada a norte pela Plataforma Missão Velha-Milagres e a sul pela Plataforma de Jardim. Esta sub-bacia inclui as seqüências do Grupo Vale do Cariri e do Grupo Araripe, tendo sido o primeiro afetado pelos tectonismos do Siluro-Devoniano e do Jurássico-Cretáceo inferior (estágios Pré-Rifte e Rifte, respectivamente), enquanto o segundo, correspondente ao estágio Pós-Rifte se depositou sub-horizontalmente, com ligeiro mergulho para norte, com raros indícios de falhamentos.

Os poços profundos 2-AP-1-CE (em Araripe-CE) e 4-BO-1-PE (em Bodocó-PE), atravessaram as duas seqüências, tendo no segundo deixado de aparecer as formações Missão Velha e Abaiara. Ao que tudo indica, a Formação Mauriti não se acha presente nessa sub-bacia, pois não foi atravessada em nenhum dos dois poços.

Suas dimensões aproximadas, avaliadas a partir do estudo geofísico de Ponte (1993), são de 70 km de extensão segundo a direção NE-SW, largura média de 28 km e profundidade média de 670 m.

Nessa sub-bacia ocorre uma depressão central, situada a cerca de 15 km de Araripe na direção SE, onde o graben alcança profundidade da ordem de 1.500m. Foi nessa depressão central que se perfurou o poço estratigráfico 2-AP-1-CE. Sua extensão é da ordem de 25 km, por 15 km de largura, ou seja, uma área da ordem de 375 km², eqüivalendo a cerca de 20 % da área da sub-bacia.

Além da depressão central, o graben apresenta um escalonamento que o divide ao longo de sua extensão de aproximadamente 70 km na direção NE-SW, em dois blocos, sendo um mais raso com cerca de 13 km de largura e espessuras variáveis entre 100 m na borda nordeste próximo a Santana, 500 m na borda sudoeste em Ipubi, e 900 m na sua porção mais central; o bloco mais profundo, a oeste, possui mesma extensão segundo idêntica direção, com largura média de 15 km e espessura de sedimentos variando desde 100 m na borda NE até 1500 m na porção central.

A Sub-Bacia do Cariri é bem mais movimentada tectonicamente, sendo constituída estruturalmente por uma série de "horsts" e "grabens", dispostos entre as plataformas altas de Missão Velha-Milagres ao norte e de Jardim ao sul, com direções aproximadamente NE-SW

Os poços nela perfurados, restringem-se à zona de pediplano, com profundidades máximas de 250 m, captando apenas as formações Mauriti e do Sistema Vale do Cariri, do Sistema Araripe, exploram somente a Formação Rio da Batateira São mapeados os seguintes compartimentos estruturais, a partir do Alto Dom Leme, que separa as duas sub-bacias

- Graben do Crato-Juazeiro, com cerca de 390 km² de área
- Horst de Barbalha, com cerca de 160 km² de área
- Graben de Missão Nova, com cerca de 500 km² de área
- Horst de Abaiara-Milagres, com cerca de 375 km² de área
- Graben de Jenipapeiro, com cerca de 625 km² de área
- Horst de Brejo Santo-Mauriti, com cerca de 365 km² de área
- Graben do Serrote das Cacimbas-Palestina, com cerca de 415 km² de área

O total da área, apesar de incluir parte sob a chapada, é da ordem de 2 830 km², um pouco inferior à do total da área do Cariri (2 906 km²), pois não inclui a plataforma rasa de Missão Velha-Milagres, representada na maior parte pela Formação Mauriti

As espessuras dos depósitos são muito variadas em função da localização estrutural ora sobre horst, ora sobre graben e ainda em função da posição espacial sobre a chapada ou sobre o pediplano

Na área de pediplano, onde, praticamente, so ocorrem os depósitos pré-Santana (os de Santana e Abaiara/Exu se restringem às ocorrências residuais em forma de morros - serras da Maázinha e do) as espessuras atingem 1 500 m no graben Crato-Juazeiro, 1 100 m no graben Missão Nova, 1 200 m no graben Jenipapeiro, 900 m no graben Serrote das Cacimbas, enquanto nos horsts, alcançam 750 m no horst de Barbalha, 600 m no horst de Abaiara e 200m no horst Brejo Santo-Mauriti (avaliações a partir das seções de sísmica)

Na chapada, o pacote de sedimentos do Grupo Araripe (formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu) alcançam uma espessura mais ou menos constante, em torno dos 600 m, ficando as variações maiores para a sequência do Grupo Vale do Cariri (formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara), além da Formação Mauriti. mais antiga da bacia Esses depósitos mais inferiores da sequência estratigráfica decrescem de espessura de norte para sul por sob a chapada, podendo variar desde os 1 000 m nas proximidades da borda setentrional da chapada, até pouco mais de 100 m nas proximidades da falha de Jardim, que delimita a sub-bacia da plataforma rasa ao sul

IV.2 - O SISTEMA AQUÍFERO SUPERIOR

IV 2.1 - Ocorrência, Geometria e Dimensionamento

O Sistema Aquífero Superior é o que apresenta a maior área de exposição superficial, desde que se estende por toda a chapada, perfazendo uma área de 7 500 km² de bacia, sendo praticamente ausente na região de pediplano do Cariri onde apenas aparece em morros residuais de erosão, e nas áreas de Ipubi e Santana do Cariri onde predominam os sedimentos da Formação Santana

O pacote sedimentar representado pelas formações Exu e Arajara, que capeiam a Bacia do Araripe, possui uma forma tabular, com espessuras pouco variadas em torno dos 240 m e suave mergulho ($\cong 5^\circ$) sul para norte

As diferenças existentes na espessura de um local para outro, devem-se em primeiro lugar, a processos erosivos no topo da superfície e em segundo, a ocasionais basculamentos tectônicos sofridos por blocos, provocados por reativações dos falhamentos pronunciados que ocorreram no Neocomiano

Apesar da considerável espessura do pacote sedimentar, que proporciona um volume de sedimentos da ordem de $1,8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ em toda a chapada, o volume que atua como reservatório é relativamente reduzido, desde que somente 30 a 50 m de espessura de sedimentos se acha saturado de água, ou seja, apenas cerca de 15 % do pacote sedimentar é aproveitado

A razão desse baixo aproveitamento não é ligada às propriedades físicas, ou capacidade de armazenamento d'água dessas formações, mas à dificuldade na retenção da água, face aos exutórios naturais (fontes) que ocorrem ao longo de toda a chapada, sobretudo no lado norte e nordeste (região do Cariri) para onde mergulha a estrutura homoclinal do Grupo Araripe

A saída da água, na maior parte no contato entre a Formação Exu, arenosa, com a Formação Arajara, argilosa, e em menor quantidade, dentro da própria Formação Arajara ou em sua base, no contato com a Formação Santana, impede que uma maior espessura do conjunto Arajara/Exu permaneça saturada. daí os níveis d'água nos poços perfurados no topo da chapada serem tão profundos (da ordem de 150 a 180 m)

IV.2.2 - Alimentação

A alimentação ou recarga do Sistema Aquífero Superior, é procedida unicamente por infiltração direta das águas da chuva, de vez que no topo da chapada de relevo semi-plano, a drenagem é incipiente, predominando um escoamento difuso e desordenado, tornando-se orientado nas proximidades da borda da chapada, poucos são os riachos que possuem cursos mais extensos, como é o caso do Riacho de Jardim, na área leste

A quantificação de recarga é difícil de ser realizada ao nível do presente trabalho, devido a inexistência de infiltrômetros na bacia, ao desconhecimento da flutuação de níveis d'água nos poços existentes na chapada e à impossibilidade de realização de cálculos a partir de curvas piezométricas devido a reduzida quantidade de poços existentes

Em trabalho recente executado pela ATEPE (1993) numa área de $1\,000 \text{ km}^2$ localizada na borda ocidental da chapada, foi realizado um balanço hídrico que revelou ser a infiltração para recarga do aquífero bastante irregular, somente ocorrendo nos meses com precipitação acima de 200 mm Num período de 50 anos o balanço revelou 36 anos sem recarga, refletindo uma probabilidade de recarga de apenas 29 % A probabilidade de ocorrência de uma recarga superior a 50 mm/ano é de 21 % enquanto que as chances para uma recarga superior a 100 mm/ano são de apenas 7 %

Transpondo esses valores para o total da área, com $7\,500 \text{ km}^2$, desde que não ocorrem sensíveis modificações climáticas ao longo da área da chapada, o potencial de recursos hídricos renováveis seria da ordem de 375 milhões de m^3/ano , com período de retorno de apenas 127 anos Na verdade, esse valor parece ainda muito otimista, pois, como se pode deduzir, praticamente toda a recarga é restituída em forma de exutórios naturais, tendo em conta que a descarga artificial através de poços é praticamente nula Como será visto adiante, a descarga natural do sistema aquífero é muito inferior ao valor acima calculado com base no estudo da ATEPE O valor mais coerente para essa recarga seria algo em torno de 100 milhões de m^3/ano

IV.2.3 - Condições de Escoamento e Descarga

A água infiltrada no topo da chapada desce por gravidade até atingir o nível de saturação, passando daí a circular sub-horizontalmente no sentido dos exutórios naturais, conforme ilustra a Figura IV 2 1 a seguir

Devido a ausência de mapas piezométricos do sistema aquífero, em função do reduzido numero de poços captando o manancial, não é possível a avaliação do seu gradiente hidráulico e da sua vazão de escoamento natural

O escoamento ou circulação verifica-se a partir de gradientes provavelmente muito baixos, face a semi-horizontalidade do relevo e das estruturas geológicas, de todo modo, a estrutura geológica comanda o sentido de fluxo subterrâneo da água, pois, sendo a estrutura um homoclinal, com suave mergulho para norte ou nordeste, o exutório do sistema aquífero é praticamente todo para a região do Cariri, no estado do Ceará

Eventuais exutórios ocorrem no lado sul e oeste da bacia, respectivamente nos estados de Pernambuco e Piauí, devido a possíveis basculamentos de blocos ou pela simples elevação da superfície saturada do sistema aquífero, acima de um determinado nível de drenagem da borda setentrional. Esse fato é evidenciado pela intermitência que caracteriza essas fontes da borda meridional da bacia que chegam a secar em determinados períodos do ano, sobretudo em períodos de seca prolongada.

Conforme mostrado no Quadro I 2.3 o Estado do Ceará, sobretudo na região do Cariri, possui o maior número de fontes - 294, que corresponde a 85% do total cadastrado. As vazões das fontes do Cariri, são sempre bem maiores do que as de Pernambuco e Piauí, sendo que 13 delas ultrapassam de 100 m³/h, no Quadro IV.2.1; observa-se ainda que a área entre Crato e Barbalha oferece as melhores vazões, abrangendo nove das treze fontes com vazão superior a 100 m³/h.

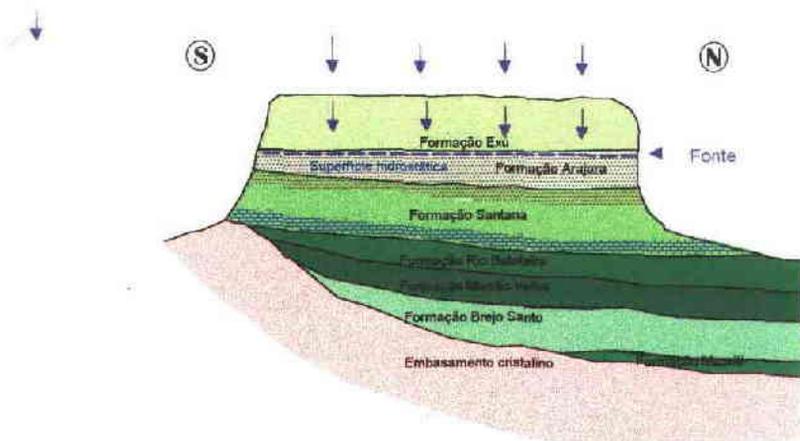


Figura IV.2.1 - Desenho esquemático da infiltração da água precipitada na Chapada do Araripe (esquema sem escala).

Classificaçã	Denominação	Município	Vazão (m ³ /h)
1 ^o	Batateiras	Crato	376,00
2 ^o	Pendências	Missão Velha	352,00
3 ^o	Faixas	Barbalha	348,00
4 ^o	Cocos	Barbalha	182,37
5 ^o	Sítio Roncador	Porteiras	182,37
6 ^o	Saco	Santana do	181,46
7 ^o	Caldas	Barbalha	180,00
8 ^o	Bica do	Crato	154,00
9 ^o	Coqueiro	Crato	140,00
10 ^o	Boca da Mata	Jardim	132,98
11 ^o	Camelo	Barbalha	120,00
12 ^o	Água Grande	Crato	113,00
13 ^o	Santa Rita	Barbalha	102,00

Quadro IV.2.1 - As principais fontes da Região do Cariri - CE

No Quadro IV.2.2, e na Figura IV.2.2, pode-se notar a grande disparidade de vazão entre os exutórios que drenam para norte e nordeste (estado do Ceará) e para sul (Pernambuco) ou oeste (Piauí); nas primeiras, 5% apresentam vazões superiores a 100 m³/h, 20% se enquadram entre 10 e 100 m³/h e 75 % abaixo de 10 m³/h; em Pernambuco, apenas uma fonte (2,3 %) possui vazão entre

10 e 100 m³/h, 44,2% entre 1 e 10 m³/h e 53,5% abaixo de 1 m³/h, finalmente no Piauí, todas as fontes em número de apenas oito, possuem vazão inferior a 1 m³/h

A vazão total medida em 265 exutórios no Ceará, foi de 4 690,86 m³/h, ou seja, 41,08x10⁶ m³/ano, admitindo-se para as 31 fontes em que não foi possível se obter a vazão, valores médios das respectivas localidades, ter-se-ia mais 340 m³/h, ou 2,98x10⁶ m³/ano, totalizando no estado do Ceará uma descarga de 44x10⁶ m³/ano. Em Pernambuco, as 43 fontes produzem apenas 85,75 m³/h, totalizando 0,75x10⁶ m³/ano, enquanto no Piauí as 8 fontes fornecem 0,79 m³/h, ou 6,9x10³ m³/ano. Assim, o total de água ressurgindo do Sistema Aquífero Superior em toda a Bacia do Araripe totaliza 44,8x10⁶ m³/ano.

Quanto aos poços cadastrados na região, apenas um se acha captando uma camada arenosa de 9,0m de espessura na base da Formação Abaiara. É o poço de Serrolândia I, no município de Ipubi, com 178,0 m de profundidade tendo alcançado o horizonte produtor na profundidade de 135,0m. Esse poço possui o nível estático a uma profundidade de 93,4 m e uma vazão de apenas 1,2 m³/h para um rebaixamento de 4,0 m.

Os demais poços da região ou se localizam na encosta ou na base da chapada, captando lentes arenosas dentro do aquífero Santana ou ainda, quando se localizam no topo da chapada, atravessaram a Formação Santana para captarem as lentes arenosas eventualmente existentes na formação ou a ela sotopostas (esse aspecto será abordado mais adiante).

IV 2 4 - Reservas e Recursos Hídricos

◊ Reservas

As reservas de água acumuladas na sub-superfície compreendem duas parcelas: reservas permanentes e reservas 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.

As águas acumuladas nesse sistema aquífero podem estar sob a condição de livres como nos arenitos da Formação Exu, ou confinadas em camadas arenosas intercaladas entre camadas siltico-argilosas, da Formação Arajara. A avaliação das reservas deve sempre levar em consideração esse condicionamento hidrogeológico.

O cálculo das reservas permanentes - R_p - é efetuado através das seguintes equações matemáticas:

$$R_{p1} = A E_s S \quad (1) \quad (\text{situação de aquífero confinado})$$

$$R_{p2} = A E_s m_e \quad (2) \quad (\text{situação de aquífero livre})$$

sendo

R_p - reserva permanente, em m³

A - área de abrangência do aquífero, em m²

S - coeficiente de armazenamento do aquífero sob pressão

m_e - porosidade efetiva do aquífero livre

Vazão m ³ /h	Crato		Barbalha		Missão Velha		Brejo Santo		Porteiras		Jardim		Nova Olinda	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n	%	n°	%
<1	18	22,87	3	9,09	10	19,23	6	54,55	14	51,85	15	51,72	6	60,00
1 a 10	41	51,89	13	39,66	27	51,92	5	45,46	8	29,62	8	27,58	2	20,00
10 a 100	16	20,25	12	36,36	14	26,92	0		4	14,81	5	17,24	2	20,00
>100	4	5,06	5	15,15	1	1,92	0		1	3,70	1	3,44	0	
Totais	79		33				11		27		29		10	

Vazão m ³ /h	Sant. Cariri		Ceará	
	n°	%	N°	%
<1	9	40,90	81	30,80
1 a 10	10	45,45	114	43,35
10 a 100	2	9,09	55	20,91
>100	1	4,55	13	4,94
Totais	22		263	

Vazão h ³ /m	Simões		Marcolândia		Caid. Grande		Piauí	
	n°	%	N°	%	n°	%	n°	%
<1	3	100,00	2	100,00	3	100,00	8	100,00
1 A 10	0		0		0		0	
10 A 100	0		0		0		0	
>100	0		0		0		0	
Totais	3		2		3		8	

Vazão m ³ /h	Exu		Bodocó		Moreilândia		Serrita		Araripina		Ipubi		Pernambuco	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
<1	9	47,36	9	81,82	1	12,50	1	50,00	2	100,00	1		23	53,48
1 a 10	9	47,36	2	18,18	7	87,50	1	50,00	0		0		19	44,18
10 a 100	1	5,26	0		0		0		0		0		1	2,32
>100	0		0		0		0		0		0		0	
Totais	19		11		8		2		2		1		43	

Quadro IV.2.2 - Faixa de variação da vazão dos exutórios naturais (fontes) na Bacia do Araripe

000049

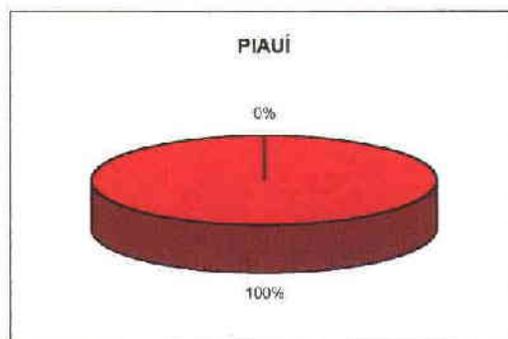
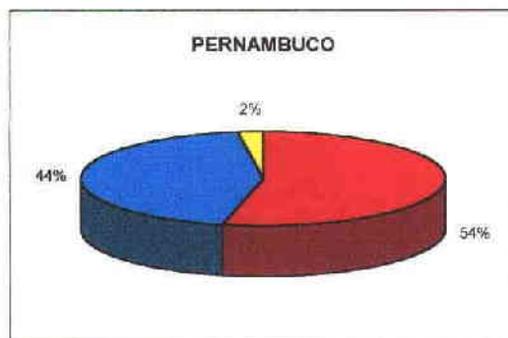
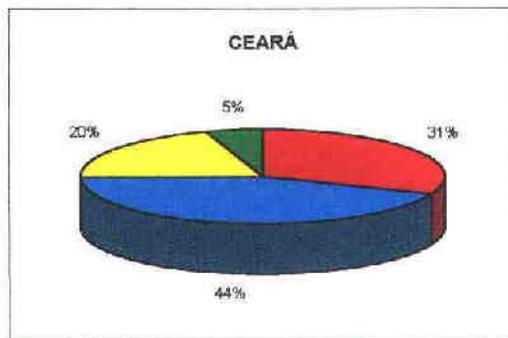


Figura IV.2.2 - Faixas de variação de vazão das fontes nos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí.

Para a avaliação da área de abrangência do aquífero, sempre que a formação geológica apresenta descontinuidades laterais provocadas por falhamentos, mudança de fácies, terminação lenticular ou em cunha, ou outro motivo detectado por sondagem ou método geofísico, utiliza-se um redutor ou coeficiente de correção para melhor adequar à realidade os valores calculados.

Na área em questão, por não se possuir um maior volume de dados, sobretudo de poços profundos, convencionou-se adotar, a favor da segurança, o coeficiente de 0,7, ou seja, admitir-se que em cerca de 30% da área haja descontinuidades que comprometam a acumulação das reservas calculadas. Também admitiu-se uma espessura saturada livre de no máximo 20m e de 10m na condição de confinamento ou semi-confinamento.

A partir desses pressupostos, os dados obtidos para a região de estudo e utilizados nos cálculos de reservas permanentes, foram os seguintes:

Area
 $A = 8,1 \times 10^9 \text{ m}^2 \times 0,7 = 5,67 \times 10^9 \text{ m}^2$ (ou 5 670 km²)

Espessura saturada
 a) sob pressão $E_{s(cf)} = 10 \text{ m}$
 b) livre $E_{s(lv)} = 20 \text{ m}$

Coeficiente de armazenamento (aquífero confinado)
 $S = 1 \times 10^{-4}$

Porosidade efetiva (aquífero livre)
 $m_e = 8\%$

I cálculo das reservas permanentes do aquífero confinado

(1) $R_p = 5,67 \times 10^9 \times 10 \times 10^{-4} = 5,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ (água sob pressão)

(2) $R_p = 5,67 \times 10^9 \times 20 \times 8 \times 10^{-2} = 9,07 \times 10^9 \text{ m}^3$ (água contida nos poros)

Total $R_{p(cf)} = 9,07 \times 10^9 \text{ m}^3$

II cálculo das reservas permanentes do aquífero livre

$R_{p(lv)} = 5,67 \times 10^9 \times 20 \times 8 \times 10^{-2} = 9,07 \times 10^9 \text{ m}^3$

Reserva permanente total do sistema aquífero Superior

$R_p = R_{p(cf)} + R_{p(lv)}$
 $R_p = 9,07 \times 10^9 + 9,07 \times 10^9$

$R_p = 18,14 \times 10^9 \text{ m}^3$

Quanto às reservas reguladoras - R_r -, já foi efetuada a avaliação no capítulo de recargas, tendo-se admitido um valor da ordem de

$R_r = 100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

Conclui-se que as reservas reguladoras correspondem a apenas 1 % do total das reservas permanentes existentes no sistema aquífero mais superior da Bacia do Araripe.

♦ Recursos Explotáveis

Os recursos hídricos explotáveis são aqueles que estão disponíveis sem que haja comprometimento do aquífero nem do meio ambiente. A princípio, para que não houvesse comprometimento apenas do aquífero, poderia ser explotado todo o volume correspondente à recarga, ou seja, o total da reserva reguladora do aquífero sem provocar qualquer depleção nas reservas permanentes.

Esses recursos também são designados de *disponibilidade* que pode ser classificada nos seguintes tipos:

- a) *disponibilidade potencial do aquífero*
- b) *disponibilidade virtual do aquífero*
- c) *disponibilidade instalada de poços*

d) disponibilidade efetiva de poços

A disponibilidade potencial do aquífero sem depleção das reservas permanentes, corresponde as próprias reservas reguladoras, já estimadas para esse sistema aquífero, da ordem de $100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

A disponibilidade virtual do sistema aquífero leva em conta não apenas a preservação das reservas permanentes, mas ainda a contribuição que o sistema vem dando a outros recursos da natureza, como no caso em questão, as ressurgências em forma de fontes, que ocorrem ao longo da borda da chapada, principalmente, na região norte e nordeste. Assim, do total da disponibilidade potencial deve ser subtraído o montante representado pelas ressurgências naturais, no valor de $44,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ a fim de não comprometer os volumes escoados no pediplano e que vêm sendo utilizados diretamente no abastecimento d'água de cidades e da população difusa rural, bem como ainda na irrigação daquele vale. Desse modo, o valor da disponibilidade virtual deve ser da ordem de $55,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

Quanto as disponibilidades de poços (instalada e efetiva), não tem qualquer sentido a sua avaliação tendo em vista a praticamente inexistência de exploração de água desse sistema aquífero

IV 2 5 - Qualidade da Água

Dos seis poços cadastrados na chapada, apenas um supõe-se estar captando água do sistema aquífero Superior, mais especificamente, uma pequena camada arenosa de 9 m de espessura, na base dos sedimentos argilosos da Formação Arajara, em contato com a Formação Santana

Nesse único poço captando água do sistema Superior, a água é de excelente qualidade química, com sólidos totais de 160 mg/l. Por outro lado, em 16 análises físico-químicas realizadas em fontes localizadas em Barbalha(3), Crato(4), Exu(2), Santana do Cariri (2), Moreilândia(PE), Nova Olinda, Jardim, Porteiras e Brejo Santo (uma cada), acusou um residuo seco médio de apenas 40,0 mg/l, com máximo de 46,60 mg/l (ver Quadro IV 2 3)

Nome da fonte	pH	Aic. Bic.	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na + K	Fe	Sol. Dis.	Res. Seco
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Sítio Leal	6,20	6,60	7,08	ND*	0,36	0,36	3,20	0,20	21,60	32,30
Roncador	6,30	3,11	10,62	ND	0,36	0,18	4,10	0,30	24,80	36,10
Olho D'água	6,00	1,88	10,62	ND	0,18	0,09	5,00	0,10	23,80	38,90
Santa Cruz	6,80	1,88	10,62	ND	0,06	0,15	3,80	0,40	27,20	36,90
Carinzinho	7,20	6,60	7,08	ND	0,09	0,13	3,60	0,20	22,40	39,60
Mundo Novo	6,50	3,77	17,71	ND	0,18	0,83	8,00	0,20	26,40	37,80
Boca Da Mata	6,00	2,83	14,17	ND	0,09	0,32	2,60	0,05	27,92	39,90
Sítio Saco	5,40	2,83	7,08	ND	0,03	0,07	1,50	0,40	21,10	42,10
São Felipe	5,10	0,94	21,25	ND	0,03	0,08	6,90	0,20	27,20	46,60
Riachão	5,60	2,28	7,08	ND	0,04	0,25	2,50	0,20	29,50	32,90
Valentim	5,50	0,47	7,08	ND	0,03	0,08	1,70	0,01	26,80	43,70
Pendência	7,20	0,94	7,08	ND	0,03	0,35	1,80	0,01	23,40	43,80
Cocos	6,30	0,94	7,08	ND	0,04	0,07	1,40	0,01	26,90	46,40
Bom Jesus	7,20	2,83	7,08	ND	0,06	0,33	3,30	0,01	27,40	38,20
Sozinho	6,30	1,88	7,08	ND	0,06	0,16	1,20	0,10	26,40	41,60
Batateiras	6,50	1,88	7,08	ND	0,07	0,18	3,00	0,10	25,45	42,40

*ND - Não detectado

Quadro IV.2.3 - Resultados das análises físico-químicas executadas em fontes da Bacia do Araripe

IV.3 - O SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO

IV.3.1 - Ocorrência, Geometria e Dimensionamento

As duas sub-bacias de Feira Nova e Cariri, perfazem um total de 4 790 km², equivalente a 43.5% da Bacia do Araripe e nelas se acham localizadas as formações aquíferas consideradas conjuntamente como o "Sistema Aquífero Médio"

Por desconhecimento quase completo das condições hidrodinâmicas desse sistema aquífero na sub-bacia de Feira Nova, os estudos serão mais centrados na sub-bacia do Carri, embora nesta, também haja carência de dados, pois, abaixo da profundidade de 200m, são desconhecidas as suas características

No cap IV 1 2 foram apresentadas as feições estruturais que condicionam a formação dessas duas sub-bacias, mostrando o arcabouço em que as mesmas se acham instaladas

Na sub-bacia de Feira Nova, o volume de sedimentos pre-Santana é da ordem de $770 \times 10^9 \text{ m}^3$, com espessura média da ordem de 400m, sendo assim distribuídos pelas formações geológicas

	Volume	Espessura média
Formação Brejo Santo	$370 \times 10^9 \text{ m}^3$	190,0 m
Formações Missão Velha + Abaiara	$270 \times 10^9 \text{ m}^3$	140,0 m
Formação Rio da Batateira	$130 \times 10^9 \text{ m}^3$	70,0 m

Os poços produtores perfurados na região oeste da Bacia do Araripe são de pouca profundidade, captando apenas o Sistema Aquífero Superior, Devido a essa reduzida profundidade, não houve a preocupação de escolher a zona mais profunda, correspondendo à Sub-Bacia Feira Nova Apenas os dois poços de Serrolândia, que serão analisados adiante, foram perfurados dentro dessa sub-bacia Os demais poços estão localizados sobre a Plataforma Araripe-Pajeú

Na porção mais central do graben, as espessuras dessas formações são bem superiores, atingindo aproximadamente 400 m a Formação Brejo Santo, 200 m a Formação Missão Velha, 100 m a Formação Abaiara e 250 m a Formação Rio da Batateira

Na sub-bacia do Carri, 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 partir dos vários perfis sísmicos apresentados em Ponte (1993), foi possível efetuar uma avaliação aproximada dos depósitos sedimentares acumulados em cada situação estrutural retro-mencionada, resultando nos elementos constantes do Quadro IV 3 1

Por formação, ou conjunto de formações indiferenciadas, o total de sedimentos com volume da ordem de $1,9 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$, e espessura total média, da ordem de 675 m, fica assim distribuído

	Volume	Espessura média
Formação Rio da Batateira	$290 \times 10^9 \text{ m}^3$	102,0 m
Formação Mauriti	$185 \times 10^9 \text{ m}^3$	65,0 m
Formação Brejo Santo	$890 \times 10^9 \text{ m}^3$	315,0 m
Formações Missão Velha + Abaiara	$545 \times 10^9 \text{ m}^3$	193,0 m

O dimensionamento de interesse no presente capítulo é o que se refere ao Sistema Aquífero Médio, que apresenta um volume de sedimentos da ordem de $835 \times 10^9 \text{ m}^3$ numa área total de $2 \cdot 830 \text{ km}^2$, com uma espessura média da ordem de 295,0 m

Constata-se que na sub-bacia do Carri, a variação de altos e baixos estruturais exerce uma grande influência na quantificação das reservas de água subterrânea, pois, nas áreas correspondentes aos horsts, os volumes de sedimentos são bem inferiores àquelas das áreas de grabens, excetuam-se desse comportamento, o Horst de Abaiara-Milagres, por ser um conjunto de blocos escalonados, contendo inclusive um pequeno graben no seu interior, que é o Graben de Abaiara, de extensão limitada, como pode ser visto no mapa geológico

IV 3.2 - Alimentação

O sistema aquífero em questão situado na Sub-bacia de Feira Nova, praticamente não possui recarga devido a estar situado numa fossa tectônica recoberta por um pacote de sedimentos praticamente impermeáveis da Formação Santana, de forma que todo o estudo de recarga será restrito à Sub-bacia do Carri

A alimentação ou recarga desse sistema aquífero é procedida de duas maneiras, com um forte predomínio da primeira sobre as demais, como será visto nos volumes correspondentes a cada tipo de recarga Os tipos de recarga são

- a) infiltração direta pelas águas das chuvas
- b) contribuição das fontes

O estudo de isótopos executado na bacia admite a possibilidade já aventada pela equipe que realizou os primeiros estudos hidrogeológicos da Bacia do Araripe, que foi o Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe - SUDENE (1967), de alimentação desse sistema aquífero por filtração vertical através do pacote sedimentar da Formação Santana

Compartimentos	Área	Fm. Mauriti		Fm. Brejo Santo		Fm. Velha+Fm. Abaiara		Fm. Rio da Batateira		Volume
		Espessura	Volume	Espessura	Volume	Espessura	Volume	Espessura	Volume	Total
	km ²	média (m)	x 10 ⁹ m ³	média (m)	x 10 ⁹ m ³	média (m)	x 10 ⁹ m ³	média (m)	x 10 ⁹ m ³	(x 10 ⁹ m ³)
Graben do Crato-Juazeiro	390,00	79,50	31	397,40	155	248,70	97	197,40	77	360,00
Horst de Barbalha	162,00	24,70	4	222,20	36	98,70	16	98,70	16	72,00
Graben de Missão Nova	500,00	40,00	20	250,00	125	174,00	87	196,00	98	330,00
Horst de Abaiara-Milagres	375,00	53,30	20	320,00	120	218,60	82	192,00	72	294,00
Graben do Jenipapeiro	625,00	64,00	40	299,20	187	198,40	124	40,00	25	376,00
Horst de Brejo Santo-Mauriti	363,00	79,90	29	396,70	144	99,20	36	-	-	209,00
Gr do Serrote Cacimbas/Palestina	415,00	101,20	42	298,80	1245	248,20	103	-	-	269,00
Total de área e volume	2830,00	186		891		545		288		1910,00
Média das espessuras		65,80		314,80		192,60		101,80		675,00

Quadro IV.3.1 - Parâmetros dimensionais dos sedimentos na Sub-Bacia do Carr

000055

Essa possibilidade parece ser muito remota, em primeiro lugar tendo em vista a quase impermeabilidade dos depósitos representados por folhelhos, argilitos, calcários e gipsita, com espessura da ordem de 200 m e, em segundo, devido as pressões confinantes que geram cargas potenciométricas mais elevadas no aquífero sotoposto na chapada, impedindo qualquer fluxo vertical descendente. Mesmo que houvessem fraturas no maciço semi-impermeável da Formação Santana, as pressões geradas pelo confinamento ao pacote sedimentar sotoposto fariam com que o fluxo vertical fosse ascendente e não descendente.

Uma outra possível fonte de recarga seria a drenança vertical ascendente de camadas aquíferas sotopostas ao aquíclode Brejo Santo, porém não há qualquer indício ou evidência que justifique essa hipótese.

A existência de um grande número de poços na área do Cariri - mais de 1 000 - permitiu a realização de mapas de iso-transmissividades e piezométricos, o que facilitou a avaliação das recargas, através do cálculo da vazão de escoamento natural do sistema aquífero.

A vazão de escoamento natural corresponde a própria recarga, pois o volume escoado subterraneamente até os exutórios representa os volumes infiltrados anualmente. O cálculo dessa vazão - VEN - é executado através da equação

$$VEN = T \cdot i \cdot L \quad (3)$$

onde

VEN = vazão de escoamento natural (em m³/s)

i = gradiente de escoamento (adimensional)

L = largura da frente de escoamento medida, (em m)

Considerando a variação de transmissividades e de gradientes hidráulicos ao longo de toda a área onde afloram as formações do sistema aquífero em questão, foi efetuado o estudo das vazões de escoamento natural em compartimentos agrupados em regiões assim constituídas

- a) Região Crato - Missão Velha
- b) Região Abaiara - Mauriti
- c) Região Jardim - Porteiras

Conforme pode ser visto no mapa piezométrico, os fluxos se dirigem de sul para norte ou nordeste até o Rio Salgado com seus principais afluentes o Rio Batateiras a oeste e o Riacho dos Porcos a leste, e de norte para sul ou de nordeste para sudoeste, na região ao norte do Rio Salgado, as contribuições que vão de sul para norte correspondem a drenagem subterrânea do Sistema Aquífero Médio, enquanto as contribuições de norte para sul, representam a drenagem do Aquífero Inferior, devendo ser tratada no capítulo específico.

Os resultados dos cálculos de vazão de escoamento natural efetuados nos diversos segmentos acima descritos, acham-se contidos no Quadro IV 3 2

Verifica-se que na área total de 2 100 km², correspondendo à zona de pediplano onde afloram as formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha, o valor total da vazão de escoamento natural, ou VEN, foi de 3,48 m³/s o que representa uma recarga anual da ordem de 109.74x10⁶ m³, ou ainda, 1,66 l/s/km², significando uma lâmina de 52,26 mm/ano, ou seja, 5,3% da precipitação média naquela área, que é de 970 mm/ano.

Finalmente há de se considerar a contribuição oriunda das fontes ou exutórios naturais do Sistema Aquífero Superior, que escoam superficialmente sobre os sedimentos do pediplano, propiciando uma infiltração de parte desse escoamento superficial, que pode ser avaliado, aproximadamente como equivalente a infiltração acima calculada de 5,3 %

Parâmetros	Região Crato-Missão Velha	Região Abaiara-Mauriti	Região Jardim-Porteiras	Total do Sistema Aquífero
ÁREA (km ²)	880	910	310	2100
VEN (m ³ /s)	2,88	0,102	0,50	3,48
VEN/ÁREA (l/s/km ²)	3,27	0,11	1,61	1,66
VEN/ANO (m ³ /ano)	90,8x10 ⁶	3,2x10 ⁶	15,7x10 ⁶	109,74x10 ⁶
INFILTRAÇÃO * (mm/a)	103,20	3,52	50,86	52,26
PRECIPITAÇÃO (mm/a)	1 030	900	840	970
I/P (%P)	10,0	0,4	5,9	5,3

* I = (Ven/Ano) / Área

Quadro IV.3.2 - Avaliação da Vazão de Escoamento Natural (VEN) do Sistema Aquífero Médio

Considerando que o total de descarga das fontes no Ceará foi de 43,78x10⁶ m³/ano, o total da contribuição ao sistema aquífero será pois de 2,32x10⁶ m³/ano

Em resumo, os valores de recarga pelos distintos segmentos e o seguinte

- a) através de infiltração direta das chuvas 109,74x10⁶ m³/ano (98%)
- b) contribuição das fontes 2,32x10⁶ m³/ano (2%)
- c) recarga total 112x10⁶ m³/ano

IV.3.3 - Condições de Escoamento e Descarga

A elaboração do mapa de curvas iso-piezométricas permitiu identificar com boa segurança as condições de fluxo subterrâneo

Nos mapas iso-piezométricos nas folhas de Crato, Milagres, Jardim e São José do Belmonte, pode-se constatar que

- a) o fluxo das águas subterrâneas como mencionado acima, se procede de sul para norte (folhas Crato, Milagres e São José do Belmonte) e de oeste para leste (na folha Jardim), até alcançar a depressão do vale do Rio Salgado, representado na folha Crato pelo seu afluente Rio da Batateiras e nas folhas Milagres, São José do Belmonte e Jardim pelo Riacho dos Porcos e seus afluentes,
- b) a área onde ocorre esse sentido de fluxo, nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte(em parte), Barbalha, Missão Velha (em parte), Abaiara, Brejo Santo, Porteiras e Jardim é representada pelo Sistema Aquífero Médio,
- c) na área setentrional, correspondente a uma parte dos municípios de Juazeiro do Norte, Missão Velha, Milagres, Barro (em parte) e Mauriti, ou seja, no lado oposto da drenagem dos mencionados cursos hidrográficos, e representada principalmente pelo Sistema Aquífero Inferior, o sentido de fluxo se inverte, vindo de norte para sul, ou de leste para oeste, conforme a disposição da rede hidrográfica,
- d) um outro importante elemento que pode ser observado no mapa e calculado matematicamente, é o gradiente hidráulico desse fluxo constata-se, como não podena deixar de ser em virtude da influência exercida pelo relevo, que as curvas iso-piezométricas são bem mais próximas uma da outra, principalmente as curvas de valores 500m e 450m, quando próximas a borda da chapada do Araripe, passando a se distanciarem quando dela se afastam, indicando gradientes de fluxo maiores nas proximidades do talude e mais fracos ao longo da pediplanicie, na borda setentrional da bacia, onde o relevo passa a ser mais movimentado, os fluxos de norte para sul são também verificados com gradientes mais elevados do que na pediplanicie

O gradiente hidráulico é representado matematicamente por

$$I = \Delta s/l \quad (4)$$

onde

i = gradiente hidráulico (adimensional)

s = diferença de cota piezométrica entre duas curvas iso-piezométricas consecutivas (em metros)

l = distância na horizontal entre essas duas curvas (em metros)

Considerando que na área estudada a variação de gradiente entre as duas curvas próximas da borda da chapada, de valores 500 m e 450 m e as curvas mais afastadas, de valores 400 m e 350 m era sensivelmente diferente. foram efetuadas compartimentações na pediplanicie, para o cálculo da VEN, que consideraram os valores dos gradientes entre as curvas extremas de 500 m e 450 m, como seção 1 e os gradientes entre as curvas 450 e 350 como seção 2, os valores medios das transmissividades do sistema aquífero foram constantes em cada compartimento (ver Mapa Piezométrico em anexo)

A região Crato-Missão Velha foi subdividida em sete compartimentos, denominados de A a G. onde se calculou para cada um o valor do gradiente médio e da transmissividade média, medindo-se a extensão da frente do compartimento. obtinha-se a terceira componente para o cálculo da VEN (ver Quadro IV 3 3) Nessa região, os gradientes hidráulicos variaram de oeste para leste desde 1,66% até 0,83%, com um valor médio de 1.22 % A variação desses gradientes segundo a direção de fluxo foi da ordem de 4% entre as curvas de 500m e 450 m e da ordem de 0,5 % entre as curvas de 450 m e 350 m As transmissividades do sistema aquífero nessa região variaram entre 0,5 e $8,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

A região Abaiara-Mauriti apresentou nos quatro compartimentos em que foi subdividida (de H a K), gradientes entre 1,15 % próximo a Abaiara (compartimento H) e 0,3%(em média) nos demais, com média geral da ordem de 0,5 %, a sensível diferença apresentada pelos gradientes nessa região com relação à região anteriormente descrita deve-se ao fato de que somente no primeiro compartimento se contou com curvas piezométricas de 500 m e 450, próximas à chapada Assim o gradiente medio nessa região pode ser considerado mais proximo de 0,3 % As transmissividades do sistema aquífero nessa região variaram entre 0,3 e $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, tendo em vista a ausência da Formação Rio da Batateira e a influência do aquícluído Brejo Santo Isso justifica o baixo valor acusado para a VEN nessa região, de apenas $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver Quadro IV 3 2)

Finalmente a região Jardim-Porteiras, com subdivisão em três compartimentos (L a N), acusou variação de gradientes entre 1.25% e 1,43 %, com média de 1,33 %, sendo, portanto, bastante homogêneo o comportamento dos gradientes nessa área As curvas piezométricas variaram aqui com relação às demais regiões, passando a funcionar os valores entre 600m e 450m nos compartimentos L e M (Porteiras) e de 700 m a 600m no compartimento N (Jardim) Os valores de transmissividade variaram entre a média de $0,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ na area de Porteiras a $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ em Jardim

Quanto às descargas do sistema aquífero, devem ser consideradas as naturais e as artificiais a descarga natural do sistema aquífero é representada pela própria vazão de escoamento natural, que drena o aquífero e teoricamente representaria toda a descarga para a drenagem superficial na forma de ressurgências, se não fosse dela retirada uma parte representada pela descarga artificial, que são as captações feitas através de poços tubulares perfurados na região

Todo o volume de água que escoo dos rios nos meses que se sucedem a paralisação das chuvas decorre de restituição de águas subterrâneas, que se infiltraram durante o período chuvoso A diferença de nível acusada dentro de um poço entre um período chuvoso e seco, representa justamente a espessura da faixa de variação da zona de saturação do sistema aquífero livre e o rebaixamento desse nível significa que a água subterrânea contida naquela faixa foi escoada, drenada para os rios da região O cálculo da vazão de escoamento natural do aquífero indica ao mesmo tempo a recarga do sistema hídrico subterrâneo e a saída restituída para o sistema hídrico superficial deduzida da parcela que foi bombeada através dos poços existentes na área

Dessa maneira, a descarga, ou saída da água subterrânea do sistema aquífero em estudo para a superfície seria no total da ordem de $112 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, devendo, todavia serem deduzidas as descargas artificiais representadas pelo bombeamento contínuo dos poços existentes na área

Compartimento	Seção	Coeficiente de transmissividade $\times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	Gradiente $\times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	Largura (L) da seção m	VEN	
					m^3/s	
					Seção	Compart.
A	A ₁	0,5	0,0625	5 000	0,1562	0,094
	A ₂	0,5	0,0125	5 200	0,0325	
B	B ₁	8,0	0,0254	7 000	1,4224	0,992
	B ₂	8,0	0,0117	6 000	0,5616	
C	C ₁	1,5	0,0333	5 500	0,2747	0,172
	C ₂	1,5	0,0133	3 500	0,0698	
D	D ₁	2,0	0,0227	5 500	0,2497	0,161
	D ₂	2,0	0,0066	5 500	0,0726	
E	E ₁	2,5	0,0625	7 500	1,1718	0,646
	E ₂	2,5	0,0074	6 500	0,1202	
F	F ₁	5,0	0,0178	8 700	0,7743	0,5646
	F ₂	5,0	0,0091	7 800	0,3549	
G	G ₁	1,0	0,0411	11 000	0,4521	0,256
	G ₂	1,0	0,0061	10 000	0,0610	
Total da Região Crato-Missão Velha					2,885	
H	H ₁	0,3	0,0230	9 400	0,0649	0,052
	H ₂	0,3	0,0095	13 500	0,0385	
I	I ₁	0,8	0,0029	9 000	0,0214	0,021
	I ₂	0,8	0,0029	9 000	0,0214	
J	J ₁	0,4	0,0022	15 500	0,0134	0,011
	J ₂	0,4	0,0022	9 000	0,0078	
K	K ₁	0,4	0,0036	16 000	0,0228	0,018
	K ₂	0,4	0,0036	10 000	0,0143	
Total da Região Abaiara-Mauriti					0,102	
L	L ₁	0,5	0,0133	5 500	0,0366	0,046
	L ₂	0,5	0,0133	8 500	0,0566	
M	M ₁	0,3	0,0125	6 000	0,0225	0,023
	M ₂	0,3	0,0125	6 500	0,0243	
N	N ₁	2,0	0,0143	15 000	0,4290	0,429
	N ₂	2,0	0,0143	15 000	0,4290	
Total da região Jardim- Porteiras					0,499	
Total geral para área					3,486	

Quadro IV.3.3 - Cálculo da "ven" nos compartimentos em que as regiões do sistema aquífero médio foram subdivididas e na área total

O cálculo da descarga artificial através de poços pode ser efetuado a partir de premissas estabelecidas quanto ao regime de bombeamento dos poços particulares, pois os poços públicos, explorados pela CAGECE ou pela prefeitura do Crato, bombeiam em média durante 20 horas por dia, pode-se admitir, como um valor médio, em função de uma pesquisa amostral realizada, um regime de bombeamento de 2 horas diárias para os poços particulares

Dos 807 poços cadastrados na região do Cariri no Ceará nesse sistema aquífero, 122(15%) não dispunham de dados de vazão, não tendo sido possível, por fatores diversos, avaliar esses valores, por outro lado, a vazão constante da ficha do poço nem sempre, ou quase nunca, corresponde àquela que vem sendo utilizada na bomba instalada, principalmente nos poços particulares, em que a demanda de água não é elevada e o proprietário, em geral, coloca uma bomba de baixo consumo energético e portanto de vazão bem inferior à capacidade do poço. Há de se considerar ainda, que uma boa parte desses poços passa períodos de tempo sem funcionarem, por motivos diversos como danos no equipamento de bombeamento, excesso de água superficial em épocas de chuva, dentre outros, tendo sido constatado que 35 % dos poços particulares perfurados se acham desativados, abandonados ou paralisados. restando assim, apenas 525 em uso

Os dados mais confiáveis referem-se aos dos poços públicos, que vêm sendo operados pela CAGECE, que forneceu os valores de suas respectivas vazões de bombeamento em operação e também os regimes de bombeamento

000059

Os 24 (vinte e quatro) poços operados pela CAGECE nos municípios de Juazeiro do Norte (18 poços), Barbalha (4 poços), Missão Velha (2 poços) dentro desse sistema aquífero, fornecem uma vazão média de $135,6 \text{ m}^3/\text{h}$ e um total anual da ordem de $23,75 \times 10^6 \text{ m}^3$. No município do Crato, os poços operados pela prefeitura local, em número de 7, produzem uma vazão média de $234,4 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma vazão anual da ordem de $11,97 \times 10^6 \text{ m}^3$. Assim, o total de água subterrânea que vem sendo explotada anualmente para abastecimento público de cidades, é da ordem de $35,72 \times 10^6 \text{ m}^3$, equivalente já a 31.9% da recarga anual do sistema aquífero

Admitindo-se que os 525 poços particulares estejam captando o sistema aquífero em questão na região do Cariri, com uma vazão média de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ e um regime de bombeamento de 2 horas por dia, o total anual explorado seria da ordem de $3,83 \times 10^6 \text{ m}^3$, representando apenas 3,4 % da recarga anual do sistema aquífero. Dessa maneira, pode-se avaliar, de modo aproximado, a descarga artificial do sistema aquífero na sub-bacia do Cariri, como sendo da ordem de $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, equivalendo a cerca de 35,7 % da recarga anual, os 64,3 % restantes estariam sendo drenados para o sistema hídrico superficial ou perdidos por evapo-transpiração

IV.3.4 - Características Hidrodinâmicas do Sistema Aquífero

O estudo hidrodinâmico foi efetuado a princípio com os ensaios de bombeamento existentes, complementados por três testes realizados em poços perfurados pela FNS no Crato, totalizando 38 (trinta e oito) ensaios nesse sistema aquífero

Alguns dos ensaios executados não se achavam interpretados, tendo sido os dados de campo colocados em gráficos mono-log de tempo x rebaixamento e através das equações adequadas, de Jacob e Hantush, foram interpretados os parâmetros hidrodinâmicos do sistema aquífero. Em anexo, são apresentadas as curvas de tempo x rebaixamento dos ensaios realizados

No Catálogo de Poços são apresentados os valores dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços testados e no Quadro IV 3.4 são mostrados os valores médios desses parâmetros por município. Do referido quadro-resumo, das características hidrodinâmicas do sistema aquífero em questão, pode-se observar

- a) profundidade média desses poços testados - em torno de 130 m - é irrisória com relação a espessura total do sistema aquífero, que, conforme deduzido de estudos geofísicos, chega em alguns locais, a cerca de 1000 m tendo sido a espessura média do sistema aquífero avaliada em IV 3.1, como da ordem de 300 m, dessa maneira, os poços são todos parcialmente penetrantes no aquífero e, assim, os valores obtidos para os coeficientes hidrodinâmicos deveriam ser corrigidos, caso se conhecesse sua real espessura, de qualquer forma, pode-se a priori concluir que a transmissividade obtida é bem inferior àquela do conjunto real do sistema aquífero,
- b) a área de Crato-Juazeiro é a que melhores condições hidrodinâmicas oferece, enquanto a de Missão Velha - Brejo Santo possui os mais baixos coeficientes, apesar disso, os valores médios gerais dos coeficientes hidrodinâmicos do sistema aquífero não revelam variações muito acentuadas ao longo da região,
- c) a partir dos ensaios realizados, pode-se admitir para o Sistema Aquífero Médio, os seguintes coeficientes hidrodinâmicos como valores mais representativos

- Coeficiente de transmissividade	$T = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- Coeficiente de permeabilidade	$K = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
- Coeficiente de armazenamento	$S = 2 \times 10^{-4}$

- d) constata-se pelo valor médio dos coeficientes de armazenamento, que a condição de confinamento é predominante, apenas em Juazeiro do Norte o elevado valor desse coeficiente parece indicar uma condição de semi-confinamento, deve-se também levar em consideração o reduzido número de ensaios de bombeamento efetuados com poços de observação (apenas 5 dos 38 ensaios) que permite o cálculo desse parâmetro

Considerando que o número de ensaios de bombeamento além de baixo era ainda concentrado nas áreas urbanas dos municípios de Juazeiro do Norte (19), Barbalha (9), Missão Velha (4), Crato (3) e Brejo Santo (3), foi utilizada uma estratégia para melhor caracterizar especialmente as transmissividades do sistema aquífero

Como se sabe, a vazão específica traduz uma razão entre as vazões bombeadas e os rebaixamentos respectivos dentro de um poço, essa razão depende em grande parte da construção do poço, do correto dimensionamento dos filtros e pré-filtro, da execução do desenvolvimento e outros fatores construtivos, entretanto, não se pode negar a influência que exerce nessa razão, a condutividade hidráulica do aquífero, pois para aquíferos com facilidade de percolação da água, os rebaixamentos são minimizados, ocorrendo o inverso em aquíferos de baixa condutividade hidráulica, que provocarão rebaixamentos acentuados, desproporcionais aos aumentos de vazão

Foi então efetuada uma análise de regressão entre os valores de transmissividade e de vazão específica a fim de avaliar a possibilidade de correlação matemática entre os dois parâmetros. A correlação que melhor se adequou foi a regressão linear, com coeficiente de correlação de 82 %

A equação linear que estabeleceu a correlação entre a transmissividade e a vazão específica foi a seguinte

$$Y = 2,145 + 1101 X \quad (5)$$

sendo Y - valor da transmissividade a calcular (em m^2/s)

X - valor da vazão específica do teste de vazão do poço (em $m^3/h/m$)

A partir da equação acima, foi possível obter-se um considerável número de dados de transmissividade que permitiu a realização do mapa de iso-transmissividade apresentado como anexo, nas folhas de 1 100 000 de Crato, Milagres, São José do Belmonte e Jardim

Os mapas de iso-transmissividade das quatro folhas mencionadas revelam uma concentração de transmissividades mais elevadas, variando entre 1 a $15 \times 10^{-3} m^2/s$ nas áreas dos municípios do Crato, Juazeiro e sul de Missão Velha, a região de Barbalha aparece com valores de transmissividade intermediários, variando desde 2 até $5 \times 10^{-3} m^2/s$, no restante da área, sobretudo na porção mais oriental, nos municípios de Brejo Santo, Milagres e Mauriti, as transmissividades são muito baixas, variando de 1 a $2 \times 10^{-3} m^2/s$ em Brejo Santo e inferior a $1 \times 10^{-3} m^2/s$ nas outras duas, finalmente na área sul, nos municípios de Porteiras e Jardim, as transmissividades variam entre 0,5 a $1 \times 10^{-3} m^2/s$ na primeira e entre 1 a $4 \times 10^{-3} m^2/s$ na última

Essa variação de transmissividade fundamentalmente diversa entre as regiões oriental e ocidental do vale do Cariri é motivada principalmente pela diminuição de espessura do pacote sedimentar representado pelas três formações aquíferas com efeito, na região oriental, as formações Rio da Batateira e Abaiara são praticamente ausentes, e a própria formação Missão Velha esta ausente em cerca de 50 % da área

O mapa de iso-transmissividades não foi restrito ao Sistema Aquífero Médio, e sim a todos os aquíferos da região, inclusive o Mauriti, como muito bem pode ser visto na folha de Milagres, na área mais oriental, no município de Mauriti e nordeste de Milagres, onde somente o aquífero Mauriti se acha presente, revelando os poços com baixos valores de transmissividade, sempre inferiores a $0,5 \times 10^{-3} m^2/s$

Convém salientar que esse método é aproximativo tendo por objetivo apenas o de melhor conhecer a distribuição espacial das transmissividades na área. Por outro lado, as variações laterais de constituição litológica e de espessura de formações aquíferas exigirá maior rigor num futuro trabalho ao nível de detalhamento

Município	Estatística	Número de poços	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Rebaixamento (m)	Vazão testada (m ³ /h)	Vazão específica (m ³ /h/m)	Coefficiente de transmissividade (m ² /s)	Coefficiente de permeabilidade (m/s)	Coefficiente de armazenamento
Juazeiro Norte	média	19	138,61	11,55	32,22	20,67	106,07	7,57	4,87x10 ⁻³	4,36x10 ⁻⁵	2,30x10 ⁻³
	máximo		200,00	51,83	94,00	70,00	214,00	21,52	1,57x10 ⁻²	1,93x10 ⁻⁴	-
	mínimo		82,80	+2,85	13,06	5,78	16,00	0,22	5,00x10 ⁻⁴	4,20x10 ⁻⁶	-
Crato	média	3	112,88	13,82	39,45	25,62	232,76	11,12	1,55x10 ⁻²	1,47x10 ⁻⁴	4,30x10 ⁻⁴
	máximo		130,00	13,00	57,30	45,80	300,00	26,54	1,61x10 ⁻²	1,41x10 ⁻⁴	7,24x10 ⁻⁴
	mínimo		87,00	11,50	24,30	11,30	200,00	4,43	4,47x10 ⁻³	5,30x10 ⁻⁵	2,19x10 ⁻⁴
Barbalha	média	9	157,58	25,84	46,63	20,78	102,22	5,11	3,57x10 ⁻³	2,90x10 ⁻⁵	
	máximo		248,00	93,00	108,00	35,70	180,00	8,50	5,15x10 ⁻³	6,50x10 ⁻⁵	-
	mínimo		109,10	3,34	22,48	14,55	40,00	2,24	9,90x10 ⁻⁴	7,20x10 ⁻⁶	-
Missão Velha	média	4	94,80	1,82	17,04	15,22	94,08	5,68	1,84x10 ⁻³	3,48x10 ⁻⁵	7,40x10 ⁻⁵
	máximo		133,80	2,60	20,93	18,43	158,40	10,24	3,20x10 ⁻³	6,27x10 ⁻⁵	-
	mínimo		34,00	0,81	15,15	12,55	16,25	1,06	1,90x10 ⁻⁴	5,80x10 ⁻⁶	-
Brejo Santo	média	3	109,30	3,17	27,73	24,55	75,48	3,11	1,82x10 ⁻³	3,86x10 ⁻⁵	-
	máximo		127,90	6,05	31,45	29,95	83,36	3,45	2,23x10 ⁻³	6,38x10 ⁻⁵	-
	mínimo		85,00	1,50	25,64	19,59	63,90	2,64	1,59x10 ⁻³	2,04x10 ⁻⁵	-
Média			134,14	13,43	20,82	20,82	111,48	6,72	4,84x10⁻³	4,70x10⁻⁵	1,74x10⁻⁴

Quadro IV.3.4 - Parâmetros estatísticos dos poços testados no Sistema Aquífero Médio

000062

IV.3 5 - Características dos Poços explotando o Sistema Aquífero

Os poços que captam o Sistema Aquífero Médio, cujos dados são apresentados individualmente no Catálogo de Poços em anexo, perfazem 807, dos quais são apresentados no Quadro IV 3 5 os valores dos parâmetros de profundidade, nível estático, nível dinâmico, vazão e vazão específica. No Quadro IV 3 6 são apresentados esses parâmetros por município onde o sistema aquífero é explotado e, nas Figuras IV 3 1 a IV 3 4, estes parâmetros são representados graficamente.

	Parâmetro Estatístico	Profundidade	Nível Estático	Nível Dinâmico	Vazão	Vazão Específica
		m	m	m	m ³ /h	m ³ /h/m
Sistema Aquífero Médio	n	774	728	645	685	619
	μ	81,5	21,6	39,1	17,4	1,63
	σ	30,9	14,8	18,1	33,0	3,13
	C V (%)	37,9	68,5	46,4	194,1	192,0
	M	270,0	97,0	130,0	300,0	29,0
	m	2,3	0	2,0	0,03	0,01

(n-número de amostras, μ-média, σ-desvio padrão, C V-coeficiente de variação, M-máximo e m-mínimo)

Quadro IV.3 5 - Parâmetros estatísticos de todos os poços perfurados no Sistema Aquífero Médio na Região do Carrn - Ce

Município	Parâm. Estatístico	Profundidade	Nível estático	Nível Dinâmico	Vazão	Vazão Específica
		m	m	m	m ³ /h	m ³ /h/m
CRATO Poços perfurados 233 Poços desativados 68 (29,2%)	n	229	209	181	194	173
	μ	78,0	24,5	40,2	20,9	2,05
	σ	26,3	15,6	20,8	44,1	3,52
	C V (%)	33,7	63,7	51,7	211,0	171,7
	M	185,0	97,0	130,0	300,0	26,5
	m	11,0	1,0	6,0	0,2	0,01
JUAZEIRO DO NORTE Poços perfurados 217 Poços desativados 108 (49,8%)	n	217	216	215	214	215
	μ	84,5	24,5	42,7	16,4	1,31
	σ	30,8	12,1	13,1	29,8	2,71
	C V (%)	36,4	49,4	30,7	181,7	206,8
	M	227,0	67,0	94,0	214,0	21,5
	m	40,0	1,0	13,1	0,1	0,01
BARBALHA Poços perfurados 69 Poços desativados 6 (8,7%)	n	66	62	52	56	48
	μ	87,7	20,2	31,3	24,6	2,65
	σ	39,8	16,1	18,9	34,6	2,73
	C V (%)	45,0	79,7	60,3	140,6	103,0
	M	248,0	93,0	108,0	180,0	11,9
	m	36,0	1,0	7,0	0,8	0,05
MISSÃO VELHA Poços perfurados 72 Poços desativados 32 (44,4%)	n	63	64	59	59	56
	μ	84,2	13,8	36,2	25,2	2,83
	σ	27,9	15,9	21,9	35,5	5,41
	C V (%)	33,1	110,1	60,5	140,8	187,8
	M	153,0	95,0	60,5	158,0	29,0
	m	2,3	0	7,3	0,5	0,01
ABAIARA Poços perfurados 45 Poços desativados 26 (57,8%)	n	45	41	35	42	33
	μ	86,2	16,3	34,7	5,7	0,38
	σ	28,8	10,3	14,3	6,6	0,43
	C V (%)	33,4	63,7	41,2	118,6	116,6
	M	170,0	37,6	64,7	35,0	2,30
	m	45,6	1,1	12,0	0,4	0,01
BREJO SANTO Poços perfurados 96 Poços desativados 18 (18,7%)	n	81	72	59	58	54
	μ	85,1	17,8	33,4	12,8	0,91
	σ	35,0	13,7	17,3	16,6	1,04
	C V (%)	41,2	76,9	51,8	129,7	109,9
	M	270,0	77,4	78,0	85,1	5,4
	m	20,0	0,7	2,0	0,03	0,06

(n - número de amostras, μ - média, σ - desvio padrão, C V - coeficiente de variação, M - máximo e m - mínimo)

Quadro IV.3.6 - Parâmetros estatísticos dos poços do Sistema Aquífero Médio

Município	Parâm. Estatístico.	Profundidade	Nível estático	Nível Dinâmico	Vazão	Vazão Específica
		m	m	m	m ³ /h	m ³ /h.m
JARDIM Poços perfurados: 18 Poços desativados: 9 (50%)	n	18	16	15	18	15
	μ	79,8	16,2	40,0	8,2	0,47
	σ	33,7	9,8	12,5	5,6	0,42
	C.V.(%)	42,2	60,4	31,2	68,9	89,4
	M	190,0	42,0	62,0	24,0	1,75
m	38,0	3,0	22,3	2,7	0,1	
PORTEIRAS Poços perfurados: 25 Poços desativados: 10 (40%)	n	25	24	17	23	17
	μ	83,0	30,5	47,5	4,3	0,61
	σ	17,5	18,1	20,7	2,9	0,48
	C.V.(%)	21,1	59,3	43,6	91,2	78,7
	M	130,0	74,0	95,0	16,6	1,47
m	56,0	3,3	22,8	0,9	0,02	
SANTANA DO CARIRI Poços perfurados: 18 Poços desativados: 2 (11,1%)	n	18	14	5	14	4
	μ	48,5	6,8	18,3	14,7	1,59
	σ	29,2	3,4	3,9	4,3	0,12
	C.V.(%)	60,2	49,9	21,7	29,4	7,5
	M	106,0	14,0	20,1	20,0	1,74
m	5,0	3,4	11,2	8,0	1,47	
ARARIPE Poços perfurados: 14 Poços desativados: 2 (14,3%)	n	12	10	7	7	4
	μ	54,8	14,9	43,7	4,0	0,25
	σ	28,1	15,7	23,4	4,3	0,22
	C.V.(%)	51,3	106,6	53,5	109,7	88,0
	M	86,0	52,0	71,0	10,0	0,59
m	10,0	3,6	14,0	0,06	0,03	

(n - número de amostras, μ - média, σ - desvio padrão, C.V.- coeficiente de variação, M - máximo e m - mínimo)

Quadro IV.3.6 9 (continuação) Parâmetros estatísticos dos poços do Sistema Aquífero Médio.

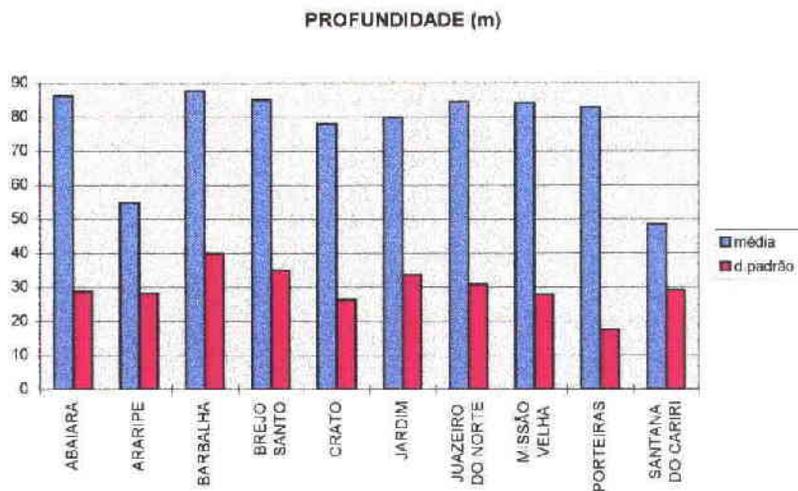


FIGURA IV.3.1 - Profundidade média dos poços perfurados no Sistema Aquífero Médio.

NÍVEL ESTÁTICO (m)

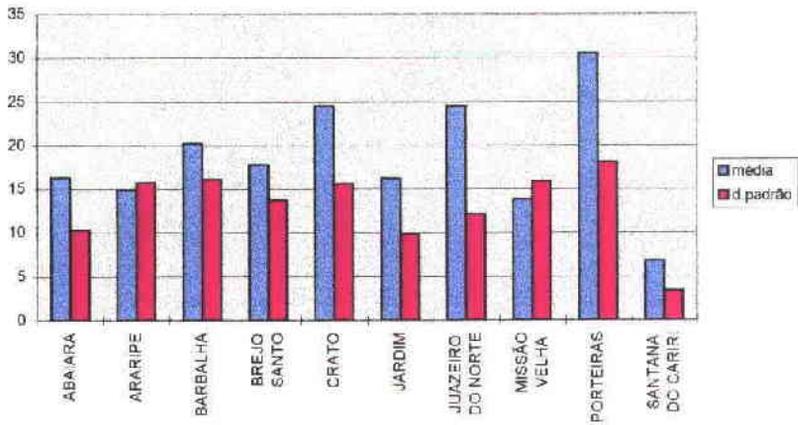


FIGURA IV.3.2 - Nível estático médio dos poços perfurados no Sistema Aquífero Médio

VAZÃO (m³/h)

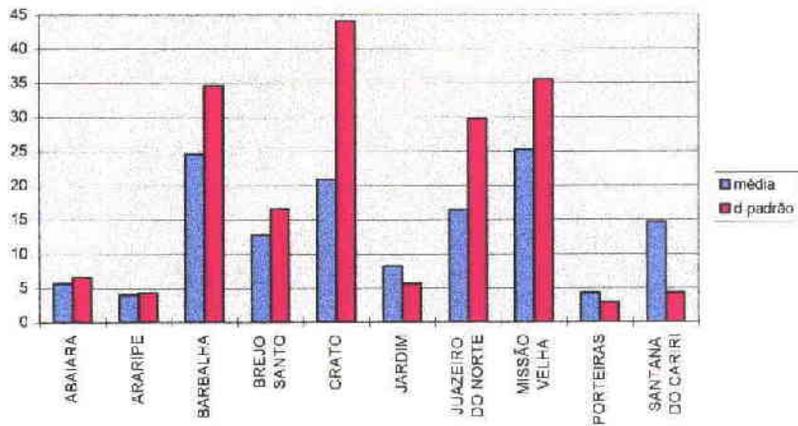


Figura IV.3.3 - Vazão média dos poços perfurados no Sistema Aquífero Médio

000065

VAZÃO ESPECÍFICA (m³/h/m)

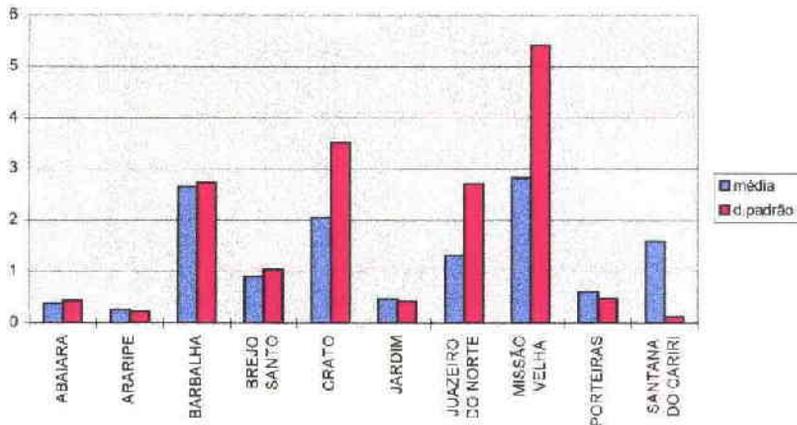


Figura IV.3.4 - Vazão específica média dos poços perfurados no Sistema Aquífero Médio.

Dos quadros IV.3.5 e IV.3.6, bem como das Figuras IV.3.1 a IV.3.4, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- a) a média de profundidade desses poços - 81,5m - revela a baixa penetração no sistema aquífero, ratificando a metodologia inicialmente adotada, de reunir os aquíferos similares em sistemas aquíferos; por outro lado, a heterogeneidade de informações no que diz respeito à confecção do perfil geológico dos poços impossibilita uma correlação segura, mesmo entre os poços mais profundos;
- b) considerando a profundidade média dos níveis estáticos - 21,6m - a espessura saturada média nesses poços é da ordem de apenas 60,0m; tendo o aquífero, conforme informações geofísicas, espessuras de até 600m, deduz-se que, em média se está penetrando apenas 10% da sua totalidade;
- c) quanto às condições de explotabilidade das águas desse sistema aquífero, podem ser consideradas muito boas, ao contrário do que acontece no Sistema Aquífero Superior, onde os níveis d'água eram muito profundos, inviabilizando a instalação de bombas em poços ali perfurados. O mapa de profundidade de nível das águas bem reflete a facilidade de exploração desse manancial: em média, o nível estático da água situa-se aos 20m de profundidade, variando para um pouco mais nos locais de intensa exploração, como em torno dos centros urbanos de Crato e Juazeiro do Norte, onde chegam até 40m de profundidade; uma outra área em que os níveis se acham já bastante profundos é aquela situada em torno de Porteiras, variando entre 30 e 50m. No triângulo Milagres - Brejo Santo - Mauriti, os níveis d'água variam entre 20 e 30m de profundidade;
- d) os parâmetros profundidade, nível estático e nível dinâmico apresentam, em geral, uma baixa dispersão de valores nos diversos municípios, com coeficientes de variação inferior a 80%, e em grande parte, inferior a 50%; por outro lado a vazão e a vazão específica, em geral possuem uma grande dispersão de valores, com coeficientes de variação quase sempre acima de 100%, chegando a atingir até os 200%;
- e) a vazão média de 17,4 m³/h apresentada pelos 685 poços que dispunham de dados específicos, não reflete a real média dos poços como um todo, pois, desses, 34 poços pertencem ao sistema de abastecimento público, distribuídos em Juazeiro do Norte (18), Crato (7), Barbalha (4), Missão Velha (2) e Brejo Santo (3), que no

conjunto exploram 5 034 m³/h, ou seja, uma média de 148,0 m³/h por poço, os 651 poços restantes, de propriedade privada, apresentam uma vazão média de apenas 10,57 m³/h, a distribuição da vazão nos diversos municípios revela que na região do Crato-Juazeiro-Barbalha-Missão Velha, as vazões são mais elevadas, com média geral acima dos 20 m³/h, enquanto nos municípios de Abaiara, Brejo Santo, Jardim, Porteiras, Santana do Cariri e Araripe os valores médios de vazão são sempre inferiores a 15 m³/h, sendo inclusive inferior a 6 m³/h nos municípios de Abaiara, Porteiras e Araripe.

- f) as vazões específicas refletem, não apenas a má qualidade do aquífero em determinadas áreas, mas também, e até com predominância, a má qualidade construtiva do poço, com efeito, os poços bem construídos nas cidades do Crato e Juazeiro do Norte, com fins de abastecimento público, no mesmo aquífero explorado ao longo da região do Cariri, apresentaram valores de vazão específica entre 8 e 12 m³/h m, enquanto a média geral (que inclui até esses bons poços) é da ordem de 1,6 m³/h m,
- g) dos 807 poços perfurados nesse sistema aquífero, foi constatada a desativação por abandono ou paralisação, de 282 (35%), com maior índice em Abaiara (57,8% desativados) e maior aproveitamento em Barbalha (8,7% desativados)

IV.3.6 - Reservas e Recursos Hídricos

Reservas

Conforme já descrito em IV 3 4, devem ser consideradas na avaliação das reservas duas situações distintas as reservas permanentes (R_p) e as reservas reguladoras (R_r) também chamadas de reservas renováveis, que correspondem à recarga do sistema aquífero

Para a avaliação das reservas permanentes deve-se ainda considerar as condições de armazenamento livre ou confinado do aquífero, e, como já visto atrás, predomina a segunda condição ao longo da bacia, mesmo as camadas mais próximas à superfície apresentam artesianismo decorrente de intercalações constantes de sedimentos de baixa permeabilidade - silte e argila - dentro do pacote sedimentar arenoso

Inicialmente será avaliada a reserva permanente do sistema aquífero em estudo na sub-bacia de Feira Nova Em IV 3 1 foi dimensionado o pacote sedimentar pré-Santana, resultando para o sistema aquífero um volume de sedimentos da ordem de 400×10^9 m³, distribuídos numa área de 1 900 km², com uma espessura média de aproximadamente 210 m

Admitindo um coeficiente de armazenamento igual ao calculado para a região da sub-bacia do Cariri, da ordem de 2×10^{-4} e uma porosidade efetiva média de 10% , obtem-se a partir das equações (1) e (2), apresentadas em IV 2 4

$$R_{p1} = 1,9 \times 10^9 \times 210 \times 2 \times 10^{-4} = 79,8 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ (água sob pressão)}$$

$$R_{p2} = 1,9 \times 10^9 \times 210 \times 0,1 = 39,9 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ (água nos poros da rocha)}$$

$$R_p = R_{p1} + R_{p2} = 79,8 \times 10^6 + 39,9 \times 10^9 = 39,979 \times 10^9 \cong 40 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Quanto as reservas reguladoras, praticamente inexistem, pois o confinamento desse pacote sedimentar por sob a chapada, sem área de recarga, torna o sistema quase fechado, é possível, porém não há indícios que permitam efetuar qualquer cálculo a respeito, que possa haver drenanças nas proximidades da borda norte da chapada, na região de Santana do Cariri

Na sub-bacia do Cariri, o volume de sedimentos do sistema aquífero é da ordem de 833×10^9 m³, distribuídos numa área de 2 830 km², com espessura média de 295m O valor médio do coeficiente de armazenamento calculado pelos ensaios de bombeamento foi de 2×10^{-4} , apesar de não ter sido calculado a porosidade efetiva em virtude de os poços perfurados terem alcançado o aquífero na condição de confinado a semi-confinado, pode-se admitir a favor da segurança uma porosidade da ordem de 10%, considerando a predominância de sedimentos arenosos no sistema

Utilizando-se das equações (1) e (2), apresentadas em IV 2 4, vem

$$R_{p1} = 2,83 \times 10^9 \times 295 \times 2 \times 10^{-4} = 166,9 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$R_{p2} = 2,83 \times 10^9 \times 295 \times 0,1 = 83,48 \times 10^9 \text{ m}^3$$

$$R_p = R_{p1} + R_{p2} = 166,9 \times 10^6 + 83,48 \times 10^9 = 83,65 \times 10^9 \text{ m}^3$$

As reservas reguladoras, como já citado, correspondem as recargas do sistema aquífero, calculadas em IV 3 2 no valor de $112 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, que representam apenas a 0,13% das reservas permanentes

Recursos Explotáveis

Conforme já apresentado em IV 2 4, os recursos explotáveis ou disponibilidade do sistema aquífero podem ser consideradas sob vários aspectos: disponibilidade potencial do aquífero, disponibilidade virtual do aquífero, disponibilidade instalada dos poços e disponibilidade efetiva dos mesmos poços

A *disponibilidade potencial* do sistema aquífero é aquela que considera explotável toda reserva reguladora, isto é, não acarreta depleção nas reservas permanentes. Para o sistema aquífero em questão, essa disponibilidade correspondente a reserva reguladora 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. Estudos procedidos pelo GEVJ/ SUDENE (1967), avaliaram que o escoamento total do Rio Batateiras (da ordem de $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), era dividido em três parcelas de contribuição: 40% representado pelo escoamento superficial das precipitações pluviométricas, 40% do escoamento de base (hipodérmico e drenagem natural) e 20% oriundo das fontes. Verifica-se então que somente o Rio Batateiras, o principal dreno superficial dos excessos de água subterrânea, recebe cerca de $16 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ de contribuições do sistema aquífero na área de Crato-Barbalha-Juazeiro do Norte, além de $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ das fontes na superfície. 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). Na região em estudo, o volume total atualmente possível de captar dos 650 poços particulares perfurados na área além dos 34 poços públicos é de $100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o que seria impraticável por superar a disponibilidade virtual

Finalmente, 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. Essa avaliação é bem mais difícil de executar pois depende de uma avaliação local, ponto a ponto para determinado momento, pois o regime de exploração constantemente é modificado. Estudos ao nível regional levados a efeito no âmbito do Projeto ARIDAS para todo o nordeste do Brasil, revelou que a disponibilidade efetiva corresponde em média a oitava parte da disponibilidade instalada. Assim, para a área em estudo, a disponibilidade efetiva seria da ordem de $12,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. No capítulo de descarga (IV 3 3), foi efetuada uma avaliação a partir do pressuposto de uma exploração média nos poços particulares em funcionamento, de 2 horas diárias e nos poços públicos de 20 horas/dia (valor esse fornecido pela concessionária do serviço de abastecimento d'água no estado), chegando-se a um valor total de $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Esse valor se acha compatível com a disponibilidade virtual, pois representa um percentual de 55,5 % da mesma.

IV 3 7 - Qualidade da Água

As águas subterrâneas desse sistema aquífero são muito boas, conforme mostra o Quadro IV 3 8, e os mapas de resíduo seco em anexo

Quando foi levantado o cadastro de poços existentes, constatou-se que existiam apenas 30 análises em toda a região do Cariri, entre os municípios do Crato a Brejo Santo, e assim mesmo, bastante concentradas no município de Juazeiro do Norte (com 19 amostras) e Barbalha (com 9 amostras); o Crato e Brejo Santo completavam o quadro, com uma análise em cada uma

Foram executadas mais 72 análises físico-químicas distribuídas de forma mais ou menos homogêna, conforme mostra o Quadro IV 3 7 a seguir

Município	Análises antigas		Análises novas		Total	
	Quant.	R.S.*	Quant.	R.S.*	Quant.	R.S.*
		mg/l		mg/l		mg/l
Crato	1	450,00	12	163,50	13	185,53
Juazeiro Do Norte	19	159,89	15	214,83	34	184,13
Barbalha	9	174,00	8	229,62	17	200,17
Missão Velha	-	-	12	180,83	12	180,83
Abaíara	-	-	11	264,65	11	264,65
Brejo Santo	1	100,00	14	427,35	15	405,52
Total Quantitativo	30		72		102	
Média		171,79		251,18		227,83

* R. S - Resíduo Seco

Quadro IV.3.7 - Análises físico-químicas das águas do Sistema Aquífero Médio na Região do Carrn

Os valores da determinação de cada elemento analisado nessas águas acham-se contidos no Catálogo de Poços em anexo A apresentação dos valores médios dos ânions e cátions bem como do resíduo seco das análises recentemente realizadas, é mostrada no Quadro IV 3 8 e na Figura IV 3 5

Os valores de resíduo seco se enquadram nos limites de potabilidade, ou seja, estão todos abaixo de 1 000 mg/l, com média geral de 232,2 mg/l, mesmo os poços de Brejo Santo, com média de 401,0 mg/l, ainda se enquadram nos limites de potabilidade

Apesar de estarem todos os poços com água de boa potabilidade, convém salientar a diferenciação revelada entre as áreas de Crato-Juazeiro-Barbalha-Missão Velha, todas com águas de R S inferior a 230 mg/l, da área de Abaiara-Brejo Santo, onde os R S variam entre 264,5 e 401,0 mg/l em média. Ao que tudo indica, essas águas são em parte captadas no aquífero Brejo Santo pois muitos desses poços na região de Brejo Santo, estão explotando camadas arenosas contidas entre os argilitos do Brejo Santo

VALORES DAS DETERMINAÇÕES DOS PARÂMETROS QUÍMICOS (mg/l)								
Municípios	R.S.	Cloratos	Carbonatos + Bicarbonatos	Sulfatos	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio
Juazeiro do Norte	212,70	18,85	105,30	46,60	20,70	11,80	37,17	3,50
Crato	166,00	18,10	60,03	16,13	17,45	9,36	8,08	5,08
Barbalha	229,60	19,17	81,67	39,25	16,93	13,27	28,00	3,75
Missão Velha	180,80	25,20	70,75	19,15	17,09	11,08	15,33	6,17
Abaíara	401,00	95,46	132,13	41,37	36,00	25,25	36,00	7,25
Brejo Santo	264,50	21,43	165,27	40,18	27,18	14,00	45,82	6,00
Médias	232,20	29,79	101,11	33,27	21,94	13,42	27,96	5,20

Quadro IV.3.8 - Valores médios do resíduo seco (R S), cátions e ânions das águas analisadas sistema aquífero médio na região do carrn

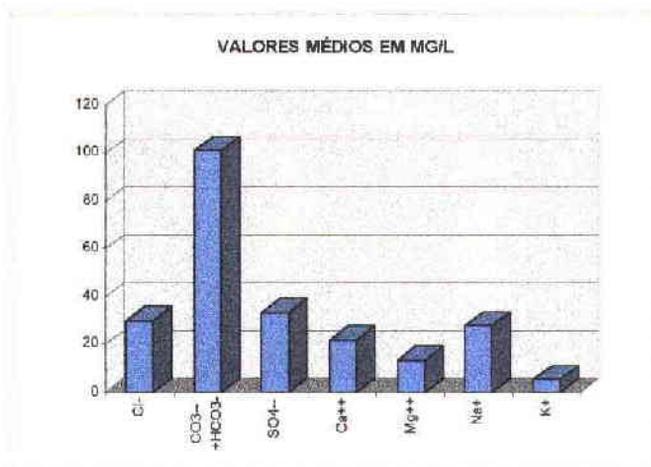
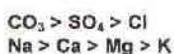


Figura IV.3.5 - Representação gráfica dos valores médios de ânions e cátions das águas do Sistema Aquífero Médio.

As águas do sistema aquífero em estudo classificam-se no tipo iônico de *bicarbonatadas sódicas*, apresentando as seguintes relações iônicas:



A predominância de carbonatos + bicarbonatos sobre os demais ânions é normal para águas continentais, sobretudo em aquíferos intersticiais, entretanto, considerando a localização da área, numa região semi-árida, a predominância de sulfatos sobre os cloretos somente pode ser justificada em função da presença da gipsita da Formação Santana; isso não quer dizer que seja admitida a recarga do sistema aquífero por infiltração através da Formação Santana na própria chapada, mas, as águas das fontes, que constituem um dos elementos de recarga do sistema aquífero, ao escoarem superficialmente no talude, por sobre as camadas gipsíferas, provocam a lixiviação dos sulfatos carreando-os para o sistema aquífero.

O estudo isotópico das águas subterrâneas do Cariri, efetuado pela equipe de físicos da UFC (ver Apêndice), que analisou a composição da água meramente sob o aspecto isotópico, chegou a admitir que as águas desse sistema aquífero estivessem sendo recarregadas através de infiltração através da Formação Santana, o que seria inviável devido a diferenças de cargas potenciométricas entre os sistemas aquíferos Superior e Médio; essas diferenças de carga foram comprovadas nos poços estratigráficos perfurados na chapada.

Para uso em irrigação, todas as amostras analisadas se apresentaram aproveitáveis, pois se classificaram segundo critério do U.S.S.L. (United States Soil Laboratory) como S₁ (o SAR ou Risco de Adsorção de Sódio foi sempre inferior a 5); quanto a condutividade elétrica (C.E.), que determina o primeiro índice da classificação do U.S.S.L., variou desde C₁ até C₃ (a C.E. chegou até 2.000 µS/cm).

A variação das classes de água para irrigação foram as seguintes:

- C₁ - S₁ = 57,1% das amostras analisadas
- C₂ - S₁ = 38,1% das amostras analisadas
- C₃ - S₁ = 4,8% das amostras analisadas

Por município, e a seguinte a distribuição percentual dessas três classes para irrigação

	C ₁ - S ₁	C ₂ - S ₁	C ₃ - S ₁
Crato	72,7 %	27,3 %	
Juazeiro do Norte	85,7 %	7,1 %	7,1 %
Barbalha	50,0 %	50,0 %	
Missão Velha	54,5 %	45,5 %	
Abaiara	27,3 %	72,7 %	
Brejo Santo	37,5 %	37,5 %	25,0 %

Os diferentes índices de condutividade elétrica e SAR, na classificação do U S S L, indicam os seguintes riscos

Grau de risco	C.E. (μS/cm)	SAR
1 Baixo	< 250	< 10
2 Médio	251 < CE < 750	10,1 < SAR < 18
3 Alto	751 < CE < 2 250	18,1 < SAR < 26
4 Muito Alto	>2 250	> 26

Apenas as águas da classe C₃ - S₁ apresentam restrições a alguns tipos de culturas, exigindo solos de boa drenabilidade

Analisando-se apenas os resultados apresentados nas análises por município, pode-se interpretar que as melhores águas são aquelas situadas nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, em segundo plano viriam as águas de Barbalha e Missão Velha, aparecendo por último em termos de qualidade, as águas de Abaiara e Brejo Santo, ou seja, as melhores águas estariam na região mais ocidental do vale do Cariri, decrescendo em qualidade no sentido oriental, analisando-se porém os mapas de Resíduo Seco verifica-se que ocorrem áreas de maior concentração, da ordem de 600 mg/l de resíduo seco a sudeste de Barbalha, e a leste de Juazeiro do Norte, com 400 mg/l, por outro lado, na região oriental, na sua maior parte, entre Brejo Santo, Mauriti e Milagres, predominam águas com R S inferior a 300 mg/l, não havendo, portanto, uma diferenciação espacial nítida entre uma região e outra do vale do Cariri

IV.4 - O SISTEMA AQUÍFERO INFERIOR

IV.4.1 - Ocorrência, Geometria e Dimensionamento

O Sistema Aquífero Inferior, caracterizado predominantemente pela Formação Mauriti, conforme já aludido, não ocorre na sub-bacia de Feira Nova e nem, provavelmente, na maior parte da região da chapada, a não ser numa reduzida área da sub-bacia do Cariri

A área de afloramentos da Formação Mauriti corresponde à borda setentrional e oriental da região do Cariri, numa extensão de 600 km², com relevo ondulado, atuando como elemento morfológico intermediário, ou de transição, entre a pediplanicie e o embasamento cristalino ondulado

A camada arenítica, silicificada na sua maior parte, mergulha para sul por sob a sequência representada pelas formações Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara e Rio da Batateira, com uma espessura média da ordem de 66m, numa área total de 2 830 km², ocupando um volume de sedimentos de 186x10⁹ m³. Considerando, todavia, a espessura ainda ignorada de depósitos arenosos dentro da Formação Brejo Santo, na sua parte basal, a espessura total do sistema aquífero deve ficar em torno de 150m

Sua distribuição nessa sub-bacia é muito variada em espessura, dependendo da situação estrutural de horst ou de graben, conforme mostrado no Quadro IV 3 1

Na zona de recarga, onde o aquífero se apresenta na situação de livre, no máximo de semi-confinado, a espessura média saturada é da ordem de 100m, o que proporciona na área de 600 km² um volume total de sedimentos saturados da ordem de 60x10⁹ m³, totalizando para todo o aquífero, um volume saturado de 246x10⁹ m³

IV 4.2. Alimentação

A alimentação do sistema aquífero somente se processa na área onde aflora, de vez que na zona confinada a camada que se situa diretamente sobre o mesmo é a Formação Brejo Santo, com espessura média de 315m e predominantemente argilosa, impedindo a circulação descendente do sistema aquífero que lhe é sobreposto

Na área de recarga o aquífero é alimentado principalmente através da infiltração direta das precipitações pluviométricas e, secundariamente, através da drenagem que procede da área cristalina ao norte

Através do estudo procedido da vazão de escoamento natural foi avaliada uma taxa de infiltração da ordem de 2%, o que proporcionaria uma recarga aproximada de $14,5 \times 10^6$ m³/ano, numa área de 850 km² (incluindo uma parte recoberta pela Formação Brejo Santo com reduzida espessura e contendo camadas arenosas na base, na área oriental), com precipitação pluviométrica média de 900 mm/ano (Quadro IV 4 1)

Parâmetros	Região Juazeiro -Missão Velha	Região Milagres-Mauriti	Total do Sistema Aquífero Inferior
ÁREA (km ²)	200	650	850
VEN (m ³ /s)	0,28	0,18	0,46
VEN/ÁREA (l/s/km ²)	1,40	0,27	0,54
VEN/ano (m ³ /ano)	$8,8 \cdot 10^6$	$5,7 \cdot 10^6$	$14,5 \cdot 10^6$
INFILTRAÇÃO(mm/a) - (VEN/ano)/ÁREA	44,15	8,73	17,06
PRECIPITAÇÃO(mm/a)	930	890	900
I/P (%P)	4,7	0,98	1,9

Quadro IV.4.1 - Avaliação da vazão de escoamento natural no Sistema Aquífero Inferior

A recarga através da contribuição fluvial pode ser avaliada, grosseiramente, admitindo-se que 2% da lâmina escoada de 300 mm/ano numa área de 500 km² do embasamento cristalino que contorna a zona de recarga do aquífero Mauriti venha a se infiltrar e alimentar o referido aquífero, no que resulta

$$V_1 = 500 \times 10^6 \times 300 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-2} = 3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Assim, a recarga total anual seria da ordem de $17,5 \times 10^6$ m³/ano (dezessete milhões e quinhentos mil metros cúbicos ao ano)

IV.4.3 - Condições de Escoamento e Descarga

A partir da infiltração das águas superficiais (chuvas e rios) a água escoar com uma velocidade de circulação variada de uma região para outra em função dos gradientes hidráulicos

O mapa piezométrico revela que na folha de Crato, na região ao norte de Juazeiro do Norte e Missão Velha, ou seja, na margem esquerda do Rio Salgado (com seu principal afluente, o Rio Batateiras) os fluxos subterrâneos se procedem de norte para sul com gradientes médios de 0,025 (ou 2,5%)

Na medida que se desloca para leste, esses gradientes vão diminuindo, passando a 2,0% a leste de Milagres, a 1,7% entre Mauriti e Mararupá e a 0,4% a leste de Mauriti, na direção de Bonito de Santa Fé, nessa última área o sentido de fluxo é de leste para oeste

A vazão de escoamento natural foi calculada de acordo com a equação (3), tomando por parâmetros um valor constante de transmissividade de 3×10^{-4} m²/s (valor encontrado nos testes dos poços 778, 782 e 942), os gradientes médios encontrados em seis seções em que foi compartimentada a área e a largura de cada um desses compartimentos

Nesses compartimentos (Quadro IV 4 2) não houve necessidade de subdivisão em duas seções como procedido para o Sistema Aquífero Médio, devido a maior homogeneização dos gradientes nesta área

000072

Compartimento	Coef. Transm. $\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	Gradiente i	Largura (L) da seção m	VEN m^3/s
O	0,3	0,0250	14 500	0,108
P	0,3	0,0330	9 500	0,094
Q	0,3	0,0250	11 000	0,082
Total da região Juazeiro do Norte - Missão Velha (norte)				0,284
R	0,3	0,0200	17 500	0,105
S	0,3	0,0176	10 980	0,058
T	0,3	0,0043	15 500	0,020
Total da região Milagres - Mauriti				0,183
Total				0,467

Quadro IV.4.2 - Cálculo da "VEN" nos compartimentos das regiões do Sistema Aquífero Médio e na área total

Nos três compartimentos (O,P,Q) da região de Juazeiro - Missão Velha, em função dos gradientes mais elevados, a vazão de escoamento natural - VEN, obtida, foi de 0,28 m^3/s , apesar da área ser de apenas 200 km^2 , na região de Milagres - Mauriti onde foram analisados os outros três compartimentos (R,S,T), apesar de possuir uma área de 650 km^2 , os seus baixos gradientes proporcionaram uma VEN da ordem de 0,18 m^3/s

No Quadro IV 4 1 esses dados são melhor visualizados, inclusive com os valores de VEN/area, VEN/ano, infiltração e precipitação

Quanto a descarga ha de se considerar a descarga natural e a artificial, a primeira é representada pelas ressurgências ou restituições aos cursos d'água superficiais na forma de escoamento de base da rede fluvial da região, enquanto a segunda corresponde a retirada pelo homem, através de poços perfurados no sistema aquífero

Uma parcela da recarga anual de $17,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e retirada através de poços que exploram o sistema aquífero, enquanto o restante tende a escoar para a drenagem superficial

Os poços públicos utilizados para abastecimento das cidades de Mauriti (4), Milagres (2), Jati (2) e Barro (2), explotam um total de $2,19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, com regime de bombeamento de 20/24 h, e média de 30 m^3/h

Admitindo-se que os 250 poços particulares em uso, distribuídos nos municípios onde esse sistema aquífero é explotado, venham bombeando em média 8 m^3/h no regime de 2 horas por dia, o total explotado nos poços particulares seria de $1,46 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

Assim, o total da descarga artificial seria da ordem de $3,65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, correspondendo a apenas 20,8% da recarga anual, o que representa um bom índice no cálculo das disponibilidades

IV 4 4 - Características Hidrodinâmicas do Sistema Aquífero Inferior

Dos 321 poços perfurados nesse sistema aquífero, apenas 21 contam com testes de aquífero para avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos e assim mesmo, em nenhum desses testes foi utilizado poço de observação para avaliação do coeficiente de armazenamento

As reduzidas vazões exploradas nesses poços e a baixa condutividade hidráulica, aliada ao conhecimento da geologia de superfície, permite prever valores muito baixos para o coeficiente de armazenamento na zona confinada, bem como da porosidade efetiva na zona livre, de recarga

No Quadro IV 4 3. são apresentados os valores médios dos elementos dos poços testados nesse aquífero, assim como os coeficientes hidrodinâmicos médios, excetuando-se, como ja salientado, o coeficiente de armazenamento Os valores correspondentes de cada poço testado, acham-se no Catálogo de Poços, constando do anexo as curvas de interpretação dos testes

Verifica-se que o valor médio do coeficiente de transmissividade desse sistema aquífero - $3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ - e 15 (quinze) vezes menor do que o do sistema aquífero médio A espessura saturada média dos poços bombeados foi de 78m, contra 103m do sistema aquífero médio

Um outro elemento importante na caracterização do aquífero é a vazão específica dos poços nesse sistema aquífero a media desse parâmetro foi de apenas 0,77 m³/h m, ou seja, 11,4% do valor médio apresentado pelo sistema aquífero médio

Deve-se notar a coincidência da profundidade media desses poços - 135m - com a dos poços do sistema aquífero médio - 134m - apresentando espessuras saturadas medias de 129m e 121m. respectivamente

Na ausência de dados de coeficiente de armazenamento e porosidade efetiva, e levando em conta as disparidades com o sistema aquífero médio, bem como ainda o conhecimento do grau de silicificação dos arenitos dessa formação aquífera, serão estimados para efeito dos calculos de reservas a serem executados, os seguintes valores (para T e K, são os valores medios apresentados nos testes executados)

Coeficiente de transmissividade	T = 3x10 ⁻⁴ m ² /s	Coeficiente de
permeabilidade		
(condutividade hidraulica)	K = 4x10 ⁻⁶ m/s	
Coeficiente de armazenamento	S = 10 ⁻⁵	
Porosidade efetiva	m _e =0,02	

000074

Município	Parâm. estatístico	Número de poços	Profundidade	Nível estático	Nível dinâmico	Rebaixamento	Vazão testada	Vazão específica	Coefficiente de transmissividade	Coefficiente de permeabilidade
			m	m	m	m	m ³ /h	m ³ /h/m	m ²	m/s
Milagres	média	6	153,66	+1,60	31,61	33,16	18,36	0,77	2,44x10 ⁻⁵	4,83x10 ⁻⁶
	máximo		243,50	2,50	57,50	55,00	60,00	3,15	4,23x10 ⁻⁵	1,11x10 ⁻⁶
	mínimo		90,00	+7,90	10,95	10,95	4,80	0,08	5,93x10 ⁻⁶	4,27x10 ⁻⁶
Mauriti	média	4	122,50	+0,59	21,74	22,33	32,95	1,71	4,77x10 ⁻⁴	6,27x10 ⁻⁶
	máximo		181,20	1,43	35,11	36,00	43,30	2,77	5,50x10 ⁻⁴	
	mínimo		48,00	+2,90	12,60	11,17	21,60	0,83	4,04x10 ⁻⁴	
Nova Olinda	média	5	123,00	24,44	43,73	19,29	8,73	0,45	1,40x10 ⁻⁴	2,8x10 ⁻⁶
	máximo		130,75	26,87	50,68	31,60	14,40	0,79		
	mínimo		92,00	3,50	35,10	14,31	1,37	0,09		
Barro	média	6	134,80	3,08	27,90	24,82	12,34	0,42	6,39x10 ⁻⁴	7x10 ⁻⁶
	máximo		183,0	6,35	45,20	42,73	28,05	0,74		
	mínimo		98,00	0,00	15,88	12,14	1,62	0,08		
Média			135,03	6,23	31,55	25,41	17,13	0,77	3,14x10⁻⁴	4,03x10⁻⁶

Quadro IV.4.3 - Elementos estatísticos dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços testados no Sistema Aquífero Inferior

000075

IV.4.5 - Características dos poços explotando o Sistema Aquífero Inferior

Os poços que captam o Sistema Aquífero Inferior, cujos dados são apresentados individualmente no Catálogo de Poços em anexo, perfazem 321, dos quais são apresentados no Quadro IV 4 4 os valores dos parâmetros de profundidade, nível estático, nível dinâmico, vazão e vazão específica. No Quadro IV 4 5 são apresentados esses parâmetros por município onde o sistema aquífero é explotado, sendo mostrados nos gráficos das Figuras IV 4 1 a IV 4 3

	Parâm. estatístico	Profundidade	Nível estático	Nível Dinâmico	Vazão	Vazão Específica
		m	m	m	m ³ /h	m ³ /h/m
Sistema Aquífero Inferior	n	313	251	219	276	202
	μ	93,3	13,8	36,4	8,9	0,68
	σ	35,0	13,5	17,0	27,1	2,67
	C V (%)	37,6	97,8	46,7	303,4	392,6
	M	260,0	60,0	90,0	147,0	11,9
	m	0,6	0	2,0	0,02	0,01

(n - número de amostras, μ - média, σ - desvio padrão, C V - coef. de variação, M - máximo e m - mínimo)

Quadro IV.4.4 - Parâmetros estatísticos de todos os poços perfurados no Sistema Aquífero Inferior na Região do Cariri - CE

Município	Parâm. estatístico	Profundidade	Nível estático	Nível dinâmico	Vazão	Vazão Específica
		m	m	m	m ³ /h	m ³ /h/m
MILAGRES Poços perfurados 75 Poços desativados 17 (22,7%)	n	75	65	58	65	52
	μ	99,4	13,3	35,1	11,5	1,0
	σ	31,0	11,9	17,8	19,7	2,03
	C V (%)	31,2	89,5	50,7	171,3	203,0
	M	204,0	60,0	90,0	147,0	11,9
	m	45,0	0	5,0	0,1	0,02
MAURITI Poços perfurados 136 Poços desativados 22 (16,2%)	n	136	111	94	126	88
	μ	99,0	13,4	37,0	8,1	0,44
	σ	46,2	9,5	14,3	13,2	0,54
	C V (%)	46,6	71,2	38,6	162,4	122,7
	M	260,0	51,0	85,0	78,0	2,88
	m	0,6	0,1	2,0	0,2	0,01
BARRO Poços perfurados 27 Poços desativados 3 (11,1%)	n	20	22	21	21	17
	μ	82,8	9,5	33,6	7,4	0,45
	σ	35,2	6,8	16,9	7,2	0,40
	C V (%)	42,5	77,2	50,3	97,2	90,9
	M	183,0	23,4	83,0	28,0	1,43
	m	37,0	0	13,0	0,02	0,04
JATI Poços perfurados 31 Poços desativados 11 (35,5%)	n	31	18	16	25	15
	μ	75,5	11,1	31,2	8,3	0,97
	σ	18,7	5,3	15,2	5,6	1,1
	C V (%)	24,7	47,6	48,7	68,4	113,4
	M	120,0	19,3	66,0	18,0	4,49
	m	50,0	3,4	8,0	0,1	0,01
PENAFORTE Poços perfurados 28 Poços desativados 11 (39,3%)	n	28	23	18	26	18
	μ	86,1	22,8	46,1	3,7	0,25
	σ	21,0	10,4	11,8	4,3	0,31
	C V (%)	24,4	45,4	25,6	116,2	120,0
	M	161,0	48,5	71,1	20,3	1,13
	m	60,0	10,0	28,9	0,5	0,02
NOVA OLINDA Poços perfurados 24 Poços desativados 8 (33,3%)	n	17	13	12	13	12
	μ	81,4	15,1	34,0	18,2	1,69
	σ	36,6	11,2	0	6,0	1,54
	C V (%)	44,9	74,2	-	33,3	91,1
	M	270,0	97,0	130,0	300,0	29
	m	6,0	1,0	34,0	3,0	0,58

(n - número de amostras, μ - média, σ - desvio padrão, C V - coef. de variação, M - máximo, m - mínimo)

Quadro IV.4.5 - Parâmetros estatísticos dos poços do Sistema Aquífero Inferior por município

000076

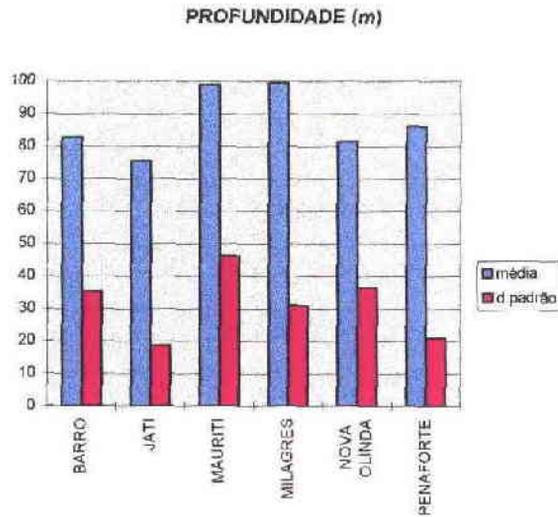


Figura IV.4.1 - Profundidade média dos poços perfurados no Sistema Aquífero Inferior.

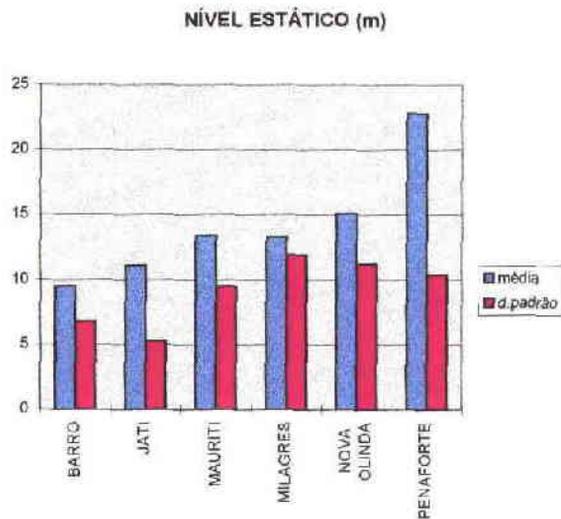


Figura IV.4.2 - Nível estático médio dos poços perfurados no Sistema Aquífero Inferior.

000077

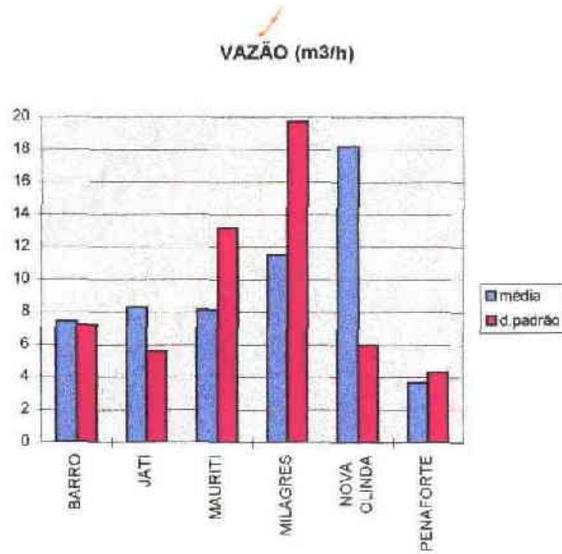


Figura IV.4.3 - Vazão média dos poços perfurados no Sistema Aquífero Inferior.

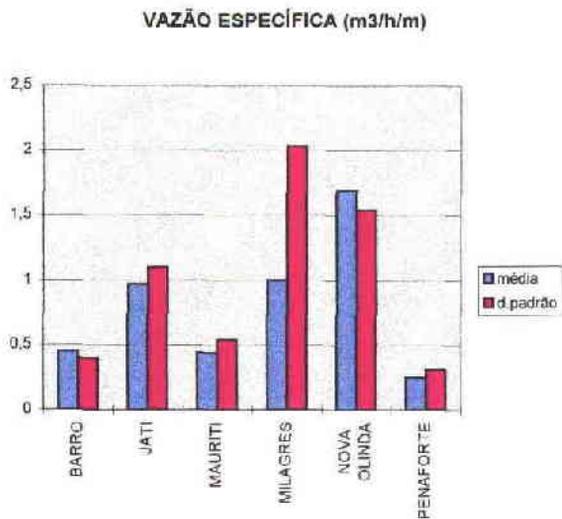


Figura IV.4.4 - Vazão específica média dos poços perfurados no Sistema Aquífero Inferior.

000078

Os dados apresentados nos dois quadros IV 4 4 e IV 4 5 e nas Figuras IV 4 1 a IV 4 4, revelam algumas feições como

- a) profundidade média desses poços conquanto tenha sido um pouco superior aos dos poços perfurados no sistema aquífero médio não permitiu uma penetração total no sistema aquífero, apesar disso, a penetração foi bem maior pois a espessura total do sistema aquífero inferior não deve ultrapassar dos 150m, no Quadro IV 4 3, pode-se constatar que a profundidade média dos poços testados nesse sistema aquífero foi de 135m Deve ser lembrado que a espessura média prevista para o aquífero Mauriti na zona livre é de 100 m e na zona confinada, de apenas 66 m, o que vem a configurar a participação no sistema aquífero, de zonas aquíferas do aquíclude Brejo Santo, no município de Mauriti o poço mais profundo com 260,0 m, atravessou a Formação Brejo Santo e parte do Mauriti e não atingiu o embasamento,
- b) os níveis estáticos nesse sistema aquífero são bem mais rasos do que no sistema aquífero médio, apresentando para todo o sistema a média de 13,8m, em alguns municípios como Jati e Barro esses níveis foram de 5,3m e 6,8m respectivamente em média,
- c) os rebaixamentos, entretanto, foram bem mais acentuados nesse sistema aquífero, pois para vazões menores os rebaixamentos foram maiores, redundando em vazões específicas muito baixas, em média da ordem de 0,7 m³/h m, tendo sido inferior a 0,5 m³/h m nos municípios de Mauriti, Barro e Penaforte,
- d) as vazões médias foram muito mais baixas que no sistema aquífero médio, alcançando a média global de 8,94 m³/h, que se reduz a 8 m³/h quando se retira os poços que bombeiam para os sistemas públicos, cujas médias atingem 33 m³/h, a grande diferença é mais ressaltada através dos poços públicos, em geral mais bem construídos, enquanto no sistema aquífero médio, a média desses poços fica em 148 m³/h, tendo o máximo alcançado 300 m³/h, nesse sistema aquífero esses poços apresentam em média 22% da vazão daqueles, e o máximo de 147 m³/h,
- e) do total de 321 poços perfurados nesse sistema aquífero, 71 (22,1%) se acham desativados, abandonados ou paralisados, restando apenas 250 em funcionamento

IV.4.6 - Reservas e Recursos Hídricos

Reservas

As reservas devem ser consideradas nos dois aspectos convencionais permanentes e reguladoras

As reservas permanentes são calculadas a partir das equações (1) e (2), apresentadas em IV 2 4 , para as condições de livre e confinado, respectivamente, lembrando que os componentes dessas equações, para o sistema aquífero em questão são

- T Área com o sistema confinado 2 830 km² (ou 2,83x10⁹ m²)
- F Área com o sistema aquífero livre 600 km² (ou 0,6x10⁹ m²)
- F Espessura média do sistema aquífero confinado 66 m
- T Espessura média do sistema aquífero livre 100 m
- T Coeficiente de armazenamento do sistema confinado 10⁻⁵
- T Porosidade efetiva do sistema livre 0,02 (2%)

Substituindo esses valores nas equações (1) e (2), vem

a) Sistema Aquífero Inferior confinado

$$R_{p1} = 2,83 \times 10^9 \times 66 \times 10^{-5} = 1,86 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ (água sob pressão)}$$

$$R_{p2} = 2,83 \times 10^9 \times 66 \times 0,02 = 3,73 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ (água contida nos poros)}$$

$$R_{p(cf)} = 1,86 \times 10^6 + 3,73 \times 10^9 = 3,731 \times 10^9 \text{ m}^3$$

b) Sistema Aquífero Inferior livre

$$R_{p(lv)} = 600 \times 10^6 \times 100 \times 0,02 = 1,2 \times 10^9 \text{ m}^3$$

c) Reserva Permanente do Sistema Aquífero Inferior:

$$R_p = R_{p(cf)} + R_{p(lv)} = (3,7 + 1,2) \times 10^9 = 4,9 \times 10^9 \text{ m}^3$$

Quanto as reservas reguladoras, correspondem à recarga do sistema aquífero já avaliada em IV 4 2. no valor de $17,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, equivalente a apenas 0,3% das reservas permanentes

Recursos Explotáveis

A disponibilidade potencial do sistema aquífero corresponde a própria reserva reguladora ou recarga, avaliada através da vazão de escoamento natural, mais a contribuição fluvial, o que totaliza $17,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, esse volume disponível seria considerando apenas a preservação das reservas permanentes, isto é, sem produzir depleção nessas reservas

A preservação das descargas de base da drenagem superficial é considerada apenas na disponibilidade virtual, a contribuição para o Riacho dos Porcos e seus afluentes é estimada como da ordem de $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o que reduz a disponibilidade virtual para $9,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

A disponibilidade instalada implica no máximo que os poços perfurados no aquífero poderiam retirar em regime de exploração de 24/24h, os 250 poços ora utilizados no sistema aquífero, com uma vazão média de $8 \text{ m}^3/\text{h}$ em regime máximo de exploração, captariam um total de $17,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, que somados à descarga de $2,63 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ dos poços públicos também em regime de 24/24h, daria um total de $20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, superando a disponibilidade virtual em 75%

Quando se calcula a disponibilidade efetiva que representa a real exploração, com regime de 20/24h para os poços públicos e 2/24h para os particulares, esses valores passam para $2,19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ para os primeiros e $1,46 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ para os segundos, ou, $3,65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ no total, o que corresponde a 38,4% da disponibilidade virtual

IV.4 7 - Qualidade da Água do Sistema Aquífero Inferior

Igualmente ao que ocorreu no estudo hidroquímico do Sistema Aquífero Médio, para esse sistema se dispunha apenas de 4(quatro) análises, tendo sido então coletadas e analisadas mais 25 (vinte e cinco) amostras, distribuídas nos municípios de Milagres (8), Mauriti (15) e Barro (2)

Os valores médios dos resíduos secos, dessas análises antigas e novas, por município, são apresentados no Quadro IV 4 6

Município	Análises antigas		Análises novas		Total	
	Quant.	R. S.*	Quant.	R. S.*	Quant.	R. S.*
	mg/l		mg/l		mg/l	
Milagres	0	-	8	197,07	8	197,07
Mauriti	0	-	15	208,43	15	208,43
Barro	1	87,00	2	162,50	3	137,33
Penaforte	3	291,33	0		3	291,33
Total quantitativo	4		25		29	
Média	240,24		201,12		206,51	

*R. S. -Resíduo Seco

Quadro IV.4.6 - Análises físico-químicas das águas do Sistema Aquífero Inferior na Região do Cariri - CE

Constata-se que todas as águas desse sistema aquífero são de excelente qualidade química, com sólidos totais da ordem de 200 mg/l, muito abaixo do limite máximo de potabilidade que é de 1.000 mg/l.

Quanto aos valores por município dos cátions e ânions são apresentados no Quadro IV.4.7, enquanto no Catálogo de Poços são mostrados esses valores para os respectivos poços.

Municípios	Valores das determinações dos parâmetros químicos (mg/l)							
	Resíduo Seco	Cloretos	Carbon.+ Bicarbon.	Sulfato	Cálcio	Magnési	Sódio	Potássio
Milagres	197,07	38,57	72,71	13,71	10,86	13,43	24,36	5,71
Mauriti	208,43	22,30	100,00	11,56	9,00	12,20	32,50	3,70
Barro	162,50	40,00	57,00	10,00	7,50	16,00	13,50	11,50
Média	201,12	30,15	85,42	12,19	8,53	13,05	27,50	5,26

Quadro IV.4.7 - Valores médios do resíduo seco, cátions e ânions das águas analisadas no Sistema Aquífero Inferior na Região do Cariri - CE.

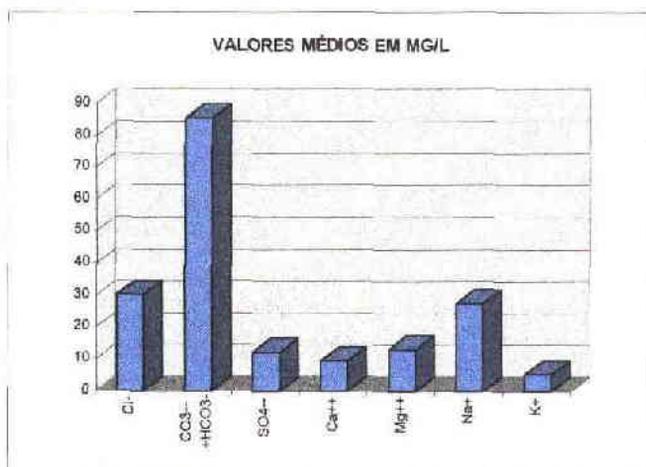
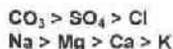


Figura IV 4.5 - Representação gráfica dos valores médios de ânions e cátions das águas do Sistema Aquífero Inferior.

As águas desse sistema aquífero enquadram-se na classificação iônica de bicarbonatada sódica, com as seguintes relações iônicas:



A diferença da água desse sistema para o aquífero médio, é a inversão entre os cátions cálcio e magnésio; ao que tudo indica, o predomínio do cálcio no sistema aquífero médio se deve a influência da dissolução da gipsita (sulfato de cálcio) e calcário (carbonato de cálcio) quando a água das fontes, antes de se infiltrarem no aquífero, percolam por sobre essas camadas.

No que se refere a qualidade da água para irrigação, a classificação do U.S.S.L. para o sistema aquífero acusou o seguinte resultado:

	C ₁ - S ₁	C ₂ - S ₁
Milagres	57,1 %	42,9 %
Mauriti	70,0 %	30,0 %
Barro	50,0 %	50,0 %
Média	63,1 %	36,9 %

Verifica-se que a água se presta para irrigação de qualquer tipo de cultura

Nos mapas de resíduo seco, pode-se verificar que na região ao norte de Missão Velha (folha Crato) os R S ficam em torno dos 100 mg/l enquanto na região de Milagres - Mauriti, variam entre 100 e 200 mg/l, podendo eventualmente chegar até 400 mg/l (poço 762 em Mauriti)

IV 5 - OS AQUICLUDES

Foram inicialmente classificados como aquícludes, isto é, formações praticamente impermeáveis, a Formação Santana e a Formação Brejo Santo, a primeira do Albiano (Cretáceo Médio) e a segunda do Malmoniano (Jurássico Superior)

Apesar do caráter eminentemente pelítico dessas formações geológicas, ocorrem reduzidas e espacialmente limitadas intercalações arenosas, que são eventualmente explotadas como aquíferas

No caso da Formação Santana, constituída por margas e folhelhos no topo (membro Romualdo), calcário e gipsita na porção intermediária (membro Ipubi) e calcários com marga na base (membro Crato), com uma espessura total da ordem de 200m, a predominância de materiais impermeáveis é absoluta. Todavia, algumas ocorrências lenticulares de arenito podem ocorrer, sendo disso testemunho o poço Cavaco, no município de Araripina. Nesse poço, que atingiu a Formação Santana aos 18m de profundidade e nela permaneceu até o fim da perfuração aos 100,0m de profundidade, ocorre uma camada de "arenito de granulometria média a grosseira, calcífera, selecionamento regular, grãos de quartzo sub-angulosos a sub-arredondados, cor creme", dos 42m aos 51m de profundidade. Acima dessa camada ocorrem folhelhos calcíferos de cor castanha e abaixo dela, calcário, gipsita e argila, tudo indicando situar-se essa faixa arenosa entre os membros Romualdo e Ipubi. Desse poço se conhece apenas um dado sobre a vazão, que seria de 2 m³/h

Ainda na região oeste, no município de Ipubi, existe um poço perfurado no alto da chapada, na localidade de Serrolândia, cuja profundidade total atingiu 244m. Nele ocorrem camadas arenosas dentro da sequência de folhelhos calcíferos da Formação Santana e na base desses folhelhos alternando com delgadas camadas de calcário. Embora a espessura total desses arenitos atinja cerca de 50m, a cimentação calcífera a torna um aquífero pobre, fornecendo uma vazão de apenas 1.18 m³/h para rebaixamento de 40m (126,2m de nível estático e 166,2m de nível dinâmico)

Assim, a Formação Santana pode oferecer intercalações arenosas porém isso não a enquadra como aquífero e sim como aquíclude, pois 90% a 98% da sua composição é pelítica. Além do mais, essas camadas ou "zonas aquíferas" contidas dentro de espessas camadas impermeáveis impossibilita qualquer recarga ou renovação das suas águas, tratando-se provavelmente de águas conatas

Quanto a Formação Brejo Santo, que ocorre na região do Cariri, sobretudo na porção mais oriental (Milagres e Mauriti), apresenta ocasionalmente intercalações arenosas próximas à sua base que interagem com a Formação Mauriti subjacente, fazendo com que a espessura total deste aquífero apareça um pouco aumentada, daí ter sido tratado como um sistema aquífero. Todavia, não há nenhum poço explotando unicamente essas camadas arenosas da base do aquíclude Brejo Santo, que é constituída por um pacote de folhelhos e siltitos vermelhos a arroxeados que chegam a ultrapassar de 400m de espessura

Dessa maneira, continuará a formação como um todo a ser tratada como um aquíclude, funcionando apenas a sua base como uma interface para o aquífero sotopost

00 1082

V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

V.1. CONCLUSÕES

- a) O mapeamento geológico associados com as interpretações geofísicas, permitiu a individualização das unidades litoestratigráficas, bem como dos grandes alinhamentos estruturais, evidenciando extensos falhamentos, responsáveis pela estruturação da bacia em "hosts" e "grabens",
- b) foram cadastrados 1 485 poços tubulares na bacia sedimentar do Araripe, dos quais 76% situam-se no estado do Ceará, 20% no estado de Pernambuco e apenas 4% no estado do Piauí,
- c) os exutorios naturais (fontes) cadastradas, em número de 344, são também distribuídos em maior proporção no Estado do Ceará, com 85%, seguido de Pernambuco com 12,5% e o Piauí, com apenas 2,5%,
- d) a bacia sedimentar do Araripe ficou assim dividida em função das condições hidrogeológicas
 - **Sistema Aquífero Superior** (formações Exu e Arajara), com \pm 320m de espessura
 - **Aquiclude Santana** - \pm 180m de espessura
 - **Sistema Aquífero Médio** (formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha), com \pm 500m de espessura
 - **Aquiclude Brejo Santo**, com \pm 400m de espessura
 - **Sistema Aquífero Inferior** (Formação Mauní e parte basal da Formação Brejo Santo) com \pm 100m de espessura
- e) o agrupamento em sistemas aquíferos foi fundamentado em primeiro lugar, na similitude de características hidrogeológicas que proporcionava uma interação entre aquíferos justapostos e, em segundo, devido a ausência de dados de poços profundos e com descrições litológicas confiáveis, que permitissem uma distinção precisa entre as formações aquíferas,
- f) além do mapa geológico nas escalas de 1 250 000 de toda a bacia e 1 100 000 (folhas de Crato, Milagres, Jardim e São José do Belmonte) foram elaborados os mapas piezométricos, de profundidade da água, de iso-transmissividades e de resíduo seco, na escala 1 100 000, os quais foram de muita utilidade para a avaliação de parâmetros dimensionais dos sistemas aquíferos e da qualidade da água ao longo de toda a bacia,
- g) os movimentos tectônicos ocorridos até o Cretáceo Inferior produziram falhamentos intensos na bacia, com um escalonamento de blocos elevados e afundados, resultando em duas sub-bacias Feira Nova a oeste. e Carri a leste, separadas por um alto estrutural denominado de Alto Dom Leme, a primeira sub-bacia, localizada numa faixa de 70 km de extensão por 28 km de largura e direção NE-SW, situa-se entre Ipubi(PE) e Santana(CE). não sendo explorada por poços em virtude da grande profundidade em que se encontram os aquíferos e a baixa demanda hídrica na área, a segunda sub-bacia, acha-se intensamente explorada, pois compreende todo o vale do Carri, onde se situam as principais cidades do sul do estado do Ceará, tais como Juazeiro do Norte, Crato, Barbalha, Brejo Santo, etc ,
- h) Sistema Aquífero Superior, apesar de possuir, em toda a área da chapada (cerca de 7 500km²), um volume de sedimentos da ordem de 1,8x10¹² m³, atua como reservatório com apenas 15% desse volume, tendo em vista a saída da água como exutório nas bordas da chapada, cujo volume chega a cerca de 45 milhões de metros cúbicos ao ano,
- i) as reservas permanentes do Sistema Aquífero Superior foram calculadas em 10,2x10⁹ m³, enquanto as reservas reguladoras ou disponibilidades potenciais foram estimadas em 100 milhões de metros cúbicos ao ano, quanto às disponibilidades virtuais, são estimadas em

55,5x106 m3/ano, não existem as disponibilidades instalada e efetiva dos poços, por não ocorrer praticamente poços explotando esse sistema aquífero, em virtude da elevada profundidade dos níveis d'água, em geral, superiores a 150m,

- j) o Sistema Aquífero Médio possui na sub-bacia de Feira Nova um volume total de sedimentos da ordem de 400x109 m3, com espessura média de 210 m, enquanto na sub-bacia do Carril, esse volume passa a 835x109 m3 com espessura média da ordem de 295 m, nessa última sub-bacia, existem quatro grabens e três horsts, numa área total de 2 830 km2, proporcionando em cada estrutura elevada ou deprimida, diferenciados volumes de sedimentos, desde 72x109 m3 no Horst de Barbalha, ate 376x109 m3 no Graben de Jenipapeiro,
- k) os principais parâmetros hidráulicos calculados para esse sistema, apresentaram os seguintes valores
- vazão de escoamento natural (VEN) 109,74x106 m3/ano,
 - taxa de infiltração média 5,3% da precipitação,
 - coeficiente de transmissividade de 3x10-4 a 8x10-3 m2/s (valor mais representativo de 5x10-3 m2/s),
 - coeficiente de permeabilidade 5x10-5 m/s (valor mais representativo),
 - coeficiente de armazenamento 2x10-4,
 - gradientes hidráulicos desde 6,25% (região de Crato) até 0,36% (na região de Milagres-Mauriti),
 - reservas permanentes 83,65x109 m3,
 - reservas reguladoras (disponibilidade potencial) 112x106 m3/ano,
 - isponibilidade virtual 72x106 m3/ano,
 - disponibilidade instalada 100x106 m3/ano,
 - disponibilidade efetiva 43x106 m3/ano (55,5% da disponibilidade virtual),
- l) os 807 poços que atualmente explotam esse sistema aquífero apresentam os seguintes parâmetros médios estatísticos

Parâm. estat.	Profund.	Nível estático	Nível dinâmico	Vazão	Vazão Específica
	(m)	(m)	(m)	(m3/h)	(m3/h/m)
Média	81,5	21,63	39,1	17,4	1,63
Desvio Padrão	30,9	14,8	18,1	33,0	3,13
Coef. de Variação (%)	37,9	68,5	46,4	194,1	192,0
Valor máximo	270,0	97,0	130,0	300,0	29,0
Valor mínimo	2,3	0,0	2,0	0,03	0,01

- m) a qualidade das águas desse sistema aquífero e muito boa, apresentando uma media de residuo seco de 232,5 mg/l, classificando-se como bicarbonatadas sódicas, com CO3 > SO4 > Cl e Na > Ca > Mg > K. quanto a classificação de uso para irrigação, apresentam 57,1% na classe C1 - S1. 38,1% na classe C2 - S1 e apenas 4,8% na classe C3 - S1, por região, o município de Crato é o que possui as melhores águas, com média de residuo seco de 166,0 mg/l, sendo em Abaiara os resultados mais elevados de R S , com média de 401,0 mg/l,
- n) o Sistema Aquífero Inferior possui na zona de confinamento, uma área de 2 830 km2, ocupando um volume de 186x109 km2, para uma espessura média da ordem de 66m, enquanto na área de recarga em que o sistema ocorre na forma de livre, a área superficial é de 600 km2 com espessura média de 100 m, e um volume de sedimentos de 60x109 m3, assim, o volume total de sedimentos do sistema aquífero inferior é da ordem de 246x109 m3,

o) os principais parâmetros hidráulicos calculados para esse sistema apresentaram os seguintes valores

- vazão de escoamento natural (VEN) $14,5 \times 10^6$ m³/ano
- taxa de infiltração média 1,9% da precipitação
- coeficiente de transmissividade de 3×10^{-4} m²/s (valor mais representativo)
- coeficiente de permeabilidade 4×10^{-6} m/s (valor mais representativo)
- coeficiente de armazenamento 10-5
- porosidade efetiva 0,02
- gradientes hidráulicos desde 3,3% (região de Juazeiro- MissãoVelha) até 0,43% (na região de Milagres-Mauriti)
- reservas permanentes $4,9 \times 10^9$ m³
- reservas reguladoras (disponibilidade potencial) $17,5 \times 10^6$ m³/ano
- disponibilidade virtual $7,5 \times 10^6$ m³/ano
- disponibilidade instalada 20×10^6 m³/ano
- disponibilidade efetiva $3,65 \times 10^6$ m³/ano (48,6 % da disponibilidade virtual,

p) os 321 poços perfurados nesse sistema aquífero apresentam os seguintes parâmetros médios estatísticos (com base em dados das fichas de perfuração)

Parâm. estat.	Profund.	Nível estático	Nível dinâmico	Vazão	Vazão Específica
	(m)	(m)	(m)	(m ³ /h)	(m ³ /h/m)
Média	93,3	13,8	36,4	8,9	0,68
Desvio Padrão	35,0	13,5	17,0	27,1	2,67
Coef. de Variação (%)	37,6	97,8	46,7	303,2	392,6
Valor máximo	260,0	60,0	90,0	147,0	11,9
Valor mínimo	0,6	0,0	2,0	0,02	0,01

- q) as águas desse sistema aquífero inferior são tão boas quanto as do sistema aquífero médio. com resíduo seco médio de 201.12 mg/l, sendo máximo na região de Mauriti com média de 208,43 mg/l e mínimo na região de Barro. com R S médio de 162,50 mg/l, são também do tipo bicarbonatada sódica, apresentando as seguintes relações $CO_3 > SO_4 > Cl$ e $Na > Mg > Ca > K$, quanto a classificação para irrigação apresentam 63,1% na classe C1 - S1 e 36,9% na classe C2 - S1,
- r) os aquícludes Santana e Brejo Santo podem eventualmente apresentar níveis arenosos em seu interior, porém são "zonas aquíferas" limitadas, sem qualquer expressão que possa caracterizar uma exploração sistemática,
- s) para que se chegue a resultados mais precisos da hidrogeologia da bacia do Araripe, serão a seguir, apresentadas algumas recomendações

000085

V.2 RECOMENDAÇÕES

- I Devem ser perfurados 6(seis) poços estratigráficos nas regiões de Crato - Juazeiro do Norte, Nova Olinda e Araripina - Ouricuri, com profundidades entre 500 e 1 000 m a fim de se detectar as reais espessuras dos aquíferos incluídos nos sistemas aquíferos definidos nesse estudo e serem analisadas com precisão as suas reais potencialidades,
- II devem ser instalados medidores de descarga de fontes para se proceder a um contínuo monitoramento a fim de que se possa detectar possíveis variações sazonais ou anuais dessas descargas,
- III também devem ser instalados infiltrômetros no topo da chapada e pediplanicie com a finalidade de avaliar as reais taxas de infiltração.
- IV que seja efetuada uma campanha de medição sistemática dos níveis de água em poços piezômetros a diferentes profundidades, a fim de aferir por outro processo, o cálculo de reservas dos aquíferos,
- V cuidados especiais deverão ser observados na preservação do aquífero no que tange a proteção contra a poluição, considerando que praticamente toda a extensão da superfície da região do Cariri atua como área de recarga por infiltração direta das precipitações pluviométricas, deverão ser elaboradas normas específicas que evitem a infiltração de substâncias nocivas, tanto orgânicas como químicas, tais como efluentes de esgotos, resíduo concentrado (chorume) de lixões, agro-tóxicos (fertilizantes e inseticidas), resíduos químicos industriais, etc,
- VI se execute uma campanha de esclarecimento público sobre o uso das águas subterrâneas a fim de se evitar desperdícios em poços surgentes, poluição por águas superficiais em zonas urbanas e interferências entre poços perfurados muito próximos um do outro,
- VII seja igualmente efetuada uma campanha junto às empresas de perfuração de poços, no sentido de se obter melhor qualidade na sua execução bem como na apresentação dos relatórios de poços,
- VIII as fontes sejam aproveitadas mediante um controle mais efetivo que assegure o uso mais adequado desse importante manancial.
- IX sejam cumpridas todas as normas que regulamentem o uso das águas subterrâneas a partir da aprovação das leis federal e estadual

VI BIBLIOGRAFIA

- 1 **Agassis, J. L. R.** - 1841 On the fossil fishes found by Mr Gardner in the Province of Ceará in the North of Brazil London Philosophical Journal Edimburg, England, v 70, p 82-84
- 2 **Almeida, F. F. M. de** - 1967 Origem e evolução da plataforma brasileira Rio de Janeiro, DNPM/DGM Bol 242
- 3 **Almeida, F. F. M. de** - 1969 Diferenciação tectônica da plataforma brasileira XXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, 1969 Anais Salvador, SBG p 29-46
- 4 **Assine, M. L.** - 1990 Sedimentação e tectônica na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil UNESP/IGCE Rio Claro, 124 p Dissertação de Mestrado
- 5 **Bermound, G ; Campello, M. S. C.; Maia, M. C. B.; Le Duc, P.; Godefroy, R.; Nóbrega, R.; Pontes, V.; Nunzio, V. Di** - 1967 - Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe - Hidrologia - Vol IV - SUDENE, 294 p
- 6 **Berthou, P.Y. et. al** - 1994 From siliciclastic to carbonated sedimentation along the Rio da Batateira Section (Araripe Basin, Crato, NE, Brazil) Type sections description for "Fundão", "Rio da Batateira" and "Crato" lithostratigraphic units Boletim do 3º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil UNESP, Rio Claro, p 127-130
- 7 **Beurlen, K.** - 1963 Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe XVII Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, (PE) Publicação Especial, Recife, SBG p 47
- 8 **Beurlen, K.** - 1971 As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana, na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil) Rio de Janeiro Anais da Academia Brasileira de Ciência, Suplemento nº 43, p 411-415
- 9 **Bonfim, L. F. & Pedreira, L. F. C.** - 1990 Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil Lençóis (Folha SD 24-V-A-V), Estado da Bahia Brasília DNPM/CPRM 130 p, Mapas
- 10 **Braun, O. P.** - 1966 Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe Rio de Janeiro DNPM/DGM (Boletim 236)
- 11 **Brito, I. M. & Campos, D. de A.** - 1983 The Brazilian Cretaceous Zitteliana, Munehen, v 10, p 277-283
- 12 **Brito Neves, B. B. de** - 1975 Regionalização geotectônica do precambriano nordestino São Paulo, Instituto de Geociências - USP (tese de doutorado)
- 13 **Brito Neves, B. B. de** - 1990 A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional 1º Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste Crato (CE), DNPM - PICG/PROJ 242
- 14 **Caldasso, A. L. da S.** - 1967 (a) Geologia da quadrícula 093E, Folha Crato SUDENE, Série Geologia Regional, nº 4, 47 p
- 15 **Caldasso, A. L. da S.** - 1967 (b) Geologia da quadrícula 094E, Folha Crato SUDENE, Série Geologia Regional, nº 3, 65 p
- 16 **Cavalcanti, V. M. M. & Viana, M. S. S.** - 1992 Revisão estratigráfica da Formação Missão Velha, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil Anais da Academia Brasileira de Ciência, 64 (2) 1-20

- 17 **Dantas, J. R. A.** - 1974 Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo Folha Jaguaribe (SB-24) e Fortaleza (SA-24) Texto Explicativo Brasília, DNPM 95 p
- 18 **Dantas, J. R. A.** - 1980 Mapa Geológico do Estado de Pernambuco Recife, DNPM-SICOM/PE (Serie Mapas e Cartas de Síntese 1 Seção Geologia 1)
- 19 **Gasparly, J. & Anjos, N. F. R. dos** - 1964 Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte-CE Recife, SUDENE, Série Hidrogeologia nº 3
- 20 **Gasparly, J.; Anjos, N. da F. R. dos; Rebouças, A. da C.; Manoel Filho, J., Leal, O.; Garau, J., Guillot, P.** - 1967 - Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe Hidrogeologia, Recife, SUDENE, ASMIC, Vol 7, 250 p
- 21 **Ghignone, J. I. et. al.** - 1986 Estratigrafia e estrutura das bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia Anais Goiania SBG v 1, p 271-285
- 22 **Guimarães, J. T. & Pedreira, L. F. C.** - 1990 Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil Utinga (Folha SD 24-V-A-II) Estado da Bahia Brasília DNPM/CPRM, 141 P, Mapas
- 23 **Hashimoto, A. T. et. al.** - 1987 O neo-Alagoas nas bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil) caracterização estratigráfica e paleoambiental Revista Brasileira de Geociências, 17 (2) p 118-122
- 24 **Jordan, D. S. & Branner, J. C.** - 1908 The Cretaceous fishes of Ceara, Brazil Smithsonian Misc Collects v 52, 30 p
- 25 **Lima, M. R. de** - 1977 Estudo palinológico preliminar de um folhelho betuminoso da Formação Missão Velha, Chapada do Araripe I Encontro Paleob Palinol. Atas, s 1, s ed, p 136-139
- 26 **Lima, M. R. de** - 1978 Estudo palinológico preliminar de um folhelho betuminoso da Formação Missão Velha, Chapada do Araripe Boletim USP, Instituto de Geociências, São Paulo 9 57 152
- 27 **Lima, M. R. de** - 1979 Considerações sobre a subdivisão estratigráfica da Formação Santana, Cretáceo do Nordeste do Brasil Revista Brasileira de Geociências, 19 (2) 116-121
- 28 **Mabesoone, J. M. & Tinoco, I de M** - 1973 Paleogeology of the Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil) Paleogeography, Paleoclimatology, Paleogeology, 14 97-118
- 29 **Martill, D. M. & Wilby, P. J** - 1993 Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil 3 Stratigraphy London, Paleontological Association Field Guide To Fossil, number 5, p 20-50
- 30 **Moraes, L. J. et. al.** - 1963 Reconhecimento fotogeológico da região Nordeste do Brasil Folha Crato SB 24 U Rio de Janeiro - DNPM/DFPM
- 31 **Moraes, J. F. de et. al.** - 1976 Projeto Santana Relatório Final da Etapa I Recife, DNPM/CPRM
- 32 **Pedreira, L. F. C. & Margalho, R. D.** - 1990 Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil Mucugê (Folha SD 24-V-C-II), Estado da Bahia Brasília DNPM/CPRM 122 p, Mapas
- 33 **Ponte, F. C.** - 1991(a) Implantação tectônica das bacias sedimentares mesozóicas do Interior do Nordeste do Brasil Rio de Janeiro, PETROBRÁS - CENPES - DIVEX - SEBIPE Relatório interno
- 34 **Ponte, F. C.** - 1991(b) Arcabouço estrutural e evolução tectônica da Bacia Mesozóica do Araripe, no Nordeste do Brasil Rio de Janeiro PETROBRÁS - CENPES - DIVEX -SEBIPE Relatório interno

- 35 **Ponte, F. C** - 1991(c) Sistemas deposicionais na Bacia do Araripe Rio de Janeiro PETROBRÁS - CENPES - DIVEX - SEBIPE Relatório interno
- 36 **Ponte, F. C.** - 1992(a) Sistemas deposicionais na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil 2º Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras, Resumos Expandidos Rio Claro, UNESP p 81-83
- 37 **Ponte, F. C** - 1992 (b) Origem e evolução das pequenas bacias cretácicas do interior do Nordeste do Brasil 2º Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras Resumos expandidos Rio Claro, UNESP, p 55-58
- 38 **Ponte, F. C. & Appi, C. J** - 1990 Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Anais Natal (RN) SBG v 1 p 211-226
- 39 **Ponte, F. C. et. al.** - 1971 Evolução paleogeográfica do Brasil Oriental e da África Ocidental Salvador PETROBRÁS - CEPES - SETUP - BA p 73
- 40 **Ponte, F. C. et. al.** - 1991 Geologia das Bacias Sedimentares Mesozóicas do Interior do Nordeste do Brasil Rio de Janeiro. PETROBRÁS - CENPES - DIVEX - SEBIPE
- 41 **Ponte Filho, F. C. & Ponte, F. C.** - 1992 Caracterização estratigráfica da Formação Abaiara, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, 2º Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras Resumos Expandidos Rio Claro, UNESP, p 61-63
- 42 **Silva, A. J. P e** - 1994 Relatório geológico de poço Poço - 4-BO-1-PE. DNPM, 1994, PETROBRÁS, DEBAR,/DIGEO/SERAV Natal
- 43 **Silva, M. A. M. da** - 1983 The Araripe Basin, Northeastern Brazil Regional geology and facies analysis of a lower Cretaceous evaporitic depositional complex Columbia University, Graduate Sch of Arts and Sc New York, U S A p 287 Ph D Thesis
- 44 **Silva, M. A. M. da** - 1986 Lower Cretaceous sedimentary sequences in the Araripe Basin, Northeastern Brazil Revista Brasileira de Geociências SBG São Paulo 16(3) 311-319
- 45 **SILVA TELES, J. R. et. al** - 1991 Bio-cronoestratigrafia e paleoecologia da Bacia do Araripe In PONTE, F. C. et al - 1991 Geologia das Bacias Sedimentares Mesozóicas do Interior do Nordeste do Brasil Rio de Janeiro. PETROBRÁS - CENPES - DIVEX - SEBIPE
- 46 **Small, M. L.** - 1913 Geologia e suprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí Rio de Janeiro IFOCS (Série 1D, Publicação 25)
- 47 **Soares, P. C. et. al.** - 1978 Tectonic cycles and sedimentary in the Brazilian intracratonic basins Geol Soc American Bull v 89, p 181-191
- 48 **Veiga, P.** - 1966 Geologia da quadricula de Juazeiro do Norte (E-082), Folha Crato, Ceará Recife, SUDENE (Série Geologia Regional 1)
- 49 **VIANA, F. V. et. al.** - 1971 Revisão estratigráfica da Bacia do Recôncavo-Tucano Rio de Janeiro, Bol Tec PETROBRÁS 14 (3/4 157-192)

APÊNDICE

000090

MODELO ISOTÓPICO DA DINÂMICA DOS AQÜÍFEROS DO CARIRI

SANTIAGO, M. F.; MENDES FILHO, J.; SILVA, C. M. V. S
DEPARTAMENTO DE FÍSICA - UFC

FRISCHKORN, H.
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA - UFC



VI.1 - RESUMO

Medimos os isótopos ambientais carbono-14, oxigênio-18 e trício e a condutividade elétrica nos aquíferos localizados na região do Cariri, a cerca de 600 km da capital Fortaleza. A interpretação dos dados permitiu formular um modelo fenomenológico capaz de identificar e descrever a circulação e mistura de paleoáguas infiltradas na Chapada e armazenadas diretamente nas diversas Formações aquíferas, com águas infiltradas diretamente no Vale nestas Formações. Na zona de recarga direta este modelo permite separar as águas das aluviões das águas da Formação Rio da Batateira. Os resultados demonstram (1) que na Formação Exu, na Chapada, a recarga é rápida e depende da variabilidade das precipitações. Identificamos outros exutórios na Chapada a partir de fontes em diferentes Formações por suas diferentes altitudes e condutividades, (2) que no Vale de Cariri as águas captadas do aquífero Rio da Batateira são uma mistura de recarga direta pelas chuvas, (3) que as águas armazenadas nas Formações Missão Velha e Mauriti são misturas de paleoáguas com águas recentes, porém revelam taxas diferentes de mistura, (4) os dados de carbono-14 e condutividade elétrica revelam diferentes níveis de mineralização das águas nas Formações Missão Velha e Mauriti.

VI.2 - INTRODUÇÃO

A região do Cariri (Figura 1), no sul do Estado do Ceará, no nordeste semi-árido do Brasil, é uma espécie de oásis em uma região predominantemente cristalina. Ela compreende uma chapada, a Chapada do Araripe, com altitude média de 750m e área de cerca de 7 500km² e uma bacia sedimentar, o Vale do Cariri, medindo cerca de 3 500km², no sopé norte da Chapada. Uma descrição da Geologia da área encontra-se em outras contribuições deste volume.

Os recursos hídricos subterrâneos são o mais importante agente econômico da região que é a segunda mais importante economicamente do Estado. Ela é a única região que se abastece exclusivamente com água subterrânea para uso doméstico, industrial, criação de gado e agricultura explorando principalmente, em larga escala a irrigação para produção de cana de açúcar.

Nossa pesquisa na área foi iniciada devido a denúncia popular da redução da descarga das fontes que emergem da Chapada e do rápido rebaixamento dos níveis de água no Vale secando poços rasos privados, principalmente no bairro de Lagoa Seca, em Juazeiro do Norte.

Baseados em dados de isótopos ambientais (¹⁴C, ¹⁸O e ³H) e de condutividade elétrica caracterizamos as águas dos diferentes aquíferos da região formulando um modelo de funcionamento destes aquíferos e sua dinâmica.

VI.3 - DESCRIÇÃO DA ÁREA

A área de nosso estudo compreende principalmente os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha com população de um milhão de habitantes. Nesta parte do Cariri a chuva anual média é cerca de 1 000mm superando o valor na costa. Diferindo do restante do Estado, o Cariri é favorecido com dois distintos regimes, um máximo em janeiro decorrente de eventos frontais e ciclônicos penetrando pelo sul e outro máximo principal, em abril, relacionado com o movimento da Zona de Convergência Intertropical.

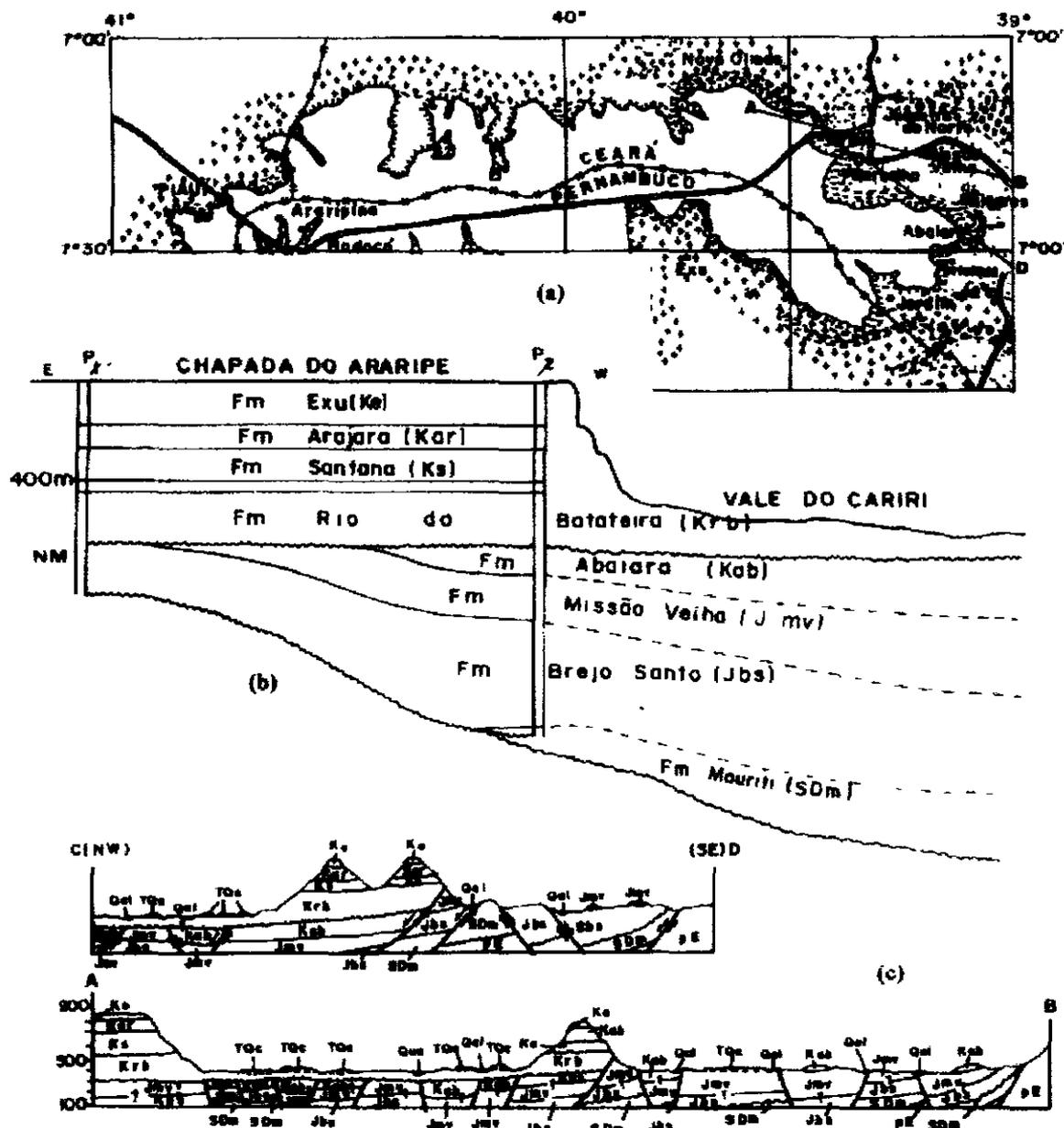


FIGURA 1 a) Região do Cariri b) Coluna estratigráfica esquemática c) Cortes AB e CD em 1a

A perfuração pela PETROBRÁS de um poço na Chapada no município de Araripe-CE (P1 na figura 1b) mostrou a sequência das oito Formações Um segundo poço também na Chapada, perfurado pelo DNPM no município de Bodocó-Pe (P2 na figura 1b), a 15 km a sudoeste do primeiro mostrou a ausência de três delas

Devido aos solos arenosos a infiltração na Chapada é muito rápida e não existe um sistema de drenagem superficial Poucas horas após as chuvas não encontramos água acumulada na superfície Não há poços de produção na Chapada com exceção de um na Fazenda Janaguba e outro no Colégio Agrícola perto da escarpa No entanto, devido a presença de camadas argilosas há alguns aquíferos suspensos explorados por cacimbas

Os contatos Exu/Arajara e Arajara /Santana definem o horizonte das 120 fontes mais importantes que emergem da escarpa da Chapada Elas aparecem em grupos onde a erosão diminui a resistência ao fluxo de água A descarga total é aproximadamente $50\text{m}^3/\text{h}$ (GASPARY et al, 1967)

A região do Cariri é caracterizada por um intenso fraturamento tectônico A equipe do Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe (1996) estudando os aspectos geológicos

desta região mostram a existência de grabens e horsts que se sucedem como ilustrados ao longo de dois cortes AB e CD da figura 1

A exploração dos aquíferos no Vale é intensa. Os poços por nós amostrados têm profundidades entre 32m e 240m, com vazão atingindo até 300m³/h captando água em mais de um aquífero. Estes poços de exploração comercial e agrícola são frequentemente agrupados em baterias que se localizam, preferencialmente, dos rachos e rios

V.4-ISÓTOPOS AMBIENTAIS ESTÁVEIS E RADIOATIVOS NA HIDROLOGIA

A aplicação de técnicas isotópicas na Hidrologia teve início no final da década de cinquenta e tem-se intensificado nas três últimas décadas. Elas podem fornecer informações que, às vezes, não são obtidas por outras técnicas, aliando-se ao fato que o seu custo é frequentemente menor em relação às técnicas clássicas

A pesquisa com isótopos ambientais estáveis (¹⁸O/¹⁶O e ²H/¹H) acompanha pequenas variações nas concentrações dos isótopos durante o ciclo hidrológico para traçar a "história" da água. Com os isótopos radioativos carbono-14 e trício determinamos as constantes de tempo neste ciclo. A marcação com traçadores naturais não é controlada antropicamente mas pode ser observada e interpretada para resolver problemas de hidrologia

VI.4 1 - Oxigênio-18

A concentração média de oxigênio-18 em águas naturais é de 0,2%, muito pequena em relação ao valor de 99,67% para o oxigênio-16, o mais abundante. Estas concentrações variam na faixa de 1880 x 10⁻⁶ a 2010 x 10⁻⁶ (MOSER, 1980). As variações são expressas como diferenças (δ) em relação à razão isotópica da água do oceano que é representada pelo padrão SMOW (Standard Mean Ocean Water) -CRAIG (1961)- sendo,

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{amostra}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{padrao}}} - 1 \right] 10^3, \text{ onde}$$

os valores positivos indicam conteúdos de oxigênio-18 mais altos do que o da água do mar. As medidas são feitas em espectrômetro de massa depois de preparadas na forma de CO₂

A concentração de oxigênio-18 nas chuvas depende da temperatura da atmosfera durante de sua formação. Depois da infiltração através da zona não saturada do solo a razão isotópica se conserva (somente no caso de águas termais pode ocorrer troca de oxigênio entre as rochas e a água)

Como as precipitações durante o ano não infiltram nas mesmas proporções, a composição isotópica na zona não saturada pode ser ligeiramente diferente da composição isotópica média da precipitação

No caso de mistura de duas águas de diferentes origens o valor de δ da mistura é a média ponderada dos valores de δ dos componentes indicando assim, a razão de mistura

VI.4 2 - Carbono-14

O isótopo radioativo do carbono, o carbono-14 emite radiação β⁻ com energia máxima de 156keV e tem meia vida de 5 730 ± 30 anos (5ª Conferência sobre Datação por Radiocarbono em Cambridge, 1962). É produzido na alta atmosfera pela interação dos raios cósmicos com o nitrogênio-14 e se oxida formando CO₂ que se mistura com o CO₂ contido na atmosfera. Devido a esta mistura, o CO₂ da atmosfera tem uma atividade específica de 14 dpm por grama de carbono

A datação da água subterrânea pelo método do carbono-14 foi proposta pela primeira vez em 1957 por Munnich baseando-se no fato de que o CO₂ no solo, proveniente da respiração e da degradação das plantas contém carbono-14 vindo do atmosfera. Este CO₂ biogênico dissolve-se na água de infiltração, sob a forma de bicarbonatos que são carregados ao aquífero onde o conteúdo de

carbono-14 diminui por decaimento radioativo. A fração que permanece é uma medida do tempo decorrido desde a infiltração.

Como a água que infiltra contém CO_2 dissolvido, ela dissolve carbonatos minerais do solo que em geral não contém carbono-14, de modo que a água que alcança o nível piezométrico contém carbono dissolvido com uma atividade específica de carbono-14 inferior a do CO_2 biogênico do solo.

A concentração de carbono-14 geralmente é expressa em percentagem do conteúdo moderno de carbono-14 no CO_2 da atmosfera, pMC. A concentração moderna é obtida com o padrão ácido oxálico distribuído pelo NBS. A medida da atividade do carbono-14 pode ser feita com contadores proporcionais a gás ou com detectores de cintilação líquida, e as amostras, dependendo do método de detecção, geralmente são transformadas em CO_2 , acetileno ou benzeno.

VI.4.3 - Trício

O trício é o isótopo radioativo do hidrogênio, emite radiação β^- de energia máxima de 18,1 keV e tem meia-vida de 12,4 anos. O conteúdo de trício natural é expresso em unidades de trício (TU) onde 1 TU corresponde a uma concentração de 1 átomo de trício para 10^{18} átomos de hidrogênio comum.

O trício é produzido naturalmente na atmosfera pela interação da radiação cósmica com o nitrogênio e o oxigênio e a partir de 1953 tem sido produzido em larga escala pelo homem através dos testes termonucleares e em quantidades menores pelo uso da energia nuclear.

A radiação cósmica produz uma concentração de cerca de 3 TU no hemisfério sul. Depois de 1953 a concentração cresceu por processos antropogênicos atingindo em 1963 cerca de 1 000 TU e a partir de então, o conteúdo nas precipitações vem diminuindo como consequência da moratória estabelecida para a explosão de dispositivos termonucleares na atmosfera.

O trício nas precipitações apresenta considerável variação geográfica. A troca isotópica entre o vapor d'água na atmosfera e a água do mar com baixa concentração de trício produz chuvas com menores valores deste no oceano e no litoral do que no continente. Atualmente atinge, no hemisfério sul, praticamente o nível anterior a 1953.

Como no caso do carbono-14, a concentração de trício diminui por decaimento radioativo possibilitando determinar o tempo transcorrido desde a infiltração, na escala de 0 a 40 anos.

VI.5 - RESULTADOS

Apresentamos na tabela 1 as doze fontes de maior vazão na falésia da Chapada do Araripe, suas localizações, municípios, coordenadas geográficas, condutividades elétricas em $\mu\text{S}/\text{cm}$, vazões em m^3/h e nossa proposta das Formações das quais as fontes emergem. Estas fontes têm valores de condutividade elétrica inferiores a $30\mu\text{S}/\text{cm}$, na mesma faixa de valores das chuvas na área.

Na tabela 2 apresentamos outro conjunto de fontes com os mesmos dados da tabela 1 exceto de vazão. Observamos que os valores de condutividade elétrica das fontes estão em três grupos distintos. O primeiro, com fontes em Barbalha (Bb), Crato (Ct), Jardim (Jd), Missão Velha (MV) e Porteiras (Po), com valores menores que $30\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 1), o segundo com as fontes Angelica em Crato, Olho d'água em Brejo Santo e Recanto em Exu respectivamente, com condutividade elétrica $69\mu\text{S}/\text{cm}$, $77\mu\text{S}/\text{cm}$ e $118\mu\text{S}/\text{cm}$ e o terceiro com as fontes Solzinho em Jardim e Macauba em Missão Velha respectivamente, com $234\mu\text{S}/\text{cm}$ e $266\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 2). As fontes Rosário em Milagres e Ciciaca em Nova Olinda, estão localizadas no Vale do Carril (Tabela 2). A primeira emerge da escarpa do horst do Mauriti, com $118\mu\text{S}/\text{cm}$ e a segunda, do contato do Mauriti com o embasamento cristalino, com $339\mu\text{S}/\text{cm}$.

TABELA 1 LOCALIZAÇÃO DAS FONTES DE MAIOR VAZÃO

Local - Município	Lat S	Long. W	C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Q (m^3/h)	Formação
Bafateira - Ct	7°15'35"	39°28'17"	28	376	Exu /Arajara
Pendência - MV	7°24'35"	39°12'46"	25	352	Exu /Arajara
Bica do Farias - Bb	7°19'50"	39°24'45"	27	348	Exu /Arajara
Sítio Cocos - Bb	7°22'36"	39°17'14"	19	182	Exu /Arajara
Sítio Saco - Po	7°29'38"	39°09'45"	20	182	Exu /Arajara
Bom Jesus - Bb	7°22'39"	39°17'19"	30	180	Exu /Arajara
Sozinho - Ct	7°19'15"	39°24'48"	17	154	Exu /Arajara
Coqueiro - Ct	7°17'02"	39°25'57"	23	140	Exu /Arajara
Boca da Mata - Jd	7°33'20"	39°16'21"	26	132	Exu /Arajara
Camelo - Bb	7°22'23"	39°20'33"	15	120	Exu /Arajara
Água Grande - Ct	7°17'15"	39°24'58"	25	113	Exu /Arajara
Santa Rita - Bb	7°21'21"	39°18'48"	15	102	Exu /Arajara

Dados de Mont'Alverne et al 1995

TABELA 2 LOCALIZAÇÃO DE OUTRAS FONTES NA REGIÃO DO CARIRI

Local - Município	Lat. S	Long. W	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Formação
Angélica - Ct	7°12'46"	39°26'33"	69	Arajara
Olho d'água - BS	7°28'05"	39°04'49"	77	Arajara
Recanto - Ex	7°25'33"	39°50'25"	118	Arajara
Solzinho - Jd	7°34'43"	39°16'17"	234	Arajara/Santana
Macauba - MV	7°12'46"	39°39'06"	266	Arajara/Santana
Rosário - Mi	7°18'20"	39°58'05"	118	Recarga Mauriti
Ciciaca - NO	7°06'11"	39°38'22"	339	Mauriti/Cristalino

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ nas fontes Pendência e Dr P Madeira em Missão Velha é $-3,4\text{‰}$ e a Boca da Mata e Solzinho em Jardim têm respectivamente, $-2,9\text{‰}$ e $-3,5\text{‰}$. A fonte Rosário em Milagres tem $\delta^{18}\text{O} = -3,4\text{‰}$ e Ciciaca em Nova Olinda tem $\delta^{18}\text{O} = -2,9\text{‰}$.

A tabela 3, com dados de poços no Vale do Cariri, apresenta as localizações nos municípios de Abaiara (Ab), Barbalha (Bb), Crato (Ct), Juazeiro do Norte (Jz), Mauriti (Ma), Milagres (Mi) e Nova Olinda (NO), profundidades em m, coordenadas geográficas, $\delta^{18}\text{O}$ em ‰ , condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e percentual do carbono moderno, pMC

Selecionamos com base na condutividade elétrica, quatro grupos distintos de poços. O primeiro com condutividade elétrica até $200\mu\text{S}/\text{cm}$, o segundo com condutividade elétrica entre $200\mu\text{S}/\text{cm}$ e $300\mu\text{S}/\text{cm}$ com exceção dos poços P6 (em Juazeiro do Norte) e P10 em Missão Velha com condutividades elétricas de $522\mu\text{S}/\text{cm}$ e $375\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, ambos captando água exclusivamente do aquífero Missão Velha de acordo com seus perfis geológicos.

O terceiro grupo com condutividade elétrica entre $300\mu\text{S}/\text{cm}$ e $580\mu\text{S}/\text{cm}$ e o quarto grupo com condutividade elétrica entre $600\mu\text{S}/\text{cm}$ e $980\mu\text{S}/\text{cm}$. Um quinto grupo de poços foi selecionado tendo como base valores de pMC maiores do que 100 e com localização no município de Crato.

TABELA 3 POÇOS NO VALE DO CARIRI

Nº	Local/Município	P (m)	Lat S	Log W	$\delta^{18}\text{O}$	C.E	pMC
P05	Rch Macacos 2 Jz	150	7°13'37"	39°18'26"	-3,1	168	74,6 \pm 0,9
P26	Conj Mirandão Ct	102	7°14'11"	39°23'51"	-3,0	198	91,4 \pm 0,8
P27	Lagoa Seca 10 Jz	91	7°14'51"	39°19'19"	-3,3	98	80,8 \pm 0,5
P28	Lagoa Seca 11 Jz	115	7°14'56"	39°19'22"	-3,3	186	66,6 \pm 0,5
P29	Lagoa Seca 16 Jz	129	7°14'34"	39°18'51"	-3,0	182	88,7 \pm 0,6
P34	Rch Macacos 2a Jz	32	7°13'38"	39°18'22"	-3,2	154	124,8 \pm 0,9
P40	Lagoa Seca 17 Jz	180	7°14'23"	39°18'04"	-3,1	162	80,5 \pm 0,6
P47	Cafundo 5 Ct	110	7°14'26"	39°24'20"	-3,0	183	98,8 \pm 0,8

TABELA 3 (CONTINUAÇÃO) POÇOS NO VALE DO CARIRI

P54	SENAI	Ct	95	7°13'34"	39°23'49"	-2,9	199	-
P63	Lagoa Seca 15	Jz	130	7°15'43"	39°19'20"	-3,1	157	-
P67	Floresta	Ct	129	7°14'29"	39°24'59"	-3,1	113	-
P69	São Raimundo N2	Ct	100	7°13'47"	39°25'31"	-2,8	169	-
P70	Cafe da Linha	Ab	60	7°17'54"	39°02'05"	-2,9	79	-
P77	Rosário	Mi	50	7°18'29"	38°57'54"	-3,5	98	-
P79	Sizani	Ct	120	7°13'20"	39°25'20"	-3,1	174	-
P80	Recanto 1	Ct	130	7°14'37"	39°24'56"	-3,1	134	-
P4	Lagoa Seca. 9	Jz	119	7°14'27"	39°19'22"	-3,3	291	64,2 ± 0,7
P6	Rch Macacos 8	Jz	191	7°12'36"	39°18'08"	-3,9	522	35,4 ± 0,6
P10	Poço 2	MV	86	7°15'32"	39°17'46"	-3,6	375	30,3 ± 0,4
P19	Sítio S Pedro	Bb	78	7°17'50"	39°17'12"	-3,2	226	99,2 ± 0,5
P33	Barro Branco	Bb	76	7°18'50"	39°15'22"	-3,4	288	88,0 ± 0,8
P35	Rch Macacos 3	Jz	140	7°13'35"	39°18'12"	-3,2	243	92,0 ± 0,7
P36	Rch Macacos 4	Jz	140	7°13'25"	39°18'13"	-3,4	291	78,2 ± 0,5
P38	Rch Macacos 7	Jz	200	7°12'46"	39°18'20"	-3,2	281	75,1 ± 0,7
P39	Lagoa Seca 14	Jz	82	7°14'38"	39°19'03"	-3,5	299	61,0 ± 0,5
P46	Vila Alta 2	Ct	107	7°13'24"	39°24'43"	-3,2	232	93,7 ± 1,1
P58	Rch Macacos 1	Jz	120	7°13'48"	39°18'24"	-3,4	258	77,5 ± 0,7
P71	Lagoa Seca 12	Jz	126	7°15'08"	39°19'21"	-3,4	253	72,4 ± 1,1
P72	Lagoa Seca 13	Jz	102	7°15'20"	39°19'23"	-3,5	213	79,1 ± 0,7
P9	Alto da Alegria	Bb	113	7°18'27"	39°08'12"	-3,2	349	93,2 ± 0,7
P31	Usina, prof 200	Bb	200	7°18'08"	39°14'09"	-3,2	363	84,5 ± 0,7
P37	Rch Macacos 5	Jz	160	7°13'14"	39°18'15"	-3,6	380	48,9 ± 0,4
P48	Abaiara - lav	Ab	130	7°21'10"	39°02'47"	-3,8	417	44,9 ± 0,6
P50	CAGECE 7	Mi	118	7°18'54"	38°56'20"	-5,1	569	-
P53	Bela Vista	Bb	88	7°19'40"	39°17'46"	-4,3	456	28,1 ± 0,5
P59	Rch Macacos 6	Jz	200	7°13'02"	39°18'17"	-3,6	438	54,2 ± 1,1
P68	Sítio S Paulo	Bb	144	7°18'07"	39°17'49"	-3,0	332	-
P1	R M Ferreira	NO	80	7°05'21"	39°41'32"	-3,6	967	-
P2	Poço 2	NO	128	7°06'32"	39°41'02"	-3,4	752	62,9 ± 0,6
P3	Baixio 3	NO	130	7°06'58"	39°41'19"	-3,8	976	3,3 ± 0,4
P42	SESI	Ct	63	7°13'37"	39°23'46"	-3,1	639	99,1 ± 0,7
P44	Hp S Vicente	Bb	150	7°18'39"	39°18'03"	-2,9	602	90,8 ± 0,8
P73	Abaiara 1	Ab	130	7°21'20"	39°02'40"	-3,5	776	59,7 ± 0,7
P74	Jacu	NO	127	7°05'42"	39°41'10"	-3,5	866	-
P76	Pedras Cariri	NO	50	7°05'43"	39°40'35"	-3,0	631	-
P78	Vila Esperança	Ma	80	7°26'33"	38°57'14"	-2,8	670	-
P15	São Raimundo 2	Ct	126	7°13'47"	39°25'31"	-	219	111,5 ± 1,1
P20	St Monte Alegre	Ct	60	7°12'25"	39°24'37"	-	497	121,4 ± 1,1
P22	V Padre Cícero	Ct	98	7°13'08"	39°21'32"	-	88	108,3 ± 0,8
P41	Batateira - lav	Ct	32	7°13'25"	39°25'31"	-3,2	312	115,5 ± 1,1
P55	São Raimundo N1	Ct	130	7°13'49"	39°25'37"	-3,1	144	104,2 ± 1,1

A figura 2a mostra dados extraídos de poços do primeiro grupo. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ situam-se entre $-2,8\text{‰}$ e $-3,5\text{‰}$ com valor médio de $-3,1\text{‰}$, da ordem do valor nas chuvas atuais, e condutividade elétrica que varia de $79\mu\text{S/cm}$ a $198\mu\text{S/cm}$. Na figura 2b apresentamos dados de poços do segundo grupo. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ situam-se na faixa de $-3,2\text{‰}$ a $-3,9\text{‰}$, enquanto os valores de condutividade elétrica situam-se na faixa de $213\mu\text{S/cm}$ a $299\mu\text{S/cm}$ com exceção de P6 e P10 como descrito em parágrafo anterior. Nesta figura, $\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = -2 \times 10^{-3} \text{ C E} - 2,81$ ou seja, $\delta^{18}\text{O}$ decresce com o aumento da condutividade elétrica, e o coeficiente de correlação é $-0,83$.

Na figura 2c apresentamos os dados do grupo 3. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ estão na faixa de $-3,0\text{‰}$ a $-5,1\text{‰}$ e os valores de condutividade elétrica situam-se na faixa de $322\mu\text{S/cm}$ a $569\mu\text{S/cm}$. Observamos que $\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = -9 \times 10^{-3} \text{ C E} - 0,11$ ou seja, $\delta^{18}\text{O}$ também decresce com o aumento da condutividade elétrica e o coeficiente de correlação é de $-0,97$.

No gráfico da figura 2d, com dados do grupo 4, os valores $\delta^{18}\text{O}$ variam de $-2,8\text{‰}$ a $-3,8\text{‰}$ e as condutividades elétricas se situam entre $602\mu\text{S/cm}$ e $976\mu\text{S/cm}$ neste grupo $\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = -2 \times 10^{-3} \text{ C E} - 1,73$. Assim, a taxa de variação de $\delta^{18}\text{O}$ com a condutividade elétrica é igual a do gráfico 2b e o coeficiente de correlação é de $-0,85$.

As figuras 3a, 3b, 3c e 3d mostram a variação de $\delta^{18}\text{O}$ com o pMC para os mesmos quatro grupos de poços que revelam também comportamentos distintos. Na figura 3a o pMC varia de 66,6 a 124,8, na figura 3b varia de 30,3 a 99,2, na figura 3c varia de 28,1 a 93,2 e na figura 3d varia de 3,6 a 99,1. Estas figuras mostram que $\delta^{18}\text{O}$ cresce com o aumento do pMC e as relações entre estes parâmetros e os coeficientes de correlação, são respectivamente, $\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = 8 \times 10^{-3} \text{ pMC} - 3,96$ ($R = 0,81$), $\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = 16 \times 10^{-3} \text{ pMC} - 4,54$ ($R = 0,94$) e $\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = 9 \times 10^{-3} \text{ pMC} - 3,89$ ($R = 0,93$)

A figura 4 apresenta a variação do pMC com a condutividade elétrica de poços no município de Crato. Ela mostra dois comportamentos distintos, em um a condutividade elétrica decresce com o aumento do pMC e no outro a condutividade elétrica cresce com o aumento do pMC.

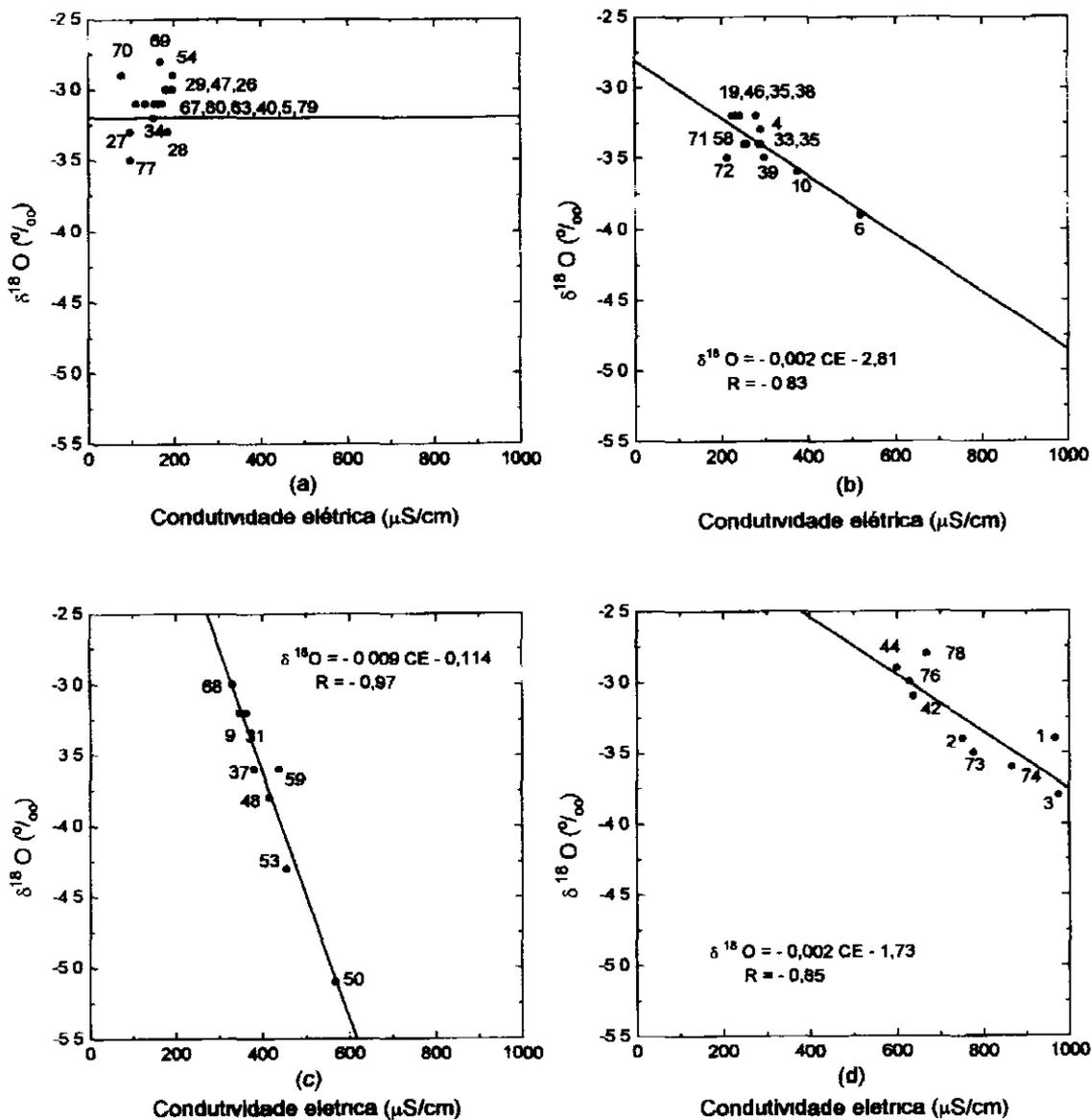


FIGURA 2 $\delta^{18}\text{O}$ em função da condutividade elétrica a) Poços do grupo 1, b) Poços do grupo 2, c) poços do grupo 3 e d) Poços do grupo 4

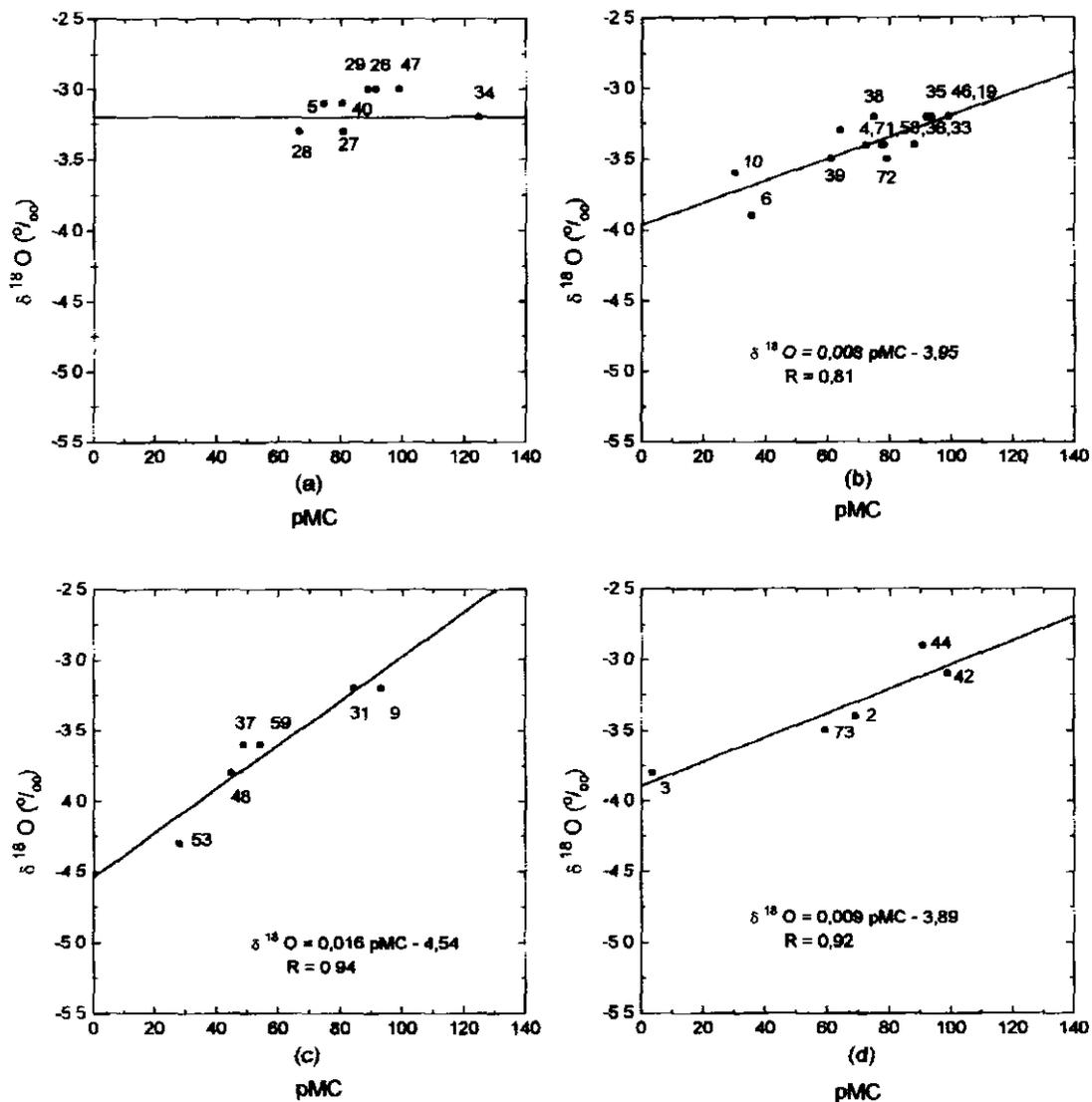


FIGURA 3 $\delta^{18}O$ em função da percentagem do carbono moderno a) Poços grupo, 1b) Poços do grupo 2, c) poços do grupo 3 e d) Poços do grupo 4

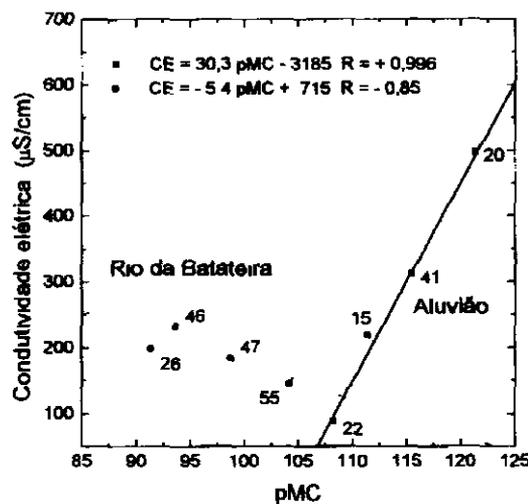


FIGURA 4 Condutividade elétrica em função da percentagem do carbono moderno em poços do município de Crato

VI 6 DISCUSSÕES

Com base nas tabelas 1 a 3 e em anteriores medidas isotópicas e de condutividade elétrica em fontes, poços, chuva e cacimbas formulamos um modelo fenomenológico de circulação da água na Chapada do Araripe e no Vale do Cariri

A água de chuva infiltrando na Chapada através dos arenitos da Formação Exu forma um conjunto de fontes que são o principal exutório da Chapada. As fontes, que têm condutividade elétrica de até $30\mu\text{S}/\text{cm}$, como podemos observar na tabela 1 e com outros resultados de 12 fontes que descrevemos anteriormente (Santiago et al 1988), têm altitude média de 700m e são as de maior vazão na Chapada

A água oriunda de um poço na Fazenda Janaguba situada a uma altitude de 730m, com profundidade de 50m tem condutividade elétrica de $32\mu\text{S}/\text{cm}$. Este poço capta água da interface Exu/Arajara segundo o seu perfil geológico. O teor de trício neste poço é de 1,3 TU, da ordem dos valores destas fontes, que se situam entre 0,3 e 1,3 TU (Santiago et al 1990)

Propomos, portanto com base nos valores de condutividade elétrica, oxigênio-18, trício, perfil geológico e altitude do poço Janaguba que o conjunto de fontes com condutividade menor do que $30\mu\text{S}/\text{cm}$ está situado no contato Exu /Arajara

A correlação entre valores de $\delta^{18}\text{O}$ na fonte Batateira em Crato com a pluviosidade medidos durante dez meses mostrou uma defasagem de cerca de cinco meses (Frischkorn et al 1990). Observamos posteriormente, uma defasagem de 6 a 8 meses medindo quinzenalmente, durante dois anos, a vazão de duas fontes em Barbalha, no Caldas (Stuart et al 1992). Estes resultados mostram que a resposta hidráulica na Chapada é rápida

No entanto, comparando a concentração de trício da chuva atual na Chapada que é de 3,2TU com 0,3TU a 0,7TU, nas fontes Batateiras, Granjeiro Clube e Serrano Clube, em Crato, Bom Jesus e João Colho em Barbalha (Santiago et al 1990) e mais outras dez fontes, encontramos um tempo de trânsito de 4 a 26 anos, usando um modelo celular (Silva et al 1992)

Assim, as fontes situadas no contato Exu/Arajara são águas pluviais recentes infiltradas na Chapada com um tempo de trânsito de até 26 anos. A defasagem entre picos de pluviosidade e de vazão indica uma resposta hidráulica rápida, de 6 a 8 meses

Identificamos outros exutórios da Chapada. Um deles é o conjunto de fontes com condutividade elétrica de $69\mu\text{S}/\text{cm}$ a $118\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 2). Um poço no Colégio Agrícola em Crato, a uma altitude de 630m e profundidade de 95m, tem condutividade elétrica de $71\mu\text{S}/\text{cm}$, teor de trício 0,9 TU e capta água da Formação Arajara segundo o seu perfil geológico. Comparando o valor da condutividade elétrica e a altitude deste poço com o deste grupo de fontes, propomos que as águas destas fontes, que estão em menores altitudes do que as anteriores, sejam oriundas da Formação Arajara

Outros exutórios aparecem a menores altitudes, com condutividade elétrica de $234\mu\text{S}/\text{cm}$ e $266\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 2). Propomos que os exutórios com condutividade elétrica maior do que $230\mu\text{S}/\text{cm}$ sejam oriundos do contato das Formações Arajara/Santana. A fonte Solzinho que pertence a este grupo tem $\delta^{18}\text{O}$ de $-3,5\text{‰}$ diferente do valor da pluviosidade atual na Chapada como também das fontes no contato Exu/Arajara

Um outro tipo de armazenamento na Formação Exu ocorre em lentes, caracterizando aquíferos suspensos explorados através de cacimbas que têm condutividade elétrica que varia de $169\mu\text{S}/\text{cm}$ (Simião) a $526\mu\text{S}/\text{cm}$ (Romualdo). Estas águas se caracterizam por intensa presença de ions de ferro decorrente de processo de laterização (Santiago et al 1992)

A água de chuva no Vale do Cariri infiltra através de formações cuja sequência varia espacialmente em função do fraturamento tectônico em toda a bacia sedimentar (Figura 1c). Com base em dados isotópicos e de condutividade elétrica e no novo estudo geológico realizado pelo DNPM (Mont'Alverne et al 1995) propomos um modelo de circulação da água na bacia sedimentar do Cariri

As figuras 2a e 3a representam águas com valores médios de $\delta^{18}\text{O}$ igual a $-3,1\text{‰}$ e valores de pMC acima de 67. Estas águas são uma mistura de águas provenientes de recargas direta principalmente da Formação Rio da Batateira

Como a concentração de oxigênio-18 não muda por troca com rochas em águas não termais observamos que as águas captadas pelos poços pertencentes aos grupos 2 e 4 e descritos nas figuras 2b e 2d respectivamente, apresentam valores de $\delta^{18}\text{O}$ na faixa de $-2,8\text{‰}$ a $-3,9\text{‰}$ enquanto as condutividades elétricas, que refletem as litologias das camadas percorridas pela água, apresentam diferentes faixas de condutividade elétrica que são respectivamente, $204\mu\text{S/cm}$ a $522\mu\text{S/cm}$ e $602\mu\text{S/cm}$ a $976\mu\text{S/cm}$

O que faz a grande diferença da reta da figura 2c em relação às das figuras 2b e 2d é que embora todos os gráficos representem níveis de misturas de água, em 2c as águas mais profundas tem $\delta^{18}\text{O}$ de $-5,1\text{‰}$ inferior ao das águas profundas nas duas outras áreas que é de $-3,9\text{‰}$ e $-3,8\text{‰}$

A diferença nas inclinações das retas decorre do fato dos poços na figura 2c captarem zonas aquíferas mais profundas, a maior pressão, tendo a mistura conseqüentemente, maior contribuição destas águas. Parte destes poços, P31, P37, P48 e P59, apresentaram artesianismo na época da perfuração

Os poços nas figuras 2b e 3b recebem águas de duas origens sendo uma mistura de água do aquífero livre na Formação Rio da Batateira com água proveniente do armazenamento na Formação Missão Velha. Os poços P6 e P10 pertencentes a este conjunto de poços tem pMC de 35,4, correspondendo a uma idade convencional de 7 840 anos, e 30,3, correspondendo a uma idade convencional de 9 600 anos e ambos captam água exclusivamente do Missão Velha segundo o seu perfil geológico

Os poços nas figuras 2d e 3d recebem água também de duas origens. Uma, do aquífero livre que alimenta o Mauriti através de falhamento, revelada no poço P44 com condutividade elétrica de $639\mu\text{S/cm}$, pMC = 99,1 e $\delta^{18}\text{O} = -3,1\text{‰}$. A outra são águas representadas pelo poço P3 em Nova Olinda, com condutividade elétrica de $976\mu\text{S/cm}$, $\delta^{18}\text{O} = -3,8\text{‰}$ e pMC = 3,6, correspondendo a uma idade convencional de 26 800 anos. Este poço capta água exclusivamente do Mauriti em área confinada pelo aquitardo Brejo Santo que é aflorante nesta região e que por falhamento tectônico, tem contato direto com a Formação Santana, da Chapada

As medidas de pMC nos poços da figura 2c mostram a presença de águas com valores de pMC que estão na faixa de 28.1, correspondente a idade convencional de 10 185 anos, a 93,2 correspondente a uma idade convencional de 564 anos como revelados respectivamente, pelos poços P53 e P9 ambos em Barbalha

Assim, as águas profundas armazenadas na Formação Missão Velha e na Formação Mauriti são paleoáguas de percolação na Chapada através da Formação Santana. A diferença de condutividade elétrica entre águas armazenadas nos aquíferos Missão Velha e Mauriti, em Nova Olinda, decorre do processo de mineralização que neste último é mais acentuado. Por outro lado, as condições de armazenamento na Formação Missão Velha produzem poços com vazão de até $150\text{ m}^3/\text{h}$, bem maior do que os na Formação Mauriti onde o armazenamento ocorre em fraturas com vazões geralmente em torno de $5\text{ m}^3/\text{h}$

Por causa do fraturamento na bacia, dependendo da localização do poço, ele capta uma mistura de diferentes zonas aquíferas e sua salinidade, como é esperada, depende da litologia e do grau de confinamento, independentemente da profundidade do poço

Assim, as águas cujos dados são mostrados nas figuras 2a e 3a são uma mistura de água de infiltração direta principalmente na Formação Rio da Batateira. As águas das figuras 2b e 3b são misturas de águas do aquífero livre da Formação Rio da Batateira com paleoáguas oriundas da Formação Missão Velha, reveladas pelos poços P6 e P10 e são provenientes de percolação na Chapada através da Formação Santana

As águas mostradas nas figuras 2c e 3c revelam misturas de águas recentes de infiltração direta no afloramento do Missão Velha com paleoáguas oriundas de percolação na Chapada através da Formação Santana. As águas dos gráficos 2d e 3d são misturas de águas pluviais recentes infiltradas através de fendas, como reveladas no poço P42, com paleoáguas do aquífero Mauriti oriundas de percolação na Chapada através da Formação Santana, como reveladas pelo poço P3

As retas nos gráficos 2b e 3b, 2c e 3c e 2d e 3d representam os diversos graus de mistura de água de recarga direta com paleoáguas armazenadas nas Formações Missão Velha e Mauriti

Portanto, o quarto exutório da Chapada e a percolação através da Formação Santana alimentando as camadas aquíferas mais profundas da Chapada que estão presentes também no Vale do Cariri (Figura 1b)

Regiões de falhas (Figura 1c) no Vale do Cariri induzem exutórios dos aquíferos mais profundos como é o caso de Rosário onde a escarpa do horst do Mauriti condiciona o aparecimento de uma fonte exutório do Mauriti com $118\mu\text{S}/\text{cm}$ e $\delta^{18}\text{O} = -3,4\text{‰}$ e também o surgimento de um poço jorrante a cerca de 100m da escarpa, decorrente de depressão topográfica onde a Formação Brejo Santo confina o Mauriti em Milagres tendo condutividade elétrica $98\mu\text{S}/\text{cm}$ e $\delta^{18}\text{O} = -3,5\text{‰}$ e uma vazão de $1,2\text{ m}^3/\text{h}$ que aumenta no período chuvoso. Elas representam águas pluviais infiltradas no horst do Mauriti

As águas nos municípios de Crato apresentadas na figura 4 cuja condutividade elétrica decresce com o aumento do pMC representam águas captadas no aquífero livre da Formação Rio da Batateira enquanto aquelas com valores de condutividade elétrica crescendo com o aumento do pMC, para valores de pMC maiores do que 100, representam águas captadas nas aluviões do Rio da Batateira

VI.7 - CONCLUSÕES

Baseados em medidas de isótopos ambientais, condutividade elétrica e na geologia da área propomos um modelo fenomenológico para a circulação das águas pluviais infiltradas na Chapada e no Vale do Cariri que nos leva às conclusões apresentadas a seguir

As águas infiltradas na Chapada têm como um dos exutórios um conjunto de fontes cujos valores de $\delta^{18}\text{O}$ decrescem enquanto que os valores da condutividade elétrica aumentam com a diminuição da altitude

As fontes de menor condutividade elétrica e maior vazão se encontram no contato das Formações Exu /Arajara e suas vazões variam com a defasagem de 6 a 8 meses em relação à variação da pluviosidade. Elas têm um tempo de trânsito de até 26 anos sendo águas pluviais recentes reveladas pelo teor de $\delta^{18}\text{O}$ cujo valor médio é de $-3,2\text{‰}$ e pelos baixos valores de condutividade elétrica

As fontes na Formação Arajara e no contato desta com Santana são as de menores vazões e as de maiores condutividades elétricas. O valor de $\delta^{18}\text{O} = -3,5\text{‰}$ indica contribuições de diferentes chuvas no tempo em relação às das fontes no contato Exu/Arajara. Acreditamos que estas águas tenham tempos de trânsito maiores do que nas fontes do contato Exu / Arajara

Como o regime das chuvas na região se caracteriza por um semestre seco e outro úmido, a vazão das fontes varia anualmente e sua recuperação em intensidade depende da variação temporal da pluviosidade

Com base no comportamento descrito pelos grupos 1 a 4 e da figura 4, identificamos cinco comportamentos distintos para as águas armazenadas nas formações aquíferas presentes no Vale do Cariri. As águas captadas pelos poços do município de Crato se originam principalmente, de dois armazenamentos distintos. No primeiro predomina uma mistura de águas pluviais recentes infiltradas diretamente no Vale e armazenadas no aquífero da Formação Rio da Batateira e o segundo representa águas captadas de armazenamentos nas aluviões do Rio Batateira

Os três comportamentos seguintes são provenientes de diferentes graus de mistura de águas pluviais recentes, infiltradas na região de afloramento das Formações Rio da Batateira, Missão Velha e Mauriti ou por infiltrações em falhas, com paleoáguas armazenadas nas Formações Missão Velha e Mauriti, oriundas de percolação na Chapada através da Formação Santana

Assim, a maioria das águas captadas pelos poços no município de Juazeiro do Norte ou são misturas de águas pluviais recentes armazenadas na Formação Rio da Batateira ou misturas de diferentes graus, de águas infiltradas na Formação Rio da Batateira com paleoáguas da Formação Missão Velha

As águas captadas pelos poços no município de Barbalha são predominantemente, mistura de diversos níveis de águas de infiltração na região de afloramento da Formação Missão Velha com paleoáguas armazenadas nesta Formação

As águas captadas pelos poços no município de Nova Olinda são misturas de águas infiltradas diretamente pelo falhamento ou pela zona de afloramento do Mauriti com paleoáguas armazenadas nesta Formação na área confinada pela Formação Brejo Santo Assim, a percolação através da Formação Santana forma o quarto exutório da Chapada

Identificamos também fontes como exutório no Vale sendo as de menores condutividades oriundas de infiltração recente em falhas do horst do Mauriti e as de maior condutividade são misturas oriundas de armazenamento nas falhas da Formação Mauriti com águas armazenadas no cristalino, na borda da bacia

As águas do aquífero da Formação Mauriti apresentam maior grau de mineralização decorrente de um maior tempo de troca da água com o meio aquífero

O bombeamento diário e ininterrupto de 2430m³/h pela bateria de 17 poços da CAGECE em Juazeiro do Norte produz um extenso cone de depressão com conseqüente abaixamento do nível estático, em até 40m de profundidade, exaurindo os poços particulares com profundidade média de 25m que captam águas no bairro de Lagoa Seca

Assim, as preocupações da população no que tange a diminuição das vazões das fontes e dos poços particulares em Juazeiro do Norte, principalmente no bairro de Lagoa Seca, onde se concentra a população de maior renda, e das cacimbas do mesmo município, utilizadas pela população de baixa renda, estão relacionadas, no caso das fontes, à distribuição temporal da pluviosidade e nos poços e cacimbas, ao abaixamento do nível estático produzido pelo bombeamento diário e ininterrupto da bateria de poços de exploração da Companhia Estatal

000102

VI 7 - BIBLIOGRAFIA

- BEURLEN, K 1963 Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe *XVII Congresso Brasileiro de Geologia*, Recife Publicação Especial, p 47
- CRAIG, H 1961 Standard for Reporting Concentrations of deuterium and oxygen-18 in Natural Water *Science* 133, p 1833 - 1834
- FRISCHKORN, H, SANTIAGO, M F, BRASIL, R 1990 Aspectos Hídricos do Cariri *Anais do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, Crato, 14 a 16/6/90, p 99-110
- GASPARY, J, ANJOS, N DA F R DOS, REBOUÇAS, A DA C, MANOEL FILHO, J, LEAL, O, GARAU, J, GEUILLOT, P - 1967 - Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe *Hidrogeologia*, Recife, SUDENE, ASMIC, Vol 7, 250 p
- GASPARY, J R A, ANJOS, N F R 1984 Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte - Ce *SUDENE, Série Hidrogeologia nº 3*, Recife
- GHIGNONE, J I, COUTO, E A, ASSINE, M L 1986 Estratigrafia e estrutura das bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe *XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia* Goiânia, Vol 1, p 271 - 285
- MONT'ALVERNE, A A F, DANTAS, J R A, MELO JÚNIOR, A H, MONTEIRO, E T, LIMA, A A, PONTE, J S A, PONTE, F C, COSTA, W C 1995 A bacia sedimentar do Cariri Recife, DNPM, 1995
- MORAES, L J, BARROS, F C, RAMOS, E 1963 Reconhecimento fotogeológico da região Nordeste do Brasil Folha Crato SB 24-U *DNPM/DFPM*. Rio de Janeiro
- MOSER, H 1980 Trends in Isotope Hydrology *Interamerican Symposium on Isotope Hydrology*, Bogotá, p 3 - 21
- MUNNICH, K O 1957 Messung des C-Gehalts von hartem Grundwasser *Naturwiss* 44 p 32 - 39
- PONTE, F C 1992 Sistemas deposicionais na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil *2º Simpósio sobre Bacias Cretácicas Brasileiras Rio Claro (SP) UNESP*, p 81-83
- PONTE, F C, APPI, C J 1990 Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe *XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia* Natal (RN) Vol 1, p 211 - 226
- SANTIAGO, M F, FRISCHKORN, H, BEZERRA A, BRASIL, R 1988 Medidas hidroquímicas em poços e fontes no Cariri - sul do Ceará *5º Congr Bras Ág Subt*, São Paulo, p 112 - 120
- SANTIAGO, M F, FRISCHKORN, H, SEREJO, A N 1990 Estudo Isotópico das Águas do Cariri *Anais do 6º Congr Bras Ág Subt*, Porto Alegre, 16 a 21/9/90, p 338-343
- SANTIAGO, M F, FRISCHKORN, H, SEREJO, A N, STUDART, T Nd MENDES FILHO, J 1992 Rainfall and Aquifers in the Cariri Regulator Agents of Social and Economical development *Impacts of Climatic Variations and Sustainable Development in semi-and Regions (ICID)*, Fortaleza, 27/01 a 01/02/1992, 19p
- SANTIAGO, M F, SILVA, C S V, MENDES FILHO, J, FRISCHKORN, H 1994 Caracterização isotópica da água subterrânea na Bacia sedimentar do Cariri *II Congresso Latinoamericano de Hidrologia isotópica*, Santiago do Chile, 1/1994, Vol 2 731 - 740
- SILVA, C M V, SANTIAGO, M F, FRISCHKORN, H, SEREJO, A N 1992 Contribuição de medidas de trício no conhecimento da hidrologia subterrânea no Cariri *I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste* Recife, nov 1992, p 287-295
- SMALL, H L 1913 Geologia e suprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí *IFOCS*, Rio de Janeiro, Série 1D, Publicação 25
- STUDART, T M C, FRISCHKORN, H, SANTIAGO, M F, BRASIL, R W 1992 Medidas de vazões de fontes no Cariri por diluição de um traçador *I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste* Recife, nov 1992, p 273-28