

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO NA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE

Robério Bôto de Aguiar¹; Liano Silva Veríssimo²; Jaime Quintas dos Santos Colares³ & Fernando Antonio Carneiro Feitosa⁴

Resumo – Este trabalho é parte integrante do Projeto Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro (Convênio CPRM/FINEP), onde foi resgatada grande parte dos estudos realizados na Bacia Sedimentar do Araripe. A área de interesse do projeto corresponde a porção leste da bacia, com cerca de 6.500km². São inúmeros e variados os trabalhos sobre a estratigrafia da Bacia do Araripe. A primeira citação registrada data de 1828 (Spix & Martius), porém, a litoestratigrafia foi descrita em detalhe por Small (1913) e serviu de base para os autores que o sucederam. Atualmente, a proposta mais adotada é a de Ponte & Appi (1990) que divide a coluna em três seções: A Formação Mauriti, que constitui a base da coluna; O Grupo Vale do Cariri, que reúne as formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara e; O Grupo Araripe, dividido nas formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu. Esses depósitos sedimentares podem ser representados por unidades hidroestratigráficas diferenciadas que, em geral, coincidem com seus representantes estratigráficos. De modo geral as formações Exu, Arajara, Rio da Batateira, Abaiara, Missão Velha e Mauriti são definidas como unidades aquíferas, enquanto as formações Santana e Brejo Santo se comportam como aquíferos.

Abstract - This work is part of the Behavior of the Sedimentary Basins Semiarid Northeast Brazilian Project (Accord CPRM/FINEP), where great part of the studies carried through in the Basin Sedimentary of the Araripe was rescued. The research area corresponds to the eastern portion of the basin, with about 6.500km². Several workers have studied the stratigraphyc of the Araripe Basin. The first registered citation date of 1828 (Spix & Martius), however, the litostratigraphy was described in detail for Small (1913) and served of base for the authors who had succeeded it. Currently, the proposal more adopted is of Ponte & Appi (1990) that it divides the column in three sections: The lowermost is the Mauriti Formation; The Valley of Cariri Group, comprise the Brejo Santo, Missão Velha and Abaiara formations and; The Araripe Group, divided in the Rio da Batateira, Santana, Arajara and Exu formations. These sedimentary deposits can be represented by differentiated hydrostratigraphyc units that, in general, coincide with its stratigraphics

Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Av. Antonio Sales, 1418, Dionísio Torres, Fortaleza-Ce. Tel. (085) 3246-1242, Fax (085) 3246-1686
¹boto@fo.cprm.gov.br; ²liano@fo.cprm.gov.br; ³jaime@fo.cprm.gov.br; ⁴feitosa@fo.cprm.gov.br

representatives. In general way the Exu, Arajara, Rio da Batateira, Abaiara, Missão Velha and Mauriti formations are defined as aquifer units, while the Santana and Brejo Santo formations if hold as aquíferos.

Palavras-Chave – Bacia Sedimentar; Araripe; Estado da Arte;

1 – INTRODUÇÃO

O presente documento corresponde ao Relatório Síntese da Meta A – Levantamento do Estado da Arte da Bacia Sedimentar do Araripe. Esta etapa do projeto teve como objetivo a execução de um levantamento bibliográfico e de dados existentes sobre as geociências da área estudada. Foi resgatada grande parte dos trabalhos realizados na bacia, sendo priorizados os estudos hidrogeológicos sem, no entanto, descartar as áreas correlatas (Geologia, Geofísica etc). Esses trabalhos foram organizados, analisados e as informações pertinentes devidamente registradas, de modo a se gerar, tanto a história bibliográfica como a síntese do conhecimento existente em na bacia, o que permitirá o planejamento detalhado e facilitará a execução das etapas seguintes previstas no referido projeto. Cabe ressaltar que foram consultadas as principais instituições públicas e de pesquisa que reúnem fontes de conhecimento e de dados sobre a bacia e foram considerados, entre outros, relatórios de pesquisa (internos e/ou inéditos), publicações em revistas científicas nacionais e internacionais, publicações em congressos, simpósios, encontros técnicos etc, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Além disso, também foram coletados e sistematizados todos os dados existentes e necessários ao desenvolvimento das ações subsequentes, como por exemplo: cadastros de poços e pontos d'água, dados hidroclimatológicos, cartografia geológica, pedológica e planialtimétrica, dados geofísicos terrestres e aéreos entre outros.

2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Sedimentar do Araripe localiza-se no alto sertão nordestino, tem uma área de aproximadamente 11.000 km², sendo delimitada pelas coordenadas geográficas: 38° 30' a 41° 00' de longitude oeste de Greenwich e 7° 10' a 7° 50' de latitude sul, englobando parte dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, constituindo-se no divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe (CE) ao norte, São Francisco (PE) ao sul e Parnaíba (PI) a oeste.

A área de interesse do projeto corresponde a porção leste da Bacia Sedimentar do Araripe, com cerca de 6.500 km² (Figura 1), sendo delimitada pelas coordenadas geográficas de 38°30' a 39° 28' de longitude oeste de Greenwich e de 7° 05' a 7°40' de latitude sul. Nela estão localizadas as três principais cidades da região do cariri cearense, que são Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, além de Missão Velha, Brejo Santo, Mauriti, Milagres, Porteiras, Penaforte, Jardim, Abaiara e Jati.

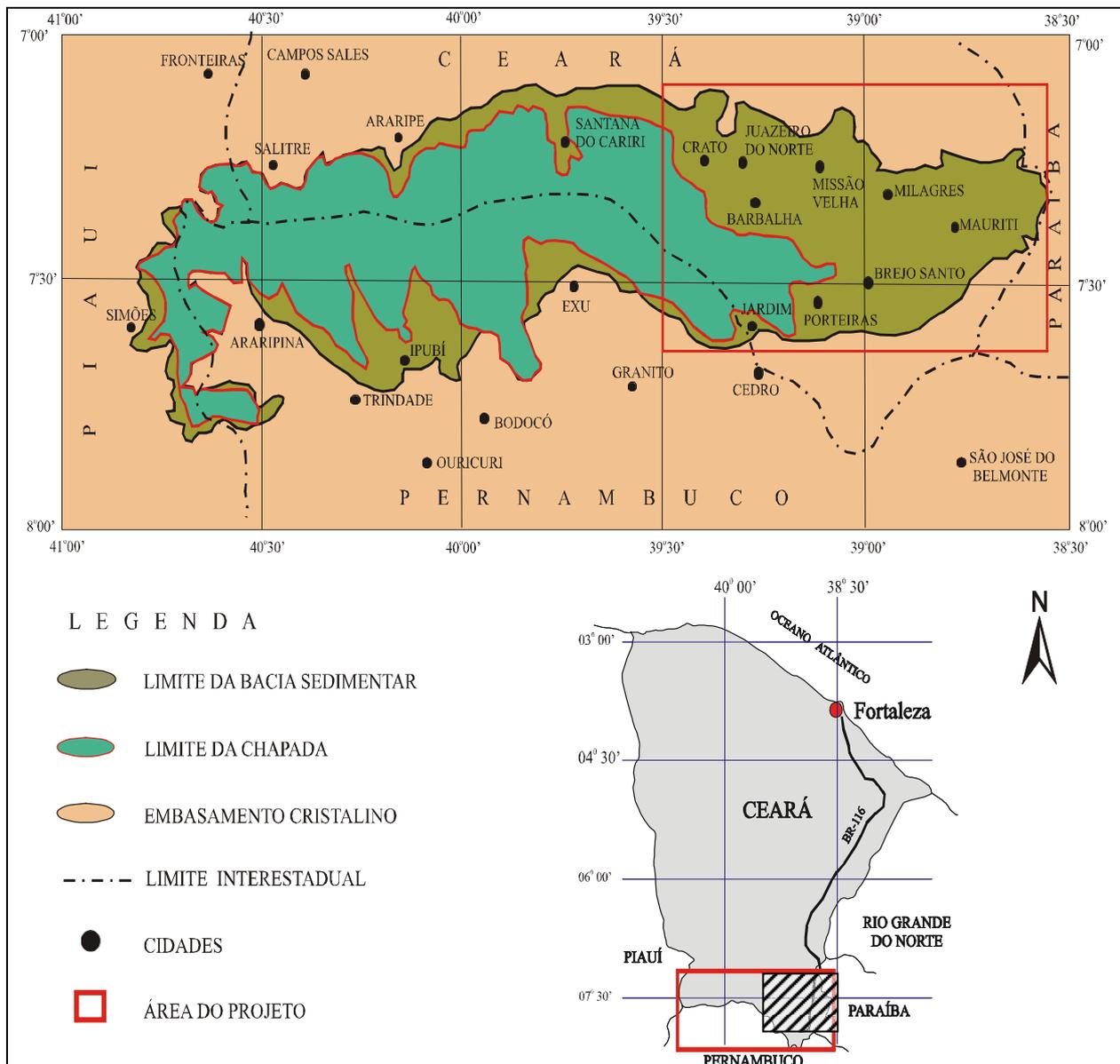


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Araripe e da área do Projeto.

A área de estudo está localizada na Macrorregião do Cariri e, conforme o Censo Demográfico do IBGE, realizado em 2000, foi constatada para esses municípios uma população de 569.463 habitantes, com uma estimativa de crescimento de 2% ao ano. Observa-se, ainda, uma concentração da população nas cidades de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, totalizando 363.810 habitantes, em 2000, correspondendo a 63,9% da população residente na área do Projeto.

3 – O CONHECIMENTO GEOLÓGICO

A primeira descrição litoestratigráfica da Bacia do Araripe deve-se a SMALL (1913), durante estudo a serviço da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IFOCS), para conhecer as formações geológicas da região e suas possibilidades como condutoras de água subterrânea. Contudo, a primeira citação registrada na literatura credita-se a SPIX & MARTIUS em 1828 (apud NEUMANN, 1999), fazendo referência ao estudo dos ictiolitos da Formação Santana.

A década de 60 se destaca pela grande quantidade de trabalhos produzidos na região, principalmente, os patrocinados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), dentre os quais se destacam os de ANJOS (1963), GASPARY & ANJOS (1964), BARROS (1963), CALDASSO (1967) e CRUZ & FRANÇA (1970). A Universidade Federal de Pernambuco também contribuiu para o conhecimento da geologia da bacia, através de BEURLIN (1962 e 1963) que estimou uma espessura total de 850 metros para o pacote sedimentar da Bacia do Araripe.

Até meados dos anos 60, a maioria dos pesquisadores considerava a bacia isenta de perturbações tectônicas. Porém, BRAUN (1966) constatou forte movimentação dos blocos no Vale do Cariri, dividindo a coluna estratigráfica da bacia em dois compartimentos estruturalmente distintos, denominados de “Grupo Pré-Tectônico” (Siluro-Devoniano/Jurássico) e “Grupo Pós-Tectônico” (Cretáceo).

Na década de 80, SILVA (1983, 1986a, 1986b e 1988) ampliou o conhecimento sobre a geologia do Araripe estudando detalhadamente a seqüência evaporítica da Formação Santana e atribuindo a origem da bacia a movimentos transcorrentes ao longo do Lineamento de Patos. Em 1984, RAND & MANSO determinaram o arcabouço estrutural da bacia utilizando a gravimetria e magnetometria e calcularam as espessuras sedimentares totais da ordem de 2.400 m.

A Petrobras, interessada nas possíveis potencialidades petrolíferas da bacia, patrocinou vários estudos paleontológicos, geológicos e geofísicos, dentre os quais se destacam: MIRANDA et. al. (1986), GHIGNONE et al. (1986), FORTES (1983), GUERRA (1986), APPI et al. (1986), HASHIMOTO et al. (1987), BRITO NEVES (1990), APPI et al., (1990) e PONTE & APPI (1990). Alguns desses trabalhos evidenciaram uma bacia muito mais estruturada do que se admitia até então, compartimentada em blocos estruturais com espessuras sedimentares de até 1.700 metros.

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

O trabalho de revisão da coluna estratigráfica da bacia feito por PONTE & APPI (op.cit) conciliou duas concepções estratigráficas distintas: (1) o moderno enfoque da estratigrafia genética, que parte da identificação de seqüências tectono-estratigráficas naturais e dos sistemas deposicionais que as incluem e; (2) o enfoque descritivo da litoestratigrafia formal. Sendo, atualmente, a proposta estratigráfica mais utilizada para a Bacia Sedimentar do Araripe.

Nesse contexto, a figura 2 ilustra essa coluna sedimentar, que é dividida em três seções distintas, limitadas por discordâncias angulares de extensão regional e representada da base para o topo em:

- a) **Formação Mauriti**, que constitui a base da coluna sedimentar da Bacia do Araripe e tem presumível idade Siluro-Devoniana. É constituída por remanescentes de uma vasta cobertura de sedimentos terrígenos preservados em depressões do escudo cristalino, repousando diretamente sobre o embasamento. Representa um sistema deposicional fluvial entrelaçado e eólico, onde se observa a predominância de arenitos quartzosos, grossos a médios, mal selecionados e contendo camadas conglomeráticas, com seixos de até 3 cm de quartzo de origem fluvial sobre os arenitos finos de origem eólica. A estratificação cruzada de pequeno a médio porte é comum e os arenitos apresentam-se compactos e silicificados, formando rochas resistentes e capazes de sustentar até cachoeiras, como a de Missão Velha. Constitui um pacote com espessura variável entre 10 e 50m.
- b) **Grupo Vale do Cariri**, englobando as seqüências pré a sin-rifte, representadas por rochas do Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior (Neocomiano), correlatas à de uma série de pequenas bacias interiores do Nordeste e dos riftes mesozóicos da margem e borda continental brasileira. Este pacote preenche grábens e recobre horstes na região, controlados por uma série de falhas NE e NW. Reúne as formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara.
 - b.i) A Formação Brejo Santo inclui na sua base, arenitos finos, siltitos e argilitos vermelhos alternados, com intercalações ocasionais de arenitos finos vermelhos de origem fluvial meandrante, lacustre e secundariamente eólica. A parte superior é constituída por argilitos e folhelhos vermelhos ou marrons, bem estratificados e raros leitões de folhelhos verdes, representando uma associação tipicamente lacustre rasa.
 - b.ii) A Formação Missão Velha é constituída de arenitos grossos, mal selecionados, às vezes conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e acanalada de pequeno porte, brancos e amarelados, portadores de troncos e fragmentos de madeira silicificada. Possui intercalações métricas de siltitos arroxeados. Representa uma associação de arenitos fluviais, predominantemente anastomosados, mostrando uma sucessão de ciclos deposicionais granodecrescentes desde a base até o topo. Esta formação coincide com a unidade hidroestratigráfica denominada Aqüífero Missão Velha, onde estão instalados a maioria dos

poços tubulares profundos na região, o que justifica o interesse específico nesta unidade para o desenvolvimento dos serviços no projeto.

- b.iii) A Formação Abaiara reúne arenitos micáceos argilosos, finos a médios, intercalados com siltitos e folhelhos castanhos, cinzentos e verdes, bem estratificados, contendo delgadas camadas de carbonatos impuros. A associação corresponde a um sistema deposicional flúvio-lacustre sintectônico. Possui áreas de exposição modestas e restritas ao Vale do Cariri.
- c) **Grupo Araripe**, uma seqüência pós-rifte do Cretáceo médio, que forma extensos lençóis de estratos sedimentares em atitudes subhorizontais e recobre os pacotes sedimentares anteriores. É dividido nas formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu.
- c.i) A Formação Rio da Batateira é constituída por bancos de arenitos fluviais médios a grosseiros, gradando ascendentemente para arenitos médios a finos, siltitos argilosos bem estratificados e se encerrando com uma seção de folhelhos negros, orgânicos e fossilíferos. Constitui um sistema flúvio-lacustre com espessura da ordem de 200 metros no Vale do Cariri.
- c.ii) A Formação Santana é subdividida em três membros: Crato, Ipubi e Romualdo, da base para o topo. O Membro Crato constitui um pacote com espessura média da ordem de 50 metros, compreendendo folhelhos cinzas, calcíferos, laminados e calcários cinza claro e bege, argilosos e finamente laminados. Representa uma fácies de um sistema deposicional lacustre. O Membro Ipubi constitui-se predominantemente por bancos estratiformes de gipsita, com intercalações de folhelhos cinza e verdes, típicos de ambientes transicionais predominantemente evaporíticos. Todo o conjunto tem, em média, uma espessura de 30 metros. Trata-se da unidade de maior interesse econômico na Bacia do Araripe. O Membro Romualdo é composto por folhelhos e margas fossilíferos cinza-esverdeados, onde ocorre um horizonte intercalado rico em concreções carbonáticas de dimensões variadas, contendo na sua maioria peixes fósseis de alto valor científico e econômico. Seu ambiente de formação é lagunar e marinho raso e sua espessura varia entre 2 a 15 metros.
- c.iii) A Formação Arajara é representada por siltitos, argilitos, arenitos finos argilosos e/ou caulínicos, bem estratificados, exibindo estruturas sedimentares e coloração variegada, predominando as tonalidades vermelha e amarela. Seu contato inferior com o Membro Romualdo é gradacional, enquanto que com a Formação Exu sobreposta é bem marcado por uma discordância erosiva regional, segundo SILVA (1986). Trata-se de uma unidade contínua, de ambientes lagunares e marinhos litorâneos, que aflora por toda a extensão da bacia, bordejando o sopé da escarpa da Chapada do Araripe. A sua espessura é de difícil determinação, uma vez que se encontra quase sempre recoberta por depósitos de tálus provenientes da Formação Exu. Alguns poços perfurados indicam espessuras entre 36 e 100 metros.

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

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

3. O CONHECIMENTO HIDROGEOLÓGICO

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

Apesar dos conhecimentos geológicos terem avançado após a criação do IOCS, muitos poços foram construídos por leigos, de forma empírica. Após a criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), com a vinda de vários técnicos de missões estrangeiras, é que realmente se deu o grande desenvolvimento da hidrogeologia nordestina através da construção de poços com técnicas avançadas que são utilizadas até os dias atuais. Aliado a este fato, a criação dos cursos de geologia no Brasil, em 1957, e a formação das primeiras turmas de geólogos nas universidades brasileiras no início da década de 60, deu-se um grande impulso no conhecimento hidrogeológico, não só na região nordeste como também em todo o Brasil.

Em 1962 foi criado junto a Seção de Hidrogeologia da SUDENE o Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe (GEVJ) com a dupla missão técnico-didática de realizar o estudo geral das águas subterrâneas do Vale do Jaguaribe (75.000 km²) e formar os primeiros hidrogeólogos brasileiros. Os trabalhos são concentrados em torno das três bacias sedimentares, do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, ou seja, um quarto da superfície total, as quais ofereciam, comparativamente, possibilidades mais amplas de armazenar água subterrânea.

GASPARY et al. (1967) apresentam os resultados obtidos com o Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Do ponto de vista hidrogeológico, os autores definem três sistemas aquíferos na Bacia Sedimentar do Araripe: os arenitos Feira Nova, na Chapada do Araripe; os arenitos Missão

Velha no Vale do Cariri e; os arenitos Mauriti, também no vale. Todos separados por importantes níveis pouco permeáveis: as Formações Santana e Brejo Santo. As reservas totais acumuladas na Chapada do Araripe foram estimadas em $2,5 \times 10^9 \text{ m}^3$, com um coeficiente de transmissividade de $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ e permeabilidade de $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Para os aquíferos do Vale do Cariri foram encontrados os seguintes valores para os coeficientes: $T=10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $S=8 \times 10^{-3}$ e $K=1,6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, e as reservas totais acumuladas são de $1,65 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Ainda na década de 60, a SUDENE concebeu o Inventário Hidrogeológico do Nordeste, como um instrumento básico de pesquisa dos recursos de água subterrânea do Polígono das Secas, destinado a prover os conhecimentos de caráter regional, indispensáveis à definição dos estudos locais de exploração. Os trabalhos foram sintetizados em doze relatórios com mapas (1:500.000), que cobrem uma superfície de 580.000 km^2 , correspondendo a cerca de 70% da área do Polígono das Secas.

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

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

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

As dificuldades na captação de água subterrânea no topo da Chapada do Araripe motivaram MARQUES et al. (1986) a realizar do estudo de resistividade elétrica para investigar as

possibilidades hídricas subterrâneas a uma profundidade inferior a 40 metros. Concluíram que existe um aquífero descontínuo pouco profundo, com água de boa qualidade e espessura média da ordem de 10 m. Sobreposto ao aquífero ocorre, em grandes trechos, um arenito duro, por vezes silicificado, que dificulta a escavação das cacimbas.

Em 1988 a CAGECE realizou uma avaliação das condições de captação de água dos poços para abastecimento de Juazeiro do Norte. Avaliou que a disponibilidade hídrica dos dezessete poços instalados era de 2.552 m³/h e quando da instalação de novos poços em Juazeiro do Norte e Missão Velha o volume explotado será da ordem de 33,7 x 10⁶ m³/h, ou seja, três vezes maior que a reserva anual explotável estimada pelo Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe (GVJ). Recomendou o monitoramento rigoroso do nível piezométrico dos poços que abastecem essas cidades, assim como, a utilização de modelos matemáticos hidrogeológicos para que se possa ter uma visualização do rebaixamento no tempo e no espaço.

SANTIAGO, *et al.*, em 1988, realizam as primeiras análises hidroquímicas em águas subterrâneas da Bacia do Araripe. Foram analisadas doze amostras de água de fontes na Chapada e onze amostras de água subterrânea em poços profundos. Os resultados mostram a evolução da composição química através de processos de dissolução e hidrólise durante a infiltração das águas. As águas analisadas foram divididas em três grupos distintos: (i) Água de fontes situadas no contato das formações Exu e Santana, com concentração de sais muito baixa (CE \approx 30 μ S/cm) resultante de uma infiltração rápida e passagem rápida pelos arenitos da Formação Exu; (ii) Poços na Formação Missão Velha com concentração de sais muito superior a das águas das fontes, provenientes de processos de dissolução durante a infiltração que, sendo mais lenta, permite atingir um equilíbrio químico com o meio que favorece a dissolução de carbonatos e; (iii) Poços na Formação Mauriti, aqueles com maior concentração salina, com águas que refletem processos semelhantes aos ocorrentes com as águas da Formação Missão Velha, mas que são marcadas pela presença de margas no aquífero.

Em 1990, FRISCHKORN *et al.*, a partir de medições de algumas fontes do Cariri e métodos de hidrologia isotópica, caracterizaram as águas da Chapada e da Bacia do Araripe com a finalidade de testar o modelo de funcionamento do sistema aquífero proposto pela SUDENE em 1967. Avaliações hidroquímicas mostram a evolução da composição química através de processos de dissolução e hidrólise durante a infiltração da água na Chapada. Como conclusão, medidas da razão isotópica oxigênio-18/oxigênio-16 mostram que as fontes são sujeitas às variações sazonais e anuais, permitindo distinguir as contribuições de infiltração profunda através da Chapada e recarga local para a água no aquífero Missão Velha. Segundo os autores, a infiltração vertical na Chapada do Araripe é extremamente rápida, com um tempo de trânsito de poucos meses na Formação Exu.

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

Em função da importância que as águas subterrâneas representam para a região do Cariri, a CPRM implementou o Projeto AMCARI – Avaliação Ambiental da Região do Cariri, visando um melhor conhecimento e uso dos recursos naturais. Dentro dessa premissa, RIBEIRO & VERÍSSIMO (1995), utilizando os critérios de vulnerabilidade natural dos aquíferos estabelecidos por FOSTER et al. (1988) e os conhecimentos diretos da região abordada, definiram três zonas que determinam a maior ou menor facilidade de um aquífero vir a ser afetado por uma carga contaminante. A zona de maior vulnerabilidade corresponde a região de aluviões e onde afloram os arenitos das formações Missão Velha e Exu. A zona de mais baixa suscetibilidade compreende a região onde afloram as rochas cristalinas e os sedimentos da Formação Santana.

Em 1996, o Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM realizou um importante estudo hidrogeológico de caráter regional na Bacia Sedimentar do Araripe. Esse projeto teve o objetivo de avaliar o potencial hidrogeológico da bacia e estabelecer parâmetros que permitam a exploração racional das águas subterrâneas. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico de trabalhos relacionados à bacia nas diversas áreas da geologia; uma reinterpretação das linhas de reflexão sísmicas executadas pela Petrobras; um cadastramento dos poços e fontes, com realização de análises físico-químicas e alguns ensaios de bombeamento; o nivelamento barométrico dos poços; locação de sete poços estratigráficos e perfuração de um (4-BO-01-PE) no município de Bodocó-Pe e; a elaboração de mapas hidrogeológicos temáticos com a avaliação de reservas e disponibilidades. Foi proposta uma divisão hidrogeológica para a bacia em três sistemas aquíferos principais: Sistema Aquífero Superior (Formações Exu e Arajara); Sistema Aquífero Médio (Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha) e; Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo). A preocupação com a degradação dos aquíferos ficou evidente quando foi recomendada a realização de campanhas sistemáticas de monitoramento das descargas das fontes e dos níveis de água dos poços, assim como, a elaboração de normas específicas que evitem a infiltração de substâncias nocivas, tanto orgânicas como químicas.

Dada a importância da bateria de poços da CAGECE para o abastecimento público da cidade de Juazeiro do Norte, MENDONÇA em 1996 estudou as condições de armazenamento das águas exploradas por estes poços. Esta bateria é constituída de 17 poços tubulares na área do Riacho dos Macacos/Lagoa Seca. Inicialmente foram feitas: uma sinopse dos 17 perfis geológicos de perfuração para entender a estratificação da área da Bateria; uma avaliação dos testes de bombeamento para obtenção dos parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos; a interpretação das medidas químicas e isotópicas (O-18, C-14) das águas dos poços; a simulação do comportamento da bateria sob exploração com o modelo computacional MODFLOW e; a aplicação deste modelo na previsão dos rebaixamentos em condições desfavoráveis de recarga para o futuro. Foi possível identificar conexões hidráulicas entre o aquífero Rio da Batateira e o Missão Velha. O aquífero Rio da Batateira se mostra de recuperação rápida em períodos de alta pluviosidade, porém, em tempos prolongados de estiagem os rebaixamentos na área da bateria de poços chegam a atingir 45 metros.

Ainda em 1996, SILVA utilizou medidas isotópicas de carbono-14, carbono-13, oxigênio-18, trítio e deutério, além de dados hidroquímicos das águas armazenadas na Chapada do Araripe e no Vale do Cariri, para elaborar um modelo fenomenológico de circulação da água em toda a bacia sedimentar. Com esse conjunto de dados foi possível identificar três tipos distintos de exutórios, que são fontes nos contatos das formações aquíferas e percolação para formações mais profundas, e, no Vale, identificar a recarga dos aquíferos profundos através de infiltração local das águas pluviais nas áreas de recarga e por percolação através da chapada do Araripe. Também foi identificada recarga direta do aquífero mais profundo em áreas de intenso tectonismo como no horste no Mauriti e foi constatada a importante contribuição das aluviões para alimentação dos aquíferos livres. O uso de técnicas estatísticas fatoriais mostrou que os dados escolhidos como representativos de cada armazenamento são bem aferidos

Em 1998, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM executou um Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Este Programa teve como meta básica o levantamento das condições atuais de todas as fontes (poços tubulares, poços amazonas e fontes naturais). Elas captam e produzem água subterrânea existentes em cada município do Estado, fornecendo subsídios para implantação imediata, por parte dos órgãos governamentais, de ações corretivas em captações passíveis de recuperação, na expectativa de aumentar a oferta de água e minorar o drama atual da população do Ceará. Foram cadastrados 1.426 poços na sub-bacia do Salgado, com 901 (63,2%) em uso para abastecimento, sendo 837 públicos e 514 privados, com vazões variáveis de 1,7 m³/h (cristalino) até 250 m³/h (Aquífero Missão Velha – Crato), com predominância de vazões médias por município no intervalo de 2,2 (Milagres) a 31 m³/h (Barbalha) para poços em áreas sedimentares, cujas profundidades alcançam 325 metros (Juazeiro do Norte), mas com predominância entre 40 a 130 metros.

COSTA et al (1998) realizou o estudo de caracterização dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos sob os enfoques de disponibilidades, qualidade e gestão, tendo em vista a elaboração de um Plano de Desenvolvimento Sustentável para a Área de Proteção Ambiental (APA) da Chapada do Araripe, criada por Decreto Federal em 04/08/97. Além do esquema de gestão proposto para o pleno atendimento das necessidades de uso e preservação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas contidas na APA Araripe, outras ações complementares devem ser desenvolvidas, dentre as quais se destacam: o monitoramento dos dados dos postos fluviométricos, pluviométricos e dos poços existentes na região; a melhoria desses postos de observação; muitas das estações se acham abandonadas; a realização de poços profundos para um melhor conhecimento da hidrogeologia da bacia sedimentar e; realização de estudos mais detalhados sobre as águas superficiais e subterrâneas da região.

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

A Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – SRH, através da Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA, em 2001, concluiu a construção de cinco poços pioneiros na Chapada do Araripe, atendendo a recomendação do DNPM (1996). Além de suprir as demandas de água da região, este projeto teve o objetivo de consolidar o conhecimento hidrogeológico da Bacia Sedimentar do Araripe, reavaliando a capacidade produtiva dos aquíferos e possibilitando o planejamento de novos estudos hidrogeológicos. Vale ressaltar que o poço PP1 corresponde ao poço 2.AP.I-CE construído pela PETROBRAS na década de 80, e que o poço PP5 foi descartado por atingir o embasamento cristalino aos 183 m, quando os estudos indicavam uma espessura de sedimento da ordem de 420 metros. O Quadro 1 apresenta as principais características dos poços pioneiros construídos na Chapada do Araripe.

Quadro 1 - Características dos poços pioneiros na Chapada do Araripe. (*) Valor Previsto.

Poço	Município	Local	Cota (m)	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m ³ /h)
PP1	Araripe	Araripe	850	906	419	550	150
PP2	Santana do Cariri	Serra do Cruzeiro	900	902	453	500	75
PP3	Santana do Cariri	Brejo Grande	500	314	80	120	150
PP4	Araripe	Desapregado	830	702	375	430*	400*

MENDONÇA, em 2001, utilizou a modelagem isotópica e matemática para entender o funcionamento dos aquíferos da Chapada do Araripe, quantificar suas reservas e avaliar a vulnerabilidade à poluição. Na Chapada do Araripe, as reservas permanente e reguladora, a vazão média das fontes e a infiltração profunda através das fraturas no aquícluído Santana foram determinadas utilizando o modelo computacional MODFLOW. Estes valores foram comparados com valores determinados em outros trabalhos da literatura existente na época; a reserva permanente está compatível com o valor do DNPM (1996) e a reserva reguladora não apresenta diferença considerável para o valor do GEVJ (1967); o valor da infiltração profunda não foi calculado pelo DNPM (1996) e é bem diferente do valor obtido pelo GEVJ (1967). Foram simuladas as linhas de trajetórias do fluxo subterrâneo e o tempo de percurso de partículas por transporte advectivo nos aquíferos da Chapada do Araripe. Os resultados mostram uma trajetória preferencial de partículas do setor oriental da chapada, principal área de recarga, para o setor ocidental e para o aquífero Rio da Batateira, através de conexões hidráulicas no aquícluído Santana, com tempo total de percurso de respectivamente 14.000 e 30.000 anos. No setor ocidental, do poço 4-BO-01-PE (Bodocó PE) até o poço IPA (Araripina PE), onde praticamente não há recarga, e na conexão hidráulica nas imediações do poço 4-BO-01-PE, os tempos de transporte foram de respectivamente 8.475 e 24.153 anos determinadas pelo modelo de fluxo de pistão com uso de carbono-14.

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

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH contratou o Consórcio GOLDEN-PIVOT, para avaliar o potencial de água subterrânea do aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri e propor um sistema de monitoramento e gestão desses recursos hídricos. O estudo contemplou a pesquisa bibliográfica dos principais trabalhos realizados na área relacionados à geologia; o cadastramento de poços e fontes; o monitoramento quantitativo e qualitativo das águas de poços, fontes e rios; testes de bombeamento e; elaboração de um plano de operação para o aquífero Missão Velha, com uma proposta metodológica para o monitoramento e gestão de aquíferos. Em 2002 o Consórcio GOLDEN-PIVOT apresentou o Relatório Específico–Fase I, que mostra os resultados obtidos com a pesquisa bibliográfica e o levantamento geológico-estrutural de campo para reconhecimento do Gráben do Crato-Juazeiro. Traz ainda um estudo da Universidade

Federal do Ceará sobre a qualidade das águas do Cariri, sob o ponto de vista da hidroquímica, dos isotópicos ambientais e interação entre os diferentes sistemas aquíferos, onde os autores concluem que existe drenança entre os aquíferos Superior e Médio através da Formação Santana.

MARINHO, *et al.* (2002), realizou uma revisão dos estudos geoeletricos publicados anteriormente, com a reinterpretação dos dados de mais de uma centena de sondagens elétricas verticais executadas na área do Gráben Crato-Juazeiro. O objetivo deste trabalho foi a utilização da interpretação de dados de eletrorresistividade na tentativa de estabelecer uma correlação entre estes e as colunas hidroestratigráficas dos diversos blocos do Gráben Crato-Juazeiro. Como complemento aos estudos anteriores, foi realizado 21 sondagens Schlumberger com AB/2 de 1000 a 2000m. Na análise e interpretação dos dados das SEVs aplicou-se a técnica de imageamento geoeletrico como ferramenta auxiliar dos processos de interpretação/visualização dos estratos geoeletricos, tanto em colunas como em seções 2-D, inclusive com a parametrização destas através de dados de poços com perfilagem geofísica. Concluíram que a metodologia adotada foi bastante proveitosa na identificação dos sistemas aquíferos da bacia, como também na delimitação do gráben e seus sub-blocos, constituindo-se em uma excelente ferramenta no estudo da hidroestratigrafia da Bacia do Araripe.

Em 2003, KIMURA propõe um modelo de escoamento subterrâneo para o gráben Crato - Juazeiro, na sub-bacia do Cariri, onde o denominado Sistema Aquífero Médio se comporta com um aquífero livre sob a Chapada do Araripe, não formando um sistema hidráulico contínuo com o Sistema Aquífero Superior. Através do balanço hídrico, foram quantificadas as reservas renováveis dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior em $5,4 \times 10^7$ m³/ano e $4,8 \times 10^6$ m³/ano, respectivamente. São explotados pelos poços tubulares na região $4,0 \times 10^7$ m³/ano e $8,4 \times 10^5$ m³/ano desses sistemas aquíferos. Considerando-se que toda reserva renovável pode ser explotável, restariam ainda $1,3 \times 10^7$ m³/ano e $4,0 \times 10^6$ m³/ano dos Sistemas Aquíferos Médio e Inferior, respectivamente, a serem explorados.

MACHADO, em 2005, desenvolveu um modelo de fluxos subterrâneos na Bacia Sedimentar do Araripe com base em processos geoquímicos. Neste trabalho foi analisado o comportamento hidrogeoquímico e hidroisotópico através de um cálculo numérico do fluxo de água subterrânea e uma análise estatística do conjunto de dados para as águas subterrâneas na região compreendida pelo Gráben do Crato-Juazeiro. O uso da hidrogeoquímica permitiu uma análise da qualidade das águas, assim como uma “inversão hidrogeoquímica” segundo processos compatíveis com a mineralogia e estratigrafia da bacia. O uso dos isótopos de ¹⁸O, ²H, e ¹⁴C permitiu identificar efeitos antrópicos nos centros urbanos das cidades da região. A modelagem numérica do fluxo de água subterrânea através das formações geológicas da Chapada do Araripe até o Vale do Cariri, na Formação Rio da Batateira, demonstrou a percolação da água subterrânea pelo aquíclode Santana,

através de suas falhas, fraturas ou veios. A análise estatística fatorial R-modal, que enfoca a inter-relação entre parâmetros que identificam as amostras d'água, identificou os principais processos hidrogeológicos de formação destas águas, e a análise fatorial Q-modal, cujo enfoque é a inter-relação das amostras entre si, agrupou amostras a segundo características comuns.

Atualmente, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, através de convênio com a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, vem desenvolvendo na bacia do Araripe o projeto “Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil”. Este estudo tem a finalidade de resgatar a importância do conhecimento hidrogeológico como propulsor do desenvolvimento sócio-econômico regional. As ações iniciam pelo levantamento do conhecimento existente, passam pela caracterização geológica e geométrica da bacia, pela caracterização hidrogeológica e hidroquímica, e culmina com a proposição de elementos de suporte a gestão das águas subterrâneas.

4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, N.F.R. Novos elementos sobre a hidrogeologia do Alto Jaguaribe – Ceará. Recife. 1963.
- ANJOS, F.T. Estudos hidrogeológicos do aquífero Rio da Batateira e caracterização da possibilidade de abastecimento d'água nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – Ce, no ano de 2020. Centro de Tecnologia e Geociências, UFPe. Recife. 150p. 2000.
- APPI, C.J.; HASHIMOTO, A. & FREITAS, E.L. Fácies sedimentares e seqüências deposicionais no neo-Alagoas da Chapada do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Goiânia. Boletim de resumos..., SBG. P47. 1986.
- APPI, C.J.; PONTE, F.C. & SILVA-TELLES JR. Geologia da Bacia Sedimentar do Araripe. Petrobras – CENPES – DIVEX. Rio de Janeiro. 1990.
- ASSINE, M.L. Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, Rio Claro. IGCE, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, Dissertação de Mestrado, 124p. 1990.
- BARROS, F.C. Sobre a sistemática da Série Araripe. Rev. Eng. Min. Metal.,218:52. 1963.
- BRAUN, O.P.G. Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil (Bacias do Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe). Rio de Janeiro. DGM/DNPM, Boletim nº 236. 1966.
- BEURLEN, K. A geologia da Chapada do Araripe. In Academia Brasileira do Ciência, Anais, 34(3):365-370. 1962.
- BEURLEN, K. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 17. Recife. Publicação especial. SGB. p.47. 1963.
- BRITO NEVES, B.B. A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. In: Simp. Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1. Crato, atas..., DNPM/SBP/SBG. p:01-18. 1990.

- CAGECE. Captação de Juazeiro do Norte: condições de exploração dos poços. Relatório de conclusão. Fortaleza. 1988.
- CALDASSO, A.L.S. Geologia da Quadrícula 094E – Folha Crato. Recife. SUDENE. Série Geologia Regional, nº 3. 65p. 1967.
- COGERH. Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Rio Jaguaribe. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. CD-ROM. 1999.
- COGERH/ GOLDBERGER-PIVOT. Implantação do sistema de monitoramento e gestão de uma área piloto do aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri. Relatório Específico – Fase I. Fortaleza: SRH/COGERH, 90p. Inédito. 2002.
- COSTA, W.D.; NETO, M.S.C.C. & SOUZA, F.J.A. Plano de Gestão da APA da Chapada do Araripe – CE/PE/PI – Estudo dos Recursos Hídricos. FUNDETEC. 99p. 1998.
- CPRM. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Diagnósticos Municipais. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Fortaleza. 1998.
- CRUZ, W.B. & FRANÇA, H.P.M. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste, Folha 14 – Jaguaribe SO. Recife. SUDENE/DRN. Série Hidrogeologia, nº 31. 22p. 1970.
- DNPM. Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Recife, Departamento Nacional da Produção Mineral, Distritos Regionais de Pernambuco e Ceara. 101p. 1996.
- FORTES, F.P. Estudo morfo-estrutural da Chapada do Araripe. Natal. Petrobras/DIAGUAR/DIREX. Inédito. 1983
- FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C.. Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas - metodo de reconocimiento basado en datos existentes CEPIS-OPS, Lima, Perú; Versión preliminar, 84p. 1988.
- FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.F. & BRASIL, R. Aspectos hídricos do Cariri. In: Simp. Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1. Crato, 1990. Atas, DNPM/SBP/SBG. p.99-110. 1990.
- SRH. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Fortaleza. v 1-4 1992.
- GASPARY, J. & ANJOS, N.F.R. Estudo hidrogeológico de Juazeiro do Norte – Ceará. Recife, SUDENE. Série Hidrogeologia, nº 3. 25p. 1964.
- GASPARY et al. Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Recife, Série Hidrogeologia 7, 245p. 1967.
- GHIGNONE, J.I.; COUTO, E.A. & ASSINE, M.L. Estratigrafia e Estrutura das Bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe. In: SBG. Congresso Brasileiro de Geologia, 34. Goiânia, Anais, 1:271-285. 1986.

- GUERRA, S.M.S. Análise morfo-estrutural da Bacia do Araripe. In: Congresso Brasileiro do Petróleo, Rio de Janeiro, Anais... vol TT-119, 12p. IBP/Petrobras. 1986.
- HASHIMOTO, A.T.; APPI, C.J.; SOLDAN, A.L. & CERQUEIRA, J.R. O neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica e paleoambiental. Revista Brasileira de Geociências, 17(2):118-122. 1987.
- KIMURA, G. Caracterização hidrogeológica do sistema sedimentar do Gráben Crato-Juazeiro, no Vale do Cariri (Ce). Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte. 180p. il. 2003.
- MACHADO, C.J.F. Modelagem geoquímica e de fluxos do sistema aquífero subterrâneo na Bacia Sedimentar do Araripe. Tese de Doutorado. Centro de Ciências.-UFC. Fortaleza. 157p. 2005.
- MARINHO, J.M.L.; CORDEIRO, W.; VASCONCELOS, S.M.S & SOUZA, M.L. Estudos hidro-estratigráficos da Bacia do Araripe, Ceará, utilizando eletroresistividade. XII Congresso Brasileiro de Água Subterrânea, Anais. Florianópolis. 2002.
- MARQUES, A.A.; MACEDO, I.P.; MARINHO, J.M.L. & OLIVEIRA, R.R. de. Eletroresistividade aplicada à prospecção de água subterrânea na Chapada do Araripe – Ceará. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 3. Fortaleza, Anais..., 2:269-284. 1986.
- MENDONÇA, L.A.R. Modelagem matemática, química e isotópica de uma bateria de poços na cidade de Juazeiro do Norte – Ceará. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Dissertação de Mestrado, 122p. 1996.
- MENDONÇA, L.A.R. Recursos Hídricos da Chapada do Araripe. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Tese de Doutorado, Fortaleza, 193p. 2001.
- MIRANDA, L.O.S.; FERRARI, M.P. & VIANA, R.B. Prospecção sísmica de reconhecimento na Bacia do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Petróleo, 3. Rio de Janeiro, Anais...IBP/Petrobras. Boletim TT-158, 11p. 1986.
- NEUMANN, V.H.de M. Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptiense-Albienses de la Cuenca de Araripe (Noreste de Brasil). Facultad de Geología, PLANAT. Captação de Juazeiro do Norte: Dimensionamento das condições de exploração dos poços tubulares. Cagece. Relatório Técnico. Fortaleza. 1976.
- PLANAT. Captação de Juazeiro do Norte: Estudo geofísico por eletroresistividade. Cagece. Relatório Técnico. Fortaleza. 1984.
- PONTE, F.C. & APPI, C.J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal, Anais, 1:211-226. 1990.
- PONTE, F.C. Arcabouço estrutural e evolução tectônica da bacia mesozóica do Araripe, Nordeste do Brasil. In: F.C.Ponte et al. (coord) – Geologia das Bacias Sedimentares Mesozóicas do Interior do Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro. Petrobras/CENP. 1991.

- SANTIAGO, M.F.; FRISCHKORN, H.; BEZERRA, A. & BRASIL, R. Medidas hidroquímicas em poços e fontes do Cariri –Sul do Ceará. In: ABAS. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 5. São Paulo, Anais, 112-120. 1988.
- SILVA, M.A.M. The Araripe Basin, Northeast Brazil. Regional geology and fácies analysis of a Lower Cretaceous evaporitic depositional complex. New York, Columbia University, Graduate School of Arts and Sciences, PhD. Thesis, 287p. 1983.
- SILVA, M.A.M. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(3):306-310. 1986a.
- SILVA, M.A.M. Lower Cretaceous unconformity sedimentary sequences in the Araripe Basin, Northeastern Brazil: a revision. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(3):311-319. 1986b.
- SILVA, M.A.M. Evaporitos do Cretáceo da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. *Bol. Geoc. PETROBRAS*, 2(1): 53-63. 1988.
- SILVA, C.M.S.V. Modelo fenomenológico para circulação da água na bacia sedimentar do Cariri com base em isótopos e hidroquímica. Departamento de Física. Universidade Federal do Ceará. Tese de Doutorado. Fortaleza. 162p. 1996.
- SMALL, H. L. Geologia e suprimento de d'água subterrânea no Ceará e Parte do Piauí. Rio de Janeiro. Inspetoria de Obras Contra as Secas, série 7D, publicação nº 25: 80p, il. 1913.
- Universitat de Barcelona, Barcelona, Tese de Doutorado, 250p. 1999.
- SUDENE. Série Hidrogeologia, nº 1. 19p. 1963.
- RAND, H.M. & MANSO, V.A.V. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: SBG. Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Rio de Janeiro, Anais, 4:2011-2016. 1984.
- RIBEIRO, J.A. & VERÍSSIMO, L.S. Vulnerabilidade natural das unidades aquíferas. Projeto Avaliação Ambiental da Região do Cariri (Projeto ANCARI): Fortaleza, CPRM. 30p. il (Série Recursos Hídricos). 1995.