

# MAPA DE CLASSIFICAÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

*Eugenio Antonio de Lima<sup>1</sup>; Valdir José Beraldo<sup>2</sup>; Selma Chaves Guilera<sup>3</sup>;  
Luiz Carlos Ribeiro Brandão<sup>4</sup>; Estácio Alves Costa<sup>5</sup> & Regina Maria Pereira Coutinho<sup>6</sup>*

**RESUMO** --- O Mapa de Classificação Química das Águas Subterrâneas da Região Nordeste do Brasil utiliza um banco de dados correspondente a 4.416 resultados de análises físico-químicas completas. Neste mapa são delimitados domínios quimicamente homogêneos com base no Diagrama Triangular de Feré, que estabelece a classificação química das águas a partir dos percentuais relativos dos principais cátions e ânions (Cálcio, Magnésio, Sódio, Cloreto, Sulfato e Bicarbonato), fornecendo uma caracterização geral do comportamento químico das águas subterrâneas da região. Em termos gerais, observa-se um grande predomínio de águas cloretadas (sódicas e mistas), oriundas principalmente de rochas do embasamento cristalino, especialmente na zona de maior aridez – o Polígono das Secas – e de águas bicarbonatas-mistas, provindas quase sempre de rochas de origem sedimentar.

**ABSTRACT** --- The Map of Chemical Classification of the Underground Waters of Northeast Brazil uses a database corresponding to results of 4,416 complete physical-chemical analysis. It delimitates chemically homogeneous domains based on Feré Diagram, that establishes the chemical classification of waters using the relative percentuals of the main cations and anions (Calcium, Magnesium, Sodium, Chloride, Sulphate, and Bicarbonate), providing a general characterization of the chemical behaviour of the underground waters of the region. In general, it is observed an ample predominance of chlorided waters (those of sodium content and mixed ones), originated mainly from the crystalline rocks, especially at the drier zone, the so-called “Polígono das Secas” (Drought Poligone), and from mixed-bicarbonated waters, usually originated from sedimentary rocks.

**Palavras-chave:** classificação química; águas subterrâneas; Região Nordeste.

---

<sup>1</sup> Geólogo, Pesquisador em Inf. Geográficas, IBGE; Gerência de Recursos Naturais e Meio Ambiente – UE/BA; Av. Pres. Castelo Branco, 750 – Edf. Centralvalle, 4º andar – Vale de Nazaré; CEP: 40.046-900; Salvador; BA; Brasil; fone: (71) 21058682; fax (71) 21058658; e-mail: eugenio.lima@ibge.gov.br.

<sup>2</sup> Geólogo, Tecnologista em Inf. Geográficas, IBGE; Gerência de Recursos Naturais e Meio Ambiente – UE/BA; Av. Pres. Castelo Branco, 750 – Edf. Centralvalle, 4º andar – Vale de Nazaré; CEP: 40.046-900; Salvador; BA; Brasil; fone: (71) 21058682; fax (71) 21058658; e-mail: valdir.beraldo@ibge.gov.br.

<sup>3</sup> Analista de Sistemas, Tecnologista em Inf. Geográficas, IBGE; Gerência de Recursos Naturais e Meio Ambiente – UE/BA; Av. Pres. Castelo Branco, 750 – Edf. Centralvalle, 3º andar - Vale de Nazaré ; CEP 40.046-900; Salvador ; BA; Brasil; fone: (71) 21058674 ; fax (71) 21058658; e-mail: sel@ibge.gov.br.

<sup>4</sup> Analista de Sistemas, Pesquisador em Inf. Geográficas, IBGE; Gerência de Recursos Naturais e Meio Ambiente – UE/BA; Av. Pres. Castelo Branco, 750 – Edf. Centralvalle, 3º andar - Vale de Nazaré ; CEP 40.046-900; Salvador ; BA; Brasil; fone: (71) 21058672 ; fax (71) 21058658; e-mail: lbrandao@ibge.gov.br.

<sup>5</sup> Técnico em Informações Geográficas, IBGE; Gerência de Recursos Naturais e Meio Ambiente – UE/BA; Av. Pres. Castelo Branco, 750 – Edf. Centralvalle, 3º andar - Vale de Nazaré ; CEP 40.046-900; Salvador ; BA; Brasil; fone: (71) 21058673 ; fax (71) 21058658; e-mail: estacio@ibge.gov.br.

<sup>6</sup> Geógrafa, Tecnologista em Inf. Geográficas, IBGE; Gerência de Recursos Naturais e Meio Ambiente – UE/BA; Av. Pres. Castelo Branco, 750 – Edf. Centralvalle, 3º andar - Vale de Nazaré ; CEP 40.046-900; Salvador ; BA; Brasil; fone: (71) 21058673 ; fax (71) 21058658; e-mail: regina.coutinho@ibge.gov.br.

## 1 – INTRODUÇÃO

A avaliação dos recursos hídricos disponíveis – tanto nos mananciais de superfície quanto nos mananciais de subsuperfície – constitui-se numa preciosa informação para os diversos setores da sociedade, haja vista que a água representa um recurso fundamental – mormente para a Região Nordeste, face à sua carência e aos graves problemas sociais e econômicos decorrentes da estiagem.

As reservas brasileiras de água doce – que representam aproximadamente 12% do volume total mundial – não estão distribuídas de maneira uniforme: a Região Amazônica, por exemplo, onde reside apenas 7% da população, detém 78 % das águas superficiais brasileiras, enquanto que na Região Nordeste (28% da população), se concentram apenas 3% desses recursos – daí a grande importância que as águas subterrâneas têm para esta região.

O gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil tem exigido pesados investimentos dos órgãos setoriais, envolvendo projetos, estudos de pesquisa e programas governamentais, visando suprir a infra-estrutura básica dos diferentes segmentos públicos e privados relacionados ao uso da água. No Nordeste, este panorama tem como obstáculos a premente necessidade e a relativa escassez desse recurso natural no processo de desenvolvimento regional. Historicamente, tem prevalecido a opção por empreendimentos de grande vulto, de eficiência duvidosa e com retorno muitas vezes abaixo da expectativa ou – da pior maneira – intervenções emergenciais cujos resultados práticos são bastante contestáveis, principalmente no tocante à redução da pobreza e mitigação dos graves desníveis regionais. Levando em conta que a melhoria e a manutenção da qualidade da água é uma questão que merece ser levada realmente a sério, se faz mister realizar-se avaliações pormenorizadas das características das águas, cujo conhecimento trará benefícios sociais explícitos nas ações de planejamento, envolvendo custos e benefícios. É, portanto, necessário que essas ações se integrem de vez às políticas e prioridades setoriais e venham produzir resultados significativos capazes de influenciar o processo de redução dos desequilíbrios regionais e sociais.

Desta feita, o conhecimento da qualidade da água é parte integral e elemento essencial no processo de desenvolvimento social e econômico do Nordeste – região geográfica que, em condições normais, apresenta evidente déficit hídrico, proporcionado por índices pluviométricos reduzidos e irregularmente distribuídos ao longo do ano.

O objetivo geral desta avaliação é, portanto, oferecer – a partir de uma base de dados de análises físico-químicas de águas subterrâneas coletadas no trato da Região Nordeste – uma visão geral da composição iônica dessas águas, bem como, estimular a discussão de propostas para a utilização racional dos recursos hídricos em escala regional. Esta análise permite apresentar para o conjunto da área um documento cartográfico que traduz, em termos gerais, as principais classes químicas de águas subterrâneas da região.

## 2 - ASPECTOS GERAIS DA ÁREA

A Região Nordeste corresponde à faixa leste-setentrional do território brasileiro que abrange nove dos vinte e seis estados da federação, localizados desde o Maranhão até a Bahia. Toda a porção leste e norte da área é banhada pelo Oceano Atlântico, sendo as capitais de maior destaque Salvador, Recife e Fortaleza. As principais atividades econômicas da região são a extração de petróleo, a indústria petroquímica, a cana-de-açúcar, o cacau, a soja, a exploração de sal marinho, a fruticultura e o turismo. O referido espaço geográfico tem seus limites grosseiramente inscritos entre as longitudes 34° 30' e 49° 00' WGr e as latitudes 01° 00' e 18° 30' S, ocupando uma superfície de 1.554.257 km<sup>2</sup>, dos quais 936.993 km<sup>2</sup> correspondem ao traçado original do Polígono das Secas (Lei Nº 1.348, de 10/02/51), caracterizado por condições climáticas semi-áridas, com precipitações pluviométricas escassas e irregulares e grandes períodos de insolação e evaporação, responsáveis por uma acentuada deficiência hídrica anual. Essas irregularidades climáticas se fazem sentir periodicamente, tanto por secas como por inundações, que muitas vezes assumem proporções catastróficas.

A localização geográfica da área – próxima à linha do Equador – a coloca sob a influência de diferentes massas de ar (Intertropical, Frente Polar Atlântica e Alísios de Leste e Sudeste), as quais sofrem, localmente, a interferência das configurações do relevo – o Planalto da Borborema é um bom exemplo deste fato. A porção central da Região Nordeste – o Polígono das Secas – corresponde a uma zona de transição que sofre influências alternadas de uma ou mais dessas massas de ar, embora de maneira pouco intensa – este, provavelmente, um dos fatores determinantes da semi-aridez que caracteriza esta região. Na zona litorânea, o clima quente e úmido condiciona a comum ocorrência de chuvas intensas; no meio-norte, o clima tropical-úmido caracteriza-se por estações chuvosas e secas bem definidas. Em toda a região, as isoietas apresentam grande diversidade, variando desde 400 mm/ano, na porção semi-árida central, chegando a atingir mais de 2.000 mm/ano no litoral – Cabaceiras, na Paraíba, é o município com menor índice pluviométrico do Brasil. Na região litorânea, entre a Bahia e o Ceará, o período chuvoso concentra-se nos meses de março a junho (inverno) e os meses de novembro a fevereiro são os mais quentes; em direção à Amazônia (Meio-Norte), o período de inverno sofre variações, sendo os meses de novembro a maio os mais chuvosos. Na zona do sertão as precipitações ocorrem no período novembro-fevereiro (verão-outono), enquanto a estiagem – mais pronunciada – muitas vezes se estende por até oito meses. O potencial de evaporação é bastante elevado e durante quase o ano inteiro as temperaturas permanecem elevadas. A temperatura média anual da região deve ficar em torno de 24 a 27°C e os meses de julho e agosto são normalmente os mais frios do ano. Na maior parte da área a vegetação primitiva – a caatinga (sertão), os cerrados e as florestas ombrófilas e semidecíduais (zona da mata

e agreste) – encontram-se em boa parte substituídas por pastagens, agroindústrias e agriculturas de subsistência.

### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado um levantamento das informações hidrogeológicas disponíveis para a área em vários órgãos governamentais. Posteriormente, foram programadas operações de campo, destinadas a executar estudos de reconhecimento hidrogeológico, incluindo visitas a vários poços tubulares e coletas sistemáticas de águas subterrâneas.

Os resultados das análises físico-químicas foram incorporados a um banco de dados, onde os elementos químicos tiveram a unidade mg/l convertida para meq/l, sendo, posteriormente, reprocessados com relação a percentagem do total de ânions e cátions, separadamente. A partir desses percentuais, a determinação das classes químicas de água foi realizada utilizando-se o Diagrama Triangular de Feré (1955, *apud* SUDENE, 1972), que consiste num conjunto de dois triângulos equiláteros, dispostos base a base, em que, o superior, expressa a percentagem do total dos cátions e o inferior a dos ânions (fig.1). Destarte, cada amostra é representada por dois pontos – um em cada um dos triângulos – que assim definem os dois principais constituintes químicos (cátion e ânion) das águas.

Os resultados dessa classificação foram migrados e georreferenciados no MicroStation, viabilizando-se, assim, o estabelecimento de unidades homogêneas que guardam características mais ou menos similares no âmbito de seus domínios. As características gerais de cada unidade, suas condições adequadas de exploração e aplicabilidade das águas subterrâneas são extensivas ao conjunto de toda a unidade, com limitações devido às variações locais ou pela falta específica de informações.

Todas as análises físico-químicas são procedentes de poços tubulares e a maior parte delas foi obtida em órgãos governamentais, como: SUDENE, DNOCS, CERB(BA), CASAL(AL), CPRM, CAEMA(MA), CDRM(PB), CDM(RN), FUNCEME(CE) e COHIDRO(SE). Os resultados são apresentados na unidade mg/l e, conforme já frisado anteriormente, foram posteriormente transformados em meq/l para permitir a plotagem no Diagrama de Classificação Química de Feré.

No presente estudo, os pontos amostrados foram plotados em base cartográfica elaborada pelo Setor de Tratamento Gráfico do IBGE da Bahia, a partir da compilação de folhas planimétricas do Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:250.000, oriundas das interpretações de imagens semicontroladas de radar, atualizadas por imagens de satélite (GEOCOVER e CBERS).

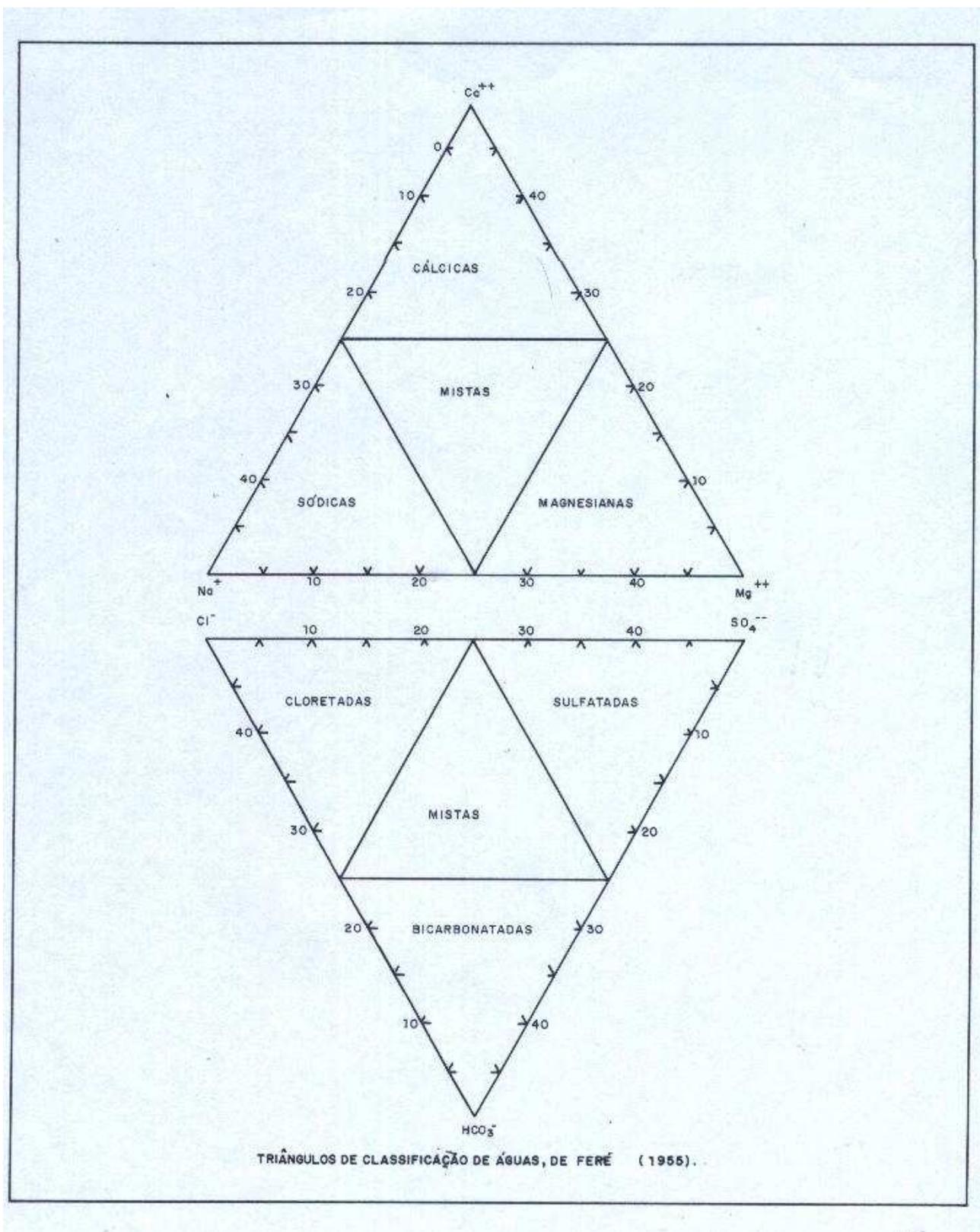


Figura 1 - Diagrama Triangular de Feré (1955, *apud* SUDENE, 1972)

As áreas de menor densidade de amostragem são: a porção oriental da Bacia do Parnaíba, o oeste da Bahia, o sul do Piauí e o Estado de Alagoas. Nestas áreas, foram necessárias algumas extrapolações, que, embora possam suscitar dúvidas ou constituir motivo de imprecisão, possivelmente, não incorrerão em erro considerável, haja vista que o grau de detalhamento exigido

para a escala do estudo e a grande homogeneidade dos litotipos que aí ocorrem justificam em muitos casos este procedimento; ademais, o processo de elaboração dos mapas hidroquímicos é contínuo e, no futuro, com a introdução de novos dados, essas possíveis imprecisões poderão ser corrigidas. Por outro lado, não foi realizado nenhum programa de amostragem periódica (sazonal) e, assim, a evolução da salinidade e as variações químicas ao longo do ano não puderam ser avaliadas. Em certos locais – mesmo aqueles com boa densidade de amostragem – a definição de zonas quimicamente homogêneas foi realizada com certo grau de dificuldade, devido à grande diversidade de tipos químicos, ou seja, não se chega a constatar espacialmente o predomínio de um tipo sobre outro – fato bastante comum na porção central da região (agreste e sertão de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte), onde concorrem praticamente em igualdade e com grandes misturas as classes Cloretada-Mista e Cloretada-Sódica. Com relação à profundidade, as amostras extraídas de rochas do embasamento cristalino provêm de fraturas geralmente localizadas a menos de 70 metros, enquanto que as oriundas de áreas sedimentares apresentam ampla variedade de horizontes produtores – vão desde poucos metros, em áreas sedimentares pouco espessas (aluviões, manto de alteração, dunas e Grupo Barreiras), a até mais de 500 metros (Bacias Sedimentares do Parnaíba, do Recôncavo-Tucano-Jatobá, Sergipe-Alagoas, Pernambuco-Paraíba e Potiguar). Por outro lado, a evolução da salinidade em relação à profundidade e a identificação de horizontes produtores não foram avaliadas, em função da dificuldade de se identificar as possíveis misturas das águas de diferentes níveis aquíferos.

O mapa em questão foi elaborado pela Gerência de Recursos Naturais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística da Bahia (IBGE-GRN/BA) e tem como principal objetivo oferecer para o conjunto da Região Nordeste um diagnóstico das principais características químicas dos recursos hídricos subterrâneos. Esta investigação vem sendo executada ao longo dos últimos onze anos e reúne um acervo de mais de 17.000 análises físico-químicas, das quais apenas 4.416 foram selecionadas – por apresentarem boa consistência e possuírem todos os elementos necessários à classificação química. Integram este banco de dados análises físico-químicas oriundas dos Inventários Hidrogeológicos Básicos do Nordeste - SUDENE: nº 3 (1979), nº 4 (1977), nº 7 (1979), nº 11 (1979), nº 12 (1979), nº13 (1978), nº17 (1979), nº 22 (1979), nº 28 (1978), nº 32 (1980), Braz e Caetano, 1970 e Cruz e França, 1970, os relatórios do Projeto RADAMBRASIL elaborados por Barros *et al* (1981), Stamford *et al* (1983) e Folha SD.24 (1999), o cadastro de poços da CERB (1975/1981), além de centenas de amostras coletadas pelo IBGE em várias campanhas de campo, no período 1997/2009. São, desta feita, geoespacializados os vários domínios quimicamente homogêneos concebidos para a região. Os estudos tentam contribuir para o conhecimento do comportamento químico das águas subterrâneas do Nordeste – região mais carente de recursos hídricos no Brasil – oferecendo, assim, subsídios para o planejamento e uso racional dos recursos

hídricos em escala regional.

A continuidade dos levantamentos vem contribuindo para uma atualização das informações do banco de dados. Por outro lado, quanto maior o volume e melhor a qualidade dos dados hidroquímicos específicos, melhor a definição das unidades formuladas, ou seja, o processo de seleção de zonas mais e menos propícias à utilização dos recursos hídricos é dinâmico – função da evolução do conhecimento hidrogeológico. Conforme citado anteriormente, poderá uma certa unidade, no futuro, ser subdividida ou mesmo modificada sempre que surgirem novas informações técnicas interessantes.

#### **4 - PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS**

À luz dos conhecimentos, levando-se em conta o conjunto de fatores que caracterizam os aquíferos e que determinam a vocação hidrogeológica das unidades lito-estratigráficas, pode-se dividir ou agrupar o grande conjunto aquífero da região Nordeste em três grandes províncias ou domínios hidrogeológicos: granular, fissural e cárstico.

A Província Granular reúne rochas sedimentares inconsolidadas a pouco consolidadas, cujo caminho de percolação das águas subterrâneas é estabelecido a partir dos vazios intergrãos. Fazem parte deste conjunto, na região, as bacias sedimentares do Parnaíba, Recôncavo-Tucano-Jatobá, Potiguar, Araripe, Pernambuco-Paraíba, Sergipe-Alagoas, Sousa, Iguatu, Fátima e outras menores, além dos clásticos da Formação Urucuia, do Grupo Barreiras e sedimentos quaternários (coberturas detríticas, dunas, aluviões, etc).

A Província Fissural encontra-se representada por rochas do embasamento cristalino (ígneas e metamórficas), cujas idades vão desde o Neo-Proterozóico ao Arqueano e corresponde a uma unidade geóidrica de porosidade intergranular praticamente nula, sendo a mais extensa das províncias hidrogeológicas da região. O meio aquífero está representado pelas fraturas e diáclases interconectadas e abertas e apresenta, em geral, potencial hidrogeológico fraco, seja pelo aspecto quantitativo (devido às condições deficientes de alimentação e circulação) seja pelo aspecto qualitativo (por apresentarem, via de regra, águas com alto teor salino). Os terrenos cristalinos, face à fraca permeabilidade primária que apresentam, são comumente negligenciados com vistas à exploração de águas subterrâneas. Entretanto, a presença de manchas aluviais determina melhores condições de recarga e maiores possibilidades de exploração das águas subterrâneas, bem como os reservatórios contidos nos mantos de alteração – verdadeiras zonas aquíferas sobrepostas às fraturas – que cumprem um importante papel no contexto hidrogeológico regional, facilitando as recargas provenientes principalmente das precipitações pluviométricas. Em linhas gerais, o sistema cristalino compreende um meio fraturado, heterogêneo, do tipo livre, cujas possibilidades residem principalmente na interceptação de fraturas produtoras. Os fatores climáticos impõem restrições,

principalmente pelas chuvas escassas e irregulares – a principal fonte de recarga. A circulação em subsuperfície se dá com gradientes em geral baixos, em direção aos cursos d'água – os níveis de base regionais. Parcelas consideráveis destinadas ao armazenamento hídrico subterrâneo sofrem processos de exsudação, principalmente através da evapotranspiração, durante e imediatamente após as chuvas, em virtude das elevadas temperaturas anuais, mormente no verão – época das chuvas.

Já a Província Cárstica, engloba praticamente as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (região central e centro-oriental do Estado da Bahia), os metacarbonatos da Formação Olhos d'Água (região oeste de Sergipe), além de boa parte dos calcários das Formações Jandaíra (Bacia Potiguar) e de outras bacias sedimentares menores. Hidrogeologicamente, consiste num sistema de vazios composto por juntas de estratificação e um intenso fraturamento que se encontram ampliados pela dissolução cárstica e por onde migram as águas subterrâneas, havendo, paralelamente, uma dissolução da rocha pelo CO<sub>2</sub>, ampliando os condutos aquíferos. A capacidade de produção dos poços varia amplamente de local a local, denotando a forte anisotropia do meio aquífero, que varia, sobretudo, em função do grau de carstificação e do fendilhamento, em escala local e regional. Os resíduos secos exibem valores geralmente entre 500 e 1.500 mg/l e essas variações devem ser comandadas, principalmente, pela carstificação e pela pluviometria.

As águas subterrâneas armazenadas em cada uma dessas províncias hidrogeológicas estão distribuídas numa série de vários sistemas aquíferos, no interior dos quais podem ser considerados os movimentos de água subterrânea independente das condições existentes fora de seus limites.

## **5 – RESULTADOS**

Ao estudar-se o arcabouço geológico da região nordestina e sua influência no comportamento hidrogeológico das unidades, constata-se que, principalmente nas análises físico-químicas de águas procedentes do embasamento cristalino, onde as salinidades costumam ser elevadas, aquelas classificadas como Cloretadas-Sódicas e Cloretadas-Mistas (82%) são dominantes. Por outro lado, as Bicarbonatadas-Mistas são o tipo químico mais frequente nos grandes conjuntos de rochas sedimentares da área (Bacia do Parnaíba, Bacia do Araripe, Bacia de Souza, Arenitos Urucua e os sedimentos costeiros localizados entre o Rio Grande do Norte e Pernambuco), ocorrendo também com relativo destaque na região oeste do Estado da Paraíba. As águas Cloretadas (sódicas e mistas) são frequentes sobretudo numa extensa faixa que se estende pelas regiões do agreste e sertão dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia – no âmbito do Polígono das Secas – , bem como em grandes trechos da Bacia Sedimentar do Jatobá, entre Pernambuco e Bahia (Anexo I).

Em quase totalidade das amostras classificadas como Cloretadas-Sódicas e Cloretadas-Mistas observa-se com relativa constância a relação:  $rCl > rHCO_3 > rSO_4$ . Em se tratando dos cátions, a relação  $rNa > rMg > rCa$  predomina entre as Cloretadas-Sódicas, enquanto que nas Cloretadas-Mistas a relação  $rNa > rCa > rMg$  é ligeiramente frequente (55%).

Nas águas com salinidades mais reduzidas (resíduo seco inferior a 1.000 mg/l) ocorre um predomínio das Bicarbonatadas-Mistas, que chegam a atingir 87%; enquanto que ao analisar-se o grupo das Cloretadas-Sódicas, constata-se que 74 % das amostras apresentam resíduos secos na faixa compreendida entre 1.000 e 10.000 mg/l. Naquelas águas classificadas como Bicarbonatadas, ao considerar-se a relação entre os ânions, observa-se que o subgrupo químico  $rHCO_3 > rCl > rSO_4$  é o mais frequente.

As águas Mistas (Cloretadas e Bicarbonatadas) são bastante frequentes na Região Nordeste. O caráter misto indica tratar-se de águas em que não há grande predominância de um íon sobre outro e as proporções de cada elemento em relação ao total são relativamente equilibradas – característica bem evidente ao realizar-se a plotagem no Diagrama de Feré, quando essas amostras de água tendem a ocupar a região central do triângulo. São águas de salinidades geralmente reduzidas e em 42% das análises processadas o resíduo seco é inferior a 500 mg/l.

As rochas cristalinas, por possuírem reduzida capacidade de armazenar e circular suas águas subterrâneas, apresentam uma concentração muitas vezes excessiva de sais, especialmente onde são mais deficientes as condições de recarga a partir das precipitações pluviométricas. Segundo Cruz e Melo (1974), a salinização das águas subterrâneas do cristalino do Nordeste do Brasil é decorrente da concentração por evaporação e cresce na medida em que as condições naturais (temperatura e precipitação) tornam-se mais desfavoráveis, ou seja, a concentração total de sais tem relação direta com o zoneamento árido, observando-se, paralelamente, um aumento de  $Cl^-$ ,  $Na^+$  e  $Mg^{2+}$ .

O grupo das águas Sulfatadas ocorre de maneira bastante dispersa na região e restringe-se a pequenas ocorrências, a maior parte delas observadas na Bacia Sedimentar do Parnaíba. Assim, são assinaladas no mapa ocorrências em Simplício Mendes (PI), Piracuruca (PI) e Tianguá (CE), onde estão geralmente associadas às formações paleozóicas Serra Grande, Pimenteiras e Cabeças.

No âmbito da província fissural da região – afora alguns grupos de águas cálcicas, sulfatadas e magnesianas que ocorrem de forma bastante localizada –, não são observadas variações químicas significativas a partir da influência da litologia, de modo que águas procedentes das mais variadas litologias (gnaisses, granitos, xistos, quartzitos, migmatitos, filitos, etc) não demonstraram sofrer influências em suas composições químicas, e, desta feita, não se observa um caráter químico peculiar a cada tipo de litologia. Como exceção, pode-se talvez apontar as ocorrências de águas Cloretadas-Magnesianas na região próxima à cidade do Crato (CE) e a norte de Exu (PE), onde o

magnésio – que apresenta certo domínio – pode estar possivelmente associado à presença de anfíbolitos do Complexo Trindade.

Os aquíferos sedimentares, por apresentarem melhor poro-permeabilidade, oferecem melhores condições de infiltração e circulação de suas águas subterrâneas, o que influencia de modo decisivo a salinidade. De uma maneira geral, as águas oriundas de regiões sedimentares apresentam baixa salinidade e são geralmente classificadas como Bicarbonatadas-Mistas, embora as Cloretadas-Mistas se afigurem como coadjuvantes de relativo destaque. Esta característica química (mista) possivelmente reflete uma certa homogeneidade geral dos sedimentos que constituem o nível aquífero explorado – em geral, arenitos sequenciados por argilitos, siltitos e folhelhos. São águas procedentes geralmente de bacias sedimentares (Parnaíba, Recôncavo-Tucano-Jatobá, Araripe, Pernambuco-Paraíba, Sergipe-Alagoas, Sousa, Iguatu e Almada) e dos aquíferos Urucuia, Dunas-Barreiras e Chapada Diamantina. São, em geral, águas muito moles a moles (quanto à dureza), ácidas a ligeiramente alcalinas, com valores de pH entre 5,5 e 7, onde o resíduo seco raramente ultrapassa 500 mg/l e o SAR situa-se entre 0 e 10 (risco fraco).

As águas Cloretadas-Cálcicas ocorrem principalmente nas regiões centro-norte, centro-sul e norte da Bahia (próximo aos municípios de Irecê, Brumado, Juazeiro, Remanso e Casa-Nova) e em certos trechos da Bacia Potiguar, no Rio Grande do Norte. São águas de salinidade em geral intermediária (500 a 2.000mg/l), levemente alcalinas a alcalinas (pH geralmente superior a 7,0) e representam um significativo exemplo da influência água-rocha na composição final, uma vez que provêm de calcários (cristalinos e sedimentares), metargilitos calcíferos, margas e dolomitos. Parecem também sofrer influências idênticas as ocorrências de águas Bicarbonatadas-Cálcicas encontradas em Irecê e Santa Maria da Vitória (BA) e as Cloretadas-Magnesianas que foram identificadas nas imediações do Crato (CE), de Mossoró (RN) e de Monte Santo (BA). São em geral águas duras a excessivamente duras e, por esta razão (dureza elevada) ocasionam geralmente incrustações em tubulações e apresentam como principal característica evidente a inibição da espumabilidade do sabão.

## **6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Corroborando as observações de Cruz e Melo (*op. cit*), constata-se, também, uma associação bastante significativa entre a salinidade (condutividade elétrica) e os índices pluviométricos, ou seja: à exceção de algumas bacias sedimentares interiores, das zonas de rochas metassedimentares e de pequenas áreas detentoras de umidade – os denominados “brejos de altitude” da Paraíba e Pernambuco –, a salinidade das águas cresce, de uma maneira geral, do litoral em direção ao interior, na razão inversa dos índices pluviométricos. Este fato evidencia que o binômio geologia-clima é um fator preponderante no zoneamento da salinidade das águas subterrâneas da região.

Em resumo, os efeitos climáticos no processo de salinização das águas são fortemente influenciados pelas condições de circulação hídrica em subsuperfície. O principal fator de controle da salinidade das águas subterrâneas do Nordeste é certamente de origem climática e as águas parecem adquirir sua composição química a partir de progressiva concentração por evaporação e, esses efeitos se fazem sentir principalmente nas áreas de rochas cristalinas pelo considerável incremento do íon Cloreto – são Cloretadas-Sódicas e Cloretadas-Mistas em maioria quase absoluta, corroborando os estudos de Silva Júnior *et al* (1999). Apenas uma fatia da província de rochas cristalinas, correspondente à zona oeste do Estado da Paraíba, caracteriza-se pelo predomínio de águas Bicarbonatas-Mistas. Por outro lado, os grupos de águas Cloretadas-Cálcicas, Bicarbonatadas-Cálcicas e Cloretadas-Magnesianas estão geralmente relacionados à presença de aquíferos de natureza cárstica, onde se constata grande influência da rocha (calcário) sobre os tipos químicos de água dominantes. Já as águas Bicarbonatadas-Mistas são mais frequentes e, de certo modo, bastantes características nas porções, do território nordestino, ocupadas por rochas sedimentares.

As águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Parnaíba são, predominantemente, Bicarbonatadas-Mistas, ocorrendo em certos trechos Cloretadas-Sódicas, Bicarbonatadas-Magnesianas e Cloretadas-Mistas, além de raros registros de águas Sulfatadas-Sódicas e Sulfatadas-Magnesianas. As águas dos aquíferos Açu e Jandaíra, da Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte e Ceará), são predominantemente Cloretadas-Mistas e Cloretadas-Sódicas e, secundariamente, Cloretadas-Magnesianas e Cloretadas-Cálcicas. As águas do Sistema Aquífero Recôncavo-Tucano-Jatobá – encravado nos sertões da Bahia e Pernambuco –, apesar da grande variação de tipos químicos, caracteriza-se pelo predomínio de águas Cloretadas-Mistas, Cloretadas-Sódicas e Bicarbonatadas-Mistas, em geral de boa potabilidade. Águas Bicarbonatadas-Mistas e – com menor destaque – Cloretadas-Sódicas são os tipos químicos mais constantes nos sedimentos do Grupo Barreiras, que se desenvolvem ao longo de boa parte do litoral nordestino. No extremo oeste da Bahia os arenitos da Formação Urucuia costumam produzir águas Bicarbonatadas-Cálcicas e Bicarbonatadas-Mistas. Na região cárstica onde dominam os calcários do Grupo Bambuí as águas Cloretadas-Cálcicas, Bicarbonatadas-Cálcicas e Bicarbonatadas-Magnesianas são os tipos químicos observados com maior frequência.

Como já demonstrado, a variação da composição química guarda certa relação com o incremento da salinidade. As águas bicarbonatadas apresentam destaque na faixa de salinidade entre 0 e 1.000 mg/l (87%) e, a partir dessa faixa de valores, observa-se um predomínio das águas Cloretadas. Águas Cloretadas-Sódicas e Cloretadas-Mistas atingem 85% das amostras pesquisadas, quando são levadas em conta apenas as análises que apresentam salinidades entre 2.000 e 8.000

mg/l; estes grupos químicos chegam a atingir mais de 90% se consideradas águas com salinidades superiores a 8.000 mg/l.

À despeito das limitações impostas pela litologia – pouco propícia ao armazenamento e circulação subterrânea – e pelo clima (semi-árido), que induzem a poços com fracas vazões e águas comumente salinas, deve ser observado o interesse relativo da exploração das águas subterrâneas das rochas do embasamento cristalino da Região Nordeste levando-se em conta sua grande extensão territorial (quase 60% da área estudada) e o fato que a importância da água cresce na medida em que esta se torna mais escassa. O uso de dessalinizadores de osmose inversa vem sendo disseminado por toda a região e tem obtido resultados expressivos na redução dos teores químicos elevados (principalmente Cloro, Sódio, Cálcio e Magnésio), tornando águas inicialmente impróprias para o consumo em águas “desmineralizadas”, de excelente potabilidade.

Há necessidade de adoção e manutenção de políticas públicas voltadas ao aproveitamento racional das reservas hídricas subterrâneas da Região Nordeste do Brasil. Neste sentido, o conhecimento da qualidade química das águas subterrâneas e do comportamento hidrogeológico – a nível local e regional –, a observância de critérios técnicos relevantes na locação e perfuração dos poços tubulares, definição de demandas e do manejo mais adequados e um eficaz programa de manutenção dos poços, terão importância decisiva nos resultados obtidos.

## BIBLIOGRAFIA

BARROS, M.J.G. et. al. Geologia. Potencial dos recursos hídricos. In: Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 24 )

BRAZ, A.; CAETANO, F. A. Inventário hidrogeológico do Nordeste: foha n. 5 – Fortaleza-SO. Recife: SUDENE, 1970. 165p. (SUDENE. Hidrogeologia, 27)

CADASTRO, de poços tubulares do Estado da Bahia CERB-1. Salvador: Companhia de Engenharia Rural da Bahia, 1975/1981. 11v.

COMPANHIA DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA E SANEAMENTO DO ESTADO DE ALAGOAS. Análises Químicas. Maceió, 2004.

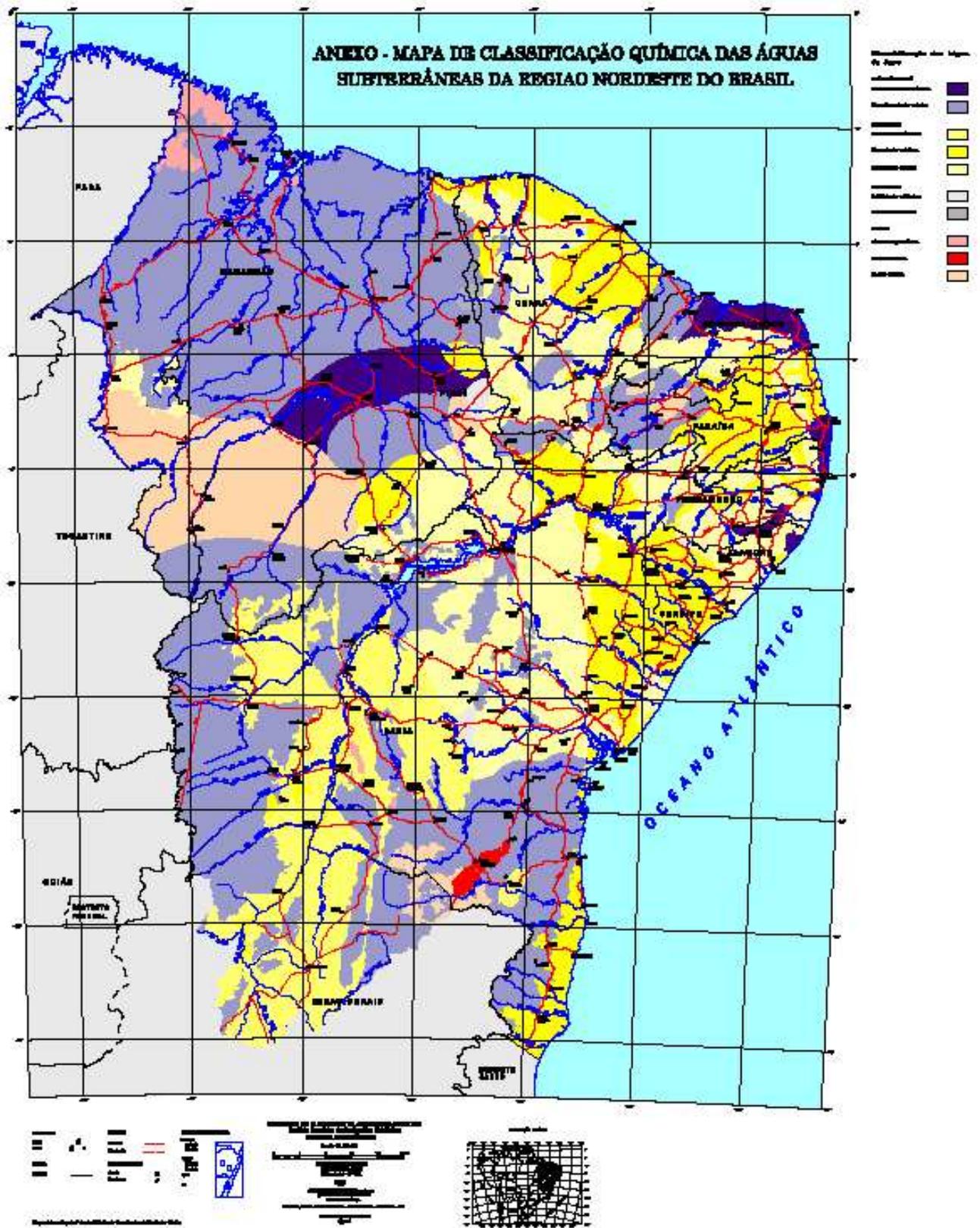
COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SERGIPE. Análises Químicas. Aracaju, 1983.

CRUZ, W.B.da; FRANÇA, H.P.M. de. Inventário hidrogeológico do Nordeste: folha n. 14 – Jaguaribe – SO. Recife: SUDENE, 1970. 222p. (SUDENE. Hidrogeologia, 31)

CRUZ, W. B. da; MELO, F. de A. F. de . Estudo geoquímico preliminar das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. Recife: SUDENE, Divisão de Documentação, 1974. 147p. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 19)

FOLHA SD.24 Salvador: potencial dos recursos hídricos. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 236p. (Levantamento de Recursos Naturais, 24, Supl.)

- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n.4 – São Luis-SE. Recife: SUDENE, 1977. 165p. (SUDENE. Hidrogeologia, 51)
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 28 – Bahia-NO. Recife: SUDENE, 1978. 199p. (SUDENE. Hidrogeologia, 56).
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 13 – Teresina-SE. Recife: SUDENE, 1978. 251p. (SUDENE. Hidrogeologia, 57).
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 17 – Rio São Francisco-NO. Recife: DNPM/CPRM, 1979.
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 22 – Rio São Francisco-SO. Recife: DNPM/CPRM, 1979.
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 01 – São Luiz\_NO. Recife: DNPM/CPRM, 1979.
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 3 – São Luis-SO. Recife: DNPM/CPRM, 1979.
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 7 – Teresina-NO. Recife: DNPM/CPRM, 1979.
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 12 – Teresina-SO. Recife: DNPM/CPRM, 1979.
- INVENTÁRIO hidrogeológico básico do norte de Minas Gerais e sul da Bahia: folha n. 32 – Salvador-SO. Recife: SUDENE/DNPM, 1980. 220p. (SUDENE. Hidrogeologia, 60).
- LEAL, J. M. de. Inventário hidrogeológico do Nordeste: folha n. 20 – Aracaju-NE. Recife: SUDENE, 1970. 150p. (SUDENE. Hidrogeologia, 34).
- NASCIMENTO, P. A. B. do. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste: folha n. 29 – Bahia-NE. Recife: SUDENE, 1971. 194p. (SUDENE. Hidrogeologia, 35)
- SILVA JUNIOR, L. G. de; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J.F. de M. Composição química das águas do nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.1, p.11-17, 1999.
- STAMFORD, W.J.P.; RIBEIRO, A.G.; RIBEIRO, J.H.M. Geologia. Potencial dos recursos hídricos. In: Projeto RADAMBRASIL. Folhas SC.24/25 Aracaju/Recife. Rio de Janeiro, 1983. 856p. (Levantamento de Recursos Naturais, 30).p.252-350.
- SUDENE. ELEMENTOS de hidrogeologia prática. Recife, 1972. 353p.(Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 13).



Anexo I - Mapa de Classificação Química das Águas Subterrâneas da Região Nordeste do Brasil (IBGE,2009).