

MAPA DE VARIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL PARA USO NA IRRIGAÇÃO

Eugenio Antonio de Lima¹; Valdir José Beraldo²; Selma Chaves Guilera³;
Luiz Carlos Ribeiro Brandão⁴ & Estácio Alves Costa⁵

RESUMO - O Mapa de Variação da Qualidade das Águas Subterrâneas da Região Nordeste do Brasil Para Uso na Irrigação utiliza um banco de dados correspondente a 4.443 resultados de análises físico-químicas completas. São delimitados domínios quimicamente homogêneos com relação às possibilidades de uso agrícola das águas subterrâneas a partir da averiguação dos valores da Condutividade Elétrica (C) e da Razão de Adsorção de Sódio (SAR), plotados no gráfico do U.S. Salinity Laboratory. Esses dados servem de base, portanto, à análise e seleção de zonas mais e menos propícias à utilização dos recursos hídricos subterrâneos na agricultura irrigada. Em termos gerais, é nítido o contraste existente entre as águas procedentes de rochas cristalinas (alto risco de sodicidade e salinidade) e as águas extraídas de terrenos sedimentares (baixo risco de sodicidade e salinidade), especialmente na zona de maior aridez – o Polígono das Secas.

ABSTRACT - The Map of Variation of Quality of the Underground Waters for Irrigation Use in Northeast Region of Brazil is based on database corresponding to the results of 4,443 complete physical-chemical analysis. It delimitates chemically homogeneous domains regarding the possibilities of agricultural use of the underground waters from values of Electric Conductivity (C) and Sodium Adsorption Ratio (SAR), plotted on graphic defined by the U.S. Salinity Laboratory. So, those data are the basis to the analysis and selection of more, or less, favourable zones to utilization of underground hydric resources for irrigated agriculture. In general, the contrast between the waters originated from crystalline rocks (with high risk of sodium content and salinity) and those waters extracted from sedimentary terrains (with low risk of sodium content and salinity) is sharp, mainly in the drier zone – the so called Polígono das Secas (Drought Poligone).

Palavras-Chave – irrigação; águas subterrâneas; Região Nordeste

¹ 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.

² 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.

³ 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.

⁴ 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.

⁵ 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) 21058672 ; fax (71) 21058658; e-mail: estacio@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.

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 complicador 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.

O habitante nordestino, ao se deparar com as adversidades climáticas, pode obter através da agricultura irrigada uma alternativa estratégica importante para o desenvolvimento setorial e regional. Desta feita, o processo para promover o desenvolvimento da agricultura da região passa, sobremaneira, pela análise específica voltada à qualidade da água de irrigação e pelo reconhecimento da complexidade dos ecossistemas, o que torna a pesquisa científica fundamental ao planejamento visando à exploração desse recurso e ao seu manejo mais adequado. 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 para as plantas, proporcionado por índices pluviométricos reduzidos e irregularmente distribuídos ao longo do ano (Andrade Júnior, 2006 [1]).

Na agricultura irrigada a demanda por águas subterrâneas vem crescendo nas últimas décadas, sendo amplamente utilizadas na região do Oeste Baiano, na Chapada do Apodi (RN/CE), na região

de Irecê (Bahia) e no vale do Gurguéia (PI).

Em toda a Região Nordeste foram perfurados ao longo dos últimos anos centenas de poços destinados à irrigação, o que representa um importante insumo na cadeia produtiva regional. Não obstante, o uso de água de má qualidade ou não apropriada ao uso que se pretende destinar pode trazer danos ao meio ambiente – muitas vezes irreversíveis –, que repercutem em sérios problemas estruturais e sócio-econômicos (Silva Júnior, *et al*, 1999, [1]). Daí, surge a necessidade de melhor caracterizar as águas, sugerindo métodos de manejo mais adequado para as culturas e solos a serem irrigados.

O objetivo geral desta avaliação é, portanto, oferecer – a partir dos dados de análises físico-químicas de águas subterrâneas coletadas no trato da Região Nordeste – uma visão geral da qualidade das águas para fins de irrigação, 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 possibilidades de exploração das águas subterrâneas e através do qual são prontamente identificáveis as áreas mais e menos favoráveis para a captação hídrica subterrânea, sob o ponto de vista da qualidade para uso na agricultura irrigada.

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 do 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 km², dos quais 936.993 km² correspondem à região original do Polígono das Secas (Lei N° 1.348, de 10/02/51), caracterizada 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. Neste cenário, a irrigação surge como alternativa para a sustentabilidade econômica e, portanto, o conhecimento da qualidade das águas subterrâneas visando à sua aplicação na agricultura irrigada torna-se ferramenta necessária e imprescindível ao planejamento para exploração desse recurso subterrâneo e ao manejo adequado e seguro.

A localização geográfica da porção central da área – próxima à linha do Equador – a coloca sob a influência de diferentes massas de ar, as quais sofrem também a interferência das configurações do relevo e que de certo modo determinam o predomínio do clima semi-árido, bastante característico da 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. 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) e os cerrados e as florestas ombrófilas e semi-decíduais (zona da mata e agreste) – encontram-se em boa parte substituídas por pastagens, agroindústrias e agriculturas de subsistência.

3 – METODOLOGIA

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 dados hidroquímicos, uma vez avaliados, foram incorporados a um banco de dados, desenvolvido no Microsoft Access. Na determinação da qualidade das águas para irrigação foi utilizada a classificação americana do *U.S. Salinity Laboratory* (apud SUDENE, 1972 [1]), que consiste em um gráfico semi-logarítmico onde são plotados, em abcissas, os valores da Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e, em ordenadas, o SAR (Sodium Adsorption Ratio ou Razão de Adsorção de Sódio), calculado conhecidos os teores, em meq/l, do Sódio, Cálcio e Magnésio e que estabelece a seguinte classificação de risco de sódio para as águas:

$0 < \text{SAR} < 10 =$ Risco Baixo

$10 < \text{SAR} < 18 =$ Risco Médio

$18 < \text{SAR} < 26 =$ Risco Forte

SAR > 26 = Risco Muito Forte

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.

Os principais problemas com águas subterrâneas destinadas à irrigação são: a salinidade, o excesso de sódio (e sua relação com o cálcio e o magnésio), a lixiviação deficiente do solo, a pluviometria e a tolerância salina da cultura que se pretende irrigar. O sódio presente na água de irrigação pode ser adsorvido pelas argilas, levando ao seu endurecimento e conseqüente impermeabilização. Em termos gerais, a proporção de sódio considerada prejudicial na irrigação é estabelecida em função dos teores conjuntos de cálcio e magnésio, pois estes elementos agem no sentido de deslocar o sódio contido no solo (troca catiônica), ou seja, águas com teor de sódio elevado ou com teor reduzido dos elementos cálcio e magnésio tendem a influenciar a redução da permeabilidade do solo, favorecendo o encharcamento das raízes e dificultando o desenvolvimento das plantas. Por outro lado, águas pouco salinizadas aplicadas em solos pouco permeáveis, podem acarretar a sua salinização – perigo frequente na Região Nordeste, devido à baixa intensidade pluviométrica e elevadas taxas de evaporação, que, em alguns casos, são potencializadas pelas características hidrogeológicas (rochas do embasamento cristalino). Em síntese, águas utilizadas na irrigação, mesmo com salinidades não tão elevadas, podem desencadear um processo de salinização do solo e da água subterrânea, caso o manejo seja inadequado.

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 foram posteriormente transformados em meq/l para permitir o cálculo do SAR e utilizá-lo no Diagrama do *U. S. Salinity Laboratory* (*apud* SUDENE [2]). Desde 1997, quando iniciou um programa de coleta de águas subterrâneas para atender ao convênio firmado com a SUDENE, para elaboração do Mapa de Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Região Nordeste, o IBGE vem realizando um programa de coleta de amostras.

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 1:2.500.000, oriundas da interptração de imagens semicontroladas de radar, atualizadas por imagens de satélite (GEOCOVER e CBERS).

As áreas de menor densidade de amostragem são: a parte ocidental da Bacia do Parnaíba

(compreendendo quase todo o Estado do Maranhão), o oeste da Bahia e o sul do Piauí. 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 na escala do estudo e a grande homogeneidade dos sedimentos que aí ocorrem justificam este procedimento. Por outro lado, não foi realizado nenhum programa de amostragem periódica (sazonal) e, assim, a evolução da salinidade e do risco de sódio ao longo do ano não pôde ser avaliada. 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), até mais de 500 metros (Bacias Sedimentares do Parnaíba, do Recôncavo-Tucano-Jatobá, Sergipe-Alagoas, Pernambuco-Paraíba e Potiguar e Formação Urucuia). Por outro lado, a evolução da salinidade em relação à profundidade não foi avaliada, 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 (IBGE–GRN/BA) e tem como principal objetivo oferecer para o conjunto da Região Nordeste um diagnóstico das possibilidades de exploração dos recursos hídricos subterrâneos, em termos de seu potencial qualitativo para uso na agricultura irrigada, indicando áreas mais e menos favoráveis. Neste mapa são geoespacializados domínios quimicamente homogêneos com relação à análise conjunta dos valores da Razão de Adsorção de Sódio (SAR) e da Condutividade Elétrica (C), parâmetros, estes, determinantes nas indicações de uso e de restrições das águas destinadas à irrigação. Executada ao longo de quatro anos, esta investigação foi baseada nos resultados de 4.443 análises físico-químicas completas. O presente estudo visa, sobretudo, 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. Desta feita, 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 (dunas, aluviões, etc).

A Província Fissural encontra-se representada por rochas metassedimentares e, principalmente, por rochas do embasamento cristalino (ígneas e metamórficas), cujas idades vão desde o Neo-Proterozóico ao Arqueano. Todos esses tipos litológicos encerram unidades de porosidade intergranular praticamente nula. 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), Gramame e Maria Farinha (Paraíba-Pernambuco), e de outras bacias sedimentares.

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 CO₂, 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. Quimicamente, tem-se um exemplo típico da influência água/rocha – são predominantemente bicarbonatas-cálcicas.

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

Em boa parte da Região Nordeste observa-se uma diferença marcante entre as salinidades e riscos de sódio das águas procedentes dos aquíferos sedimentares e cristalinos. 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. 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.

As águas subterrâneas mais propícias à irrigação procedem geralmente das bacias sedimentares do Parnaíba, Recôncavo-Tucano-Jatobá, Araripe, Pernambuco-Paraíba, Sergipe-Alagoas, Sousa, Iguatu e Almada e dos aquíferos Urucuia, Dunas-Barreiras e Chapada Diamantina. São águas classificadas, de acordo com o SAR e a Condutividade Elétrica, nas categorias C0-S1, C1-S1 e C2-S1, ou seja, águas de salinidade baixa a média (Condutividade Elétrica entre 100 e 750 μ S/cm) e fracamente sódicas, que podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, em quase todos os solos, ou seja, riscos de aparição de teores nocivos de sódio susceptível de troca e de incidentes provenientes da salinização do solo são mínimos. Prestam-se, portanto, ao cultivo de praticamente quase todos os vegetais. Aquelas classificadas como C2-S1 são águas de salinidade média (Condutividade Elétrica entre 250 e 750 μ S/cm) e fracamente sódicas, que devem ser usadas com precaução e de preferência em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos – isto, quando houver uma lixiviação moderada do solo. Na maioria dos casos, plantas de fraca tolerância salina podem ser cultivadas sem perigo. 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 da classe C3-S1 são bastante frequentes em toda a Região Nordeste (24%), sobretudo em sua porção centro-norte, numa faixa que se estende desde Arcoverde (PE), passando por Juazeiro(BA), Araripina (PE), Campos Sales (CE), Crateús (CE), Russas (CE), Caicó (RN), Patos (PB) e Sertânia (PE). São águas de alta salinidade e de fraco risco de aparição de teores nocivos de sódio. Devido ao teor comumente elevado de sais, só devem ser utilizadas em solos bem drenados, além de que, devem ser tomadas precauções especiais de luta contra a salinização e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados. Nesta porção – embora sem áreas bem delimitadas – são também dignas de registro o grande número de ocorrências das classes C4-S1, C4-S2, C2-S1, C4-S3 e C5-S2, que compreendem águas de salinidade forte a muito forte e medianamente sódicas. São, geralmente, imprestáveis para a irrigação, muito embora, possam, excepcionalmente, serem utilizadas em solos arenosos, permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Quanto ao sódio, apresentam perigo para solos de textura fina e com forte capacidade de troca de cátions – exceção apenas para os solos gipsíferos –, podendo ser utilizadas em solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, sendo seu uso recomendado apenas para os vegetais de altíssima tolerância salina. Os referidos tipos de água são mais frequentes nas porções correspondentes aos calcários do Grupo Bambuí (região central da Bahia), aos calcários da Formação Jandaíra (Bacia Potiguar / Ceará e Rio Grande do Norte), às rochas cristalinas da porção centro-sul da Bahia e também aquelas situadas entre Carpina (PE), União dos Palmares (AL), Arapiraca (AL), Propriá e Porto da Folha (SE), que correspondem às áreas de rochas cristalinas em zonas de precipitação pluviométrica intermediária (800 a 1.200 mm/ano).

As águas com maior grau de mineralização e de mais alto risco de teores nocivos sódio ocorrem na porção central da Região Nordeste e são oriundas, via de regra, de rochas do embasamento cristalino. São dignas de registro as elevadas salinidades e sodicidades observadas na Região do Seridó (Jucurutu e Currais Novos) e no vale do rio Potengi, no Rio Grande do Norte. No Ceará, a região delimitada pelos municípios de Canindé, Russas, Quixadá e Morada Nova , reúne as águas mais salinas e sódicas do estado. Desde a região de Guarabira, na Paraíba, ocorre uma extensa faixa que se prolonga até Pedra Lavrada (PB) e se estende para oeste, passando por Monteiro (PB), Arcoverde (PE), Delmiro Gouveia (AL), Palmeira dos Índios (AL), Garanhuns (PE), Caruaru (PE) e Limoeiro (PE). Na Bahia, as ocorrências de águas de elevado teor salino e pronunciado risco de sódio são observadas principalmente nas regiões de Juazeiro, Curaçá, Uauá, Milagres e Itaberaba. Em Pernambuco, identifica-se uma conspícua faixa com águas de elevada salinidade e de sodicidade moderada a alta na região do sertão, desde Salgueiro até Afrânio, no extremo oeste do Estado. Essas águas estão agrupadas nas classes C4-S3, C5-S4, C5-S2, C5-S3 e

C6-S2, que identificam águas de salinidade alta a extremamente alta (Condutividade Elétrica entre 2.250 e 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e com teores de sódio médios a fortes, que, de um modo geral, não servem para a irrigação. Excepcionalmente, podem ser utilizadas em solos arenosos, permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados, onde apenas os vegetais de alta tolerância ao sal e ao sódio devem ser cultivados. Apresentam perigo de sódio evidente para os solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Em casos especiais, podem ser utilizáveis apenas para irrigar palmeiras em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados.

Ao estudar-se com maior detalhe as águas do embasamento cristalino da Região Nordeste visando ao uso na irrigação, observa-se nítida influência do clima na qualidade química dessas águas. As rochas do embasamento cristalino localizadas em zonas mais próximas ao litoral (zona da mata), onde predominam condições climáticas mais favoráveis (chuvas mais intensas e regulares), produzem, geralmente, águas subterrâneas com risco de salinidade e de sodicidade variando entre fraco e médio. Esta assertiva fica evidente ao observar-se a faixa submeridiana que se estende desde Ceará-Mirim (RN) e se prolonga para sul até Goianinha (RN), Mamanguape (PB), Santa Rita (PB), Abreu e Lima (PE), Palmares (PE), Messias (AL), Itaporanga d'Ajuda (SE), Salvador (BA) e Itabuna (BA). Contrariamente, as rochas cristalinas posicionadas em zonas de menor índice pluviométrico – no âmbito do Polígono das Secas –, como é o caso do agreste e sertão dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, dão origem a águas de teor salino comumente elevados (Condutividade Elétrica entre 2.250 e 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e pronunciada sodicidade (risco de sódio médio a forte), o que demonstra a intrínseca relação que existe entre o clima (precipitações pluviométricas), a geologia (embasamento cristalino) e a salinidade das águas subterrâneas. A natureza cristalina desses terrenos e o fato das chuvas serem concentradas e escassas e de ocorrerem geralmente no verão, interferem negativamente no tempo de permanência (na superfície) das águas de chuvas e, conseqüentemente, na alimentação das fraturas, influenciando a qualidade e quantidade das águas subterrâneas. Por outro lado, essas deficiências são também responsáveis pelo caráter intermitente de boa parte da rede de drenagem regional.

Os aquíferos sedimentares, contrariamente, por apresentarem melhor poro-permeabilidade, oferecem melhores condições de infiltração e circulação em subsuperfície, fugindo aos efeitos da evapotranspiração e, conseqüentemente, aos processos de salinização das águas subterrâneas, o que lhes confere salinidades reduzidas e, por conseguinte, condutividades elétricas situadas geralmente na faixa de 64 a 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (risco de salinidade baixo a médio). Essas características vão influenciar também a perenidade e a boa qualidade das águas de algumas bacias hidrográficas, como as do rios Parnaíba (PI/MA), Mearim (MA), Pindaré (MA), Itapecuru (MA), Grande(BA), e outros tantos rios

nordestinos de menor destaque que têm suas áreas de drenagem esculpidas sobre terrenos sedimentares.

As reservas subterrâneas armazenadas nos Sistemas Aquíferos das Bacias Sedimentares do Parnaíba, Recôncavo-Tucano-Jatobá, Potiguar, Urucuia, Pernambuco-Paraíba, e Sergipe-Alagoas torna viável o desenvolvimento de atividades de irrigação, amparadas sobretudo pelas características hidrogeológicas e hidroquímicas do subsolo, que permitem a exploração de grandes volumes de água de boa qualidade, apropriadas para a irrigação. Alguns empreendimentos agrícolas na região Nordeste são abastecidos através de águas subterrâneas, como as plantações de soja na região oeste da Bahia (aquífero Urucuia) e frutíferas na Chapada do Apodi, no Ceará / Rio Grande do Norte, (aquífero Açú-Jandaíra).

Em termos químicos, as águas subterrâneas dos terrenos cristalinos da Região Nordeste encravadas na região do Polígono das Secas, apresentam, de uma maneira geral, uma grande predominância de Cloreto, que é o íon predominante em mais de 93% das amostras. Observa-se, por exemplo, que entre as amostras classificadas como C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4, C5-S2, C5-S3, C5-S4, C6-S2, C6-S3 e C6-S4 as águas Cloretadas (Sódicas, Mistas e Cálcidas) são as dominantes e correspondem a 90% do total, enquanto que as Bicarbonatadas e Sulfatadas somam pouco mais que 4%, cada.

Com relação aos aquíferos sedimentares, as águas Bicarbonatadas-Mistas, Bicarbonatadas-Sódicas e Bicarbonatadas-Cálcidas (56)% apresentam discreto predomínio sobre as Cloretadas -Mistas, Cloretadas-Sódicas, Cloretadas-Cálcidas e Cloretadas-Magnesianas (30%); já com relação à classe C3-S1, observa-se que 47% das amostras são classificadas como Cloretadas (Mistas, Sódicas, Cálcidas e Magnesianas) e 38% são Bicarbonatadas.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Corroborando as observações de Cruz (1963 [1]), 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 (Cruz, [2]). Desta feita, verifica-se que quanto mais abertas e permeáveis são as fraturas e tanto maior a circulação em subsuperfície, melhor a qualidade química. Daí, é lícito afirmar que o êxito das perfurações em regiões cristalinas depende fundamentalmente de um rigoroso critério de locação, quase sempre conduzido em direção a áreas com fraturas abertas e interconectáveis ou – ainda melhor – aos pontos de coincidência fratura-drenagem – os denominados riachos-fendas.

Com relação aos mananciais superficiais situados em zonas de rochas cristalinas na porção semi-árida nordestina, o teor salino pode também assumir grande intensidade, principalmente onde a alimentação e restituição subterrânea são pouco eficientes ou – no caso dos açudes – quando decorre grandes períodos sem que haja renovação da água. Este fato foi constatado nas análises químicas realizadas no riacho do Baixio, em Irajuba, na Bahia (12.222 mg/l) , no rio Ipojuca, em Sanharó, Pernambuco (11.771mg/l), no rio Ribeirão, em Milagres, na Bahia (9.021 mg/l) e no açude da Fazenda Algodão, em Manoel Vitorino, na Bahia (10.210 mg/l). Por razões operacionais, não foram realizadas coletas em diferentes épocas do ano e, assim, a evolução da salinidade em relação ao tempo não foi possível de ser avaliada.

Constatou-se que a variação da condutividade elétrica obedece a uma relação direta com o incremento da salinidade e influencia também a predominância de determinados tipos químicos. As águas bicarbonatadas, que correspondem a 48 % do total das amostras analisadas, apresentam discreto destaque na faixa de condutividade entre 0 e 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A partir dessa faixa de valores, observa-se um predomínio das águas cloretadas, que atingem 52 % para condutividades elétricas entre 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 90% no intervalo de 2.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 4.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; conseguem estabelecer índices superiores a 95 %, quando as condutividades elétricas ultrapassam 4.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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 julgado 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 problema se agrava pelo fato que na porção semi-árida – especialmente onde afloram rochas do embasamento cristalino – a irrigação torna-se mais necessária e as culturas exigem maior suprimento de água justamente no período de estiagem, quando, certamente, ocorre um incremento da concentração salina das águas subterrâneas, em função, sobretudo, da intensa evapotranspiração reinante na região (Silva Júnior, [2])

Apesar de existirem na Região Nordeste algumas centenas de poços tubulares cujas águas são utilizadas para a irrigação, praticamente apenas aqueles perfurados na porção sedimentar são destinados a este fim. A maior parte dos poços tubulares perfurados no cristalino, especialmente na porção correspondente ao Polígono das Secas, apresenta problemas de salinidade excessiva e vazões reduzidas – por esta razão, destinam-se quase sempre à pecuária. Poços com melhores vazões e/ou com águas menos salinas – muitas vezes fazendo uso de dessalinizadores – são bastante aproveitados para consumo humano (em fazendas e pequenas comunidades). De uma maneira geral, o uso preponderante é a pecuária – visando principalmente à dessedentação de animais –, ou seja, a irrigação, raramente, é o uso primordial das águas subterrâneas dos poços tubulares perfurados na zona de rochas cristalinas do semi-árido nordestino.

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, a definição das culturas, das demandas e do manejo mais adequados e um eficaz programa de manutenção dos poços e sistemas de irrigação, terão importância decisiva nos resultados obtidos.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; SILVA, E. F. de F.e; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semi-árido piauiense. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB. v.10, n. 4, p. 873-880, 2006.

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

SILVA JÚNIOR, A. S., L. G.de A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB. v.3, n. 1, p. 11-17, 1999.

SUDENE. ELEMENTOS de hidrogeologia prática. Recife, 1972. 353p.(Brasil. SUDENE. Hidrogeologia, 13).