

# POSSIBILIDADES DE APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DA PARAÍBA NA AGRICULTURA IRRIGADA UTILIZANDO O GRÁFICO DO U. S. SALINITY LABORATORY

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>

**Resumo** – O estudo utiliza-se de um banco de dados correspondente a 1.726 resultados de análises físico-químicas completas. A partir da averiguação dos valores da Condutividade Elétrica (C) e da Razão de Adsorção de Sódio (SAR), plotados no gráfico do *United States Salinity Laboratory*, foram delimitados domínios quimicamente homogêneos com relação às possibilidades de uso agrícola das águas subterrâneas do Estado da Paraíba. Esses dados servem de base 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 present study is based on database corresponding to the results of 1,726 complete physical-chemical analysis in the State of Paraíba. It delimitates chemically homogeneous domains regarding the possibilities of agricultural use of the underground waters from the examine of values of Electrical Conductivity (C) and the Sodium Adsorption Ratio (SAR), plotted on graphic defined by U.S. Salinity Laboratory. 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 Polygon).

**Palavras-Chave** – irrigação; águas subterrâneas; Paraíba

---

<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: luiz.r.brandao@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) 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 o Estado da Paraíba que possui mais de 90% de seu território inserido na denominada região do Polígono das Secas, onde a carência de recursos hídricos é responsável por impactos significativos sobre a produção agrícola, com repetidos riscos de perdas totais ou parciais das lavouras, desencadeando graves problemas sociais e econômicos.

O conhecimento das características químicas e dos usos mais indicados para as águas subterrâneas é, sem dúvida, um instrumento hábil no gerenciamento eficaz dos recursos hídricos, possibilitando o norteamento de políticas públicas e a adoção de ações concretas e efetivas – ainda que pontuais – visando ao bem-estar coletivo e promovendo a fixação do homem no campo, evitando o êxodo rural e o conseqüente inchaço populacional de pólos de atração, como João Pessoa e Campina Grande – as duas cidades mais populosas do Estado –, ao tempo em que eleva a auto-estima dessas populações, desmitificando antigos conceitos e, sobretudo, dinamizando as atividades econômicas, que têm no elemento “água” seu insumo básico.

Em decorrência da grande irregularidade das precipitações pluviométricas, o processo para promover o desenvolvimento da agricultura do Estado da Paraíba deve passar pela análise específica voltada à qualidade da água destinada ao abastecimento e à 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, a ponto de tornar a agricultura irrigada uma alternativa estratégica e interessante para o desenvolvimento setorial e regional. Desta feita, o conhecimento da qualidade da água é parte integral e elemento essencial no processo de desenvolvimento social e econômico da Paraíba – um Estado que apresenta boa parte de suas terras com evidente déficit hídrico para as plantas, decorrente de índices pluviométricos reduzidos e irregularmente distribuídos ao longo do ano.

Em toda a área estadual foram perfurados ao longo dos últimos anos vários 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. 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 território paraibano – 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**

O Estado da Paraíba situa-se na Região Nordeste do Brasil, onde ocupa um área de 56.439 km<sup>2</sup> e tem seus limites inscritos aproximadamente entre as longitudes 34° 45' e 39° 30' WGr e as latitudes 06° 00' e 08° 20' S. Limita-se ao norte com o Rio Grande do Norte, a oeste com o Ceará, a sul com Pernambuco e a leste com o Oceano Atlântico, sendo as cidades de maior destaque João Pessoa, Campina Grande, Patos, Souza, Cajazeiras e Guarabira. Em João Pessoa, a capital, fica o ponto mais oriental das Américas, o Cabo Branco. A localização geográfica da porção central da área a coloca sob a influência de diferentes massas de ar, as quais sofrem também a interferência das configurações do relevo e, de certo modo, faz com que o clima semiárido represente o tipo climático de maior significado espacial do Estado. Na zona litorânea e na encosta leste do Planalto da Borborema predomina o clima tropical úmido a subúmido, com chuvas intensas (outono-inverno) e estação seca durante o verão. Ao longo da área estadual, em sentido leste-oeste, as isoietas apresentam grande diversidade, variando desde 1800 mm/ano na porção litorânea a até 400 mm na porção central e centro-ocidental, sendo digno de registro o fato que o município de Cabaceiras apresenta os menores índices pluviométricos do Brasil. 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 26°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, decíduas e semidecíduas (zona da mata e agreste) – encontra-se substituída por pastagens, agroindústrias e agricultura de subsistência. O relevo estadual pode ser compartimentado em três grandes unidades: Planície Litorânea, formada por praias, restingas e tabuleiros costeiros, o Planalto, no Agreste, cuja referência maior é a Borborema e a Depressão, que ocorre, tanto entre os tabuleiros costeiros e o Planalto da Borborema, como no Sertão, onde se estende desde Patos até o limite oeste do Estado. O Planalto da Borborema – conjunto de relevos elevados e um dos distribuidores de drenagem mais importante de toda a Região Nordeste – tem

papel fundamental na caracterização do relevo estadual, influenciando o clima e a rede hidrográfica, originando os denominados “brejos de altitude” – áreas de exceção do agreste da Paraíba e de Pernambuco onde prevalecem condições climáticas especiais (micro-clima). Os rios que drenam o Estado podem ser classificados em: rios litorâneos, como o Paraíba, o Mamanguape e o Curimataú, que nascem no Planalto da Borborema e correm em direção leste, com destino à costa paraibana, e os rios sertanejos, que correm em sentido norte, em direção ao Rio Grande do Norte – como ocorre com o rio Piranhas-Açu e seus afluentes Piancó e Espinharas. Enquanto boa parte dos rios que provêm da Borborema são perenes, os rios sertanejos são, em maioria, intermitentes e “cortam” nos meses de estio. As irregularidades climáticas se fazem sentir periodicamente de maneira bem evidente sobre os recursos superficiais, tanto por secas como por inundações, que muitas vezes assumem proporções catastróficas. Neste cenário, a irrigação a partir da exploração dos reservatórios subterrâneos 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 seu manejo adequado e seguro.

### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado um levantamento das informações hidrogeológicas e hidroquímicas disponíveis no Cadastro de Poços da CDRM/PB, no DNOCS e no Inventário Hidrogeológico da SUDENE (Albuquerque, 1970). 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 em áreas com menor densidade de amostragem. As análises físico-químicas (completas) foram realizadas pelo Laboratório de Análises Minerais Solos e Águas – LAMSA, da Universidade Federal de Pernambuco.

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 *United States Salinity Laboratory* (*apud* SUDENE, 1972), que consiste em um gráfico semilogarítmico onde são plotados, em abscissas, 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  $\text{meq}/\text{l}$ , do Sódio, Cálcio e Magnésio, através da seguinte expressão (1):

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad (1)$$

Quanto ao risco de sódio, são definidos os seguintes limites:

$0 < SAR < 10$  = Risco de Sódio Baixo – Água Excelente para irrigação

$10 < SAR < 18$  = Risco de Sódio Médio – Água Boa para irrigação

$18 < SAR < 26$  = Risco de Sódio Forte – Água Regular para irrigação

$SAR > 26$  = Risco de Sódio Muito Forte – Água Má para irrigação – Perigo de Alcalinização

Os resultados obtidos pela plotagem das análises químicas no gráfico citado 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 mapeada, 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 porção semiárida estadual, 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 foi obtida em órgãos governamentais. 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* (Figura 1).

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 da interpretação de imagens semicontroladas de radar, atualizadas por imagens de satélite (GEOCOVER e CBERS).

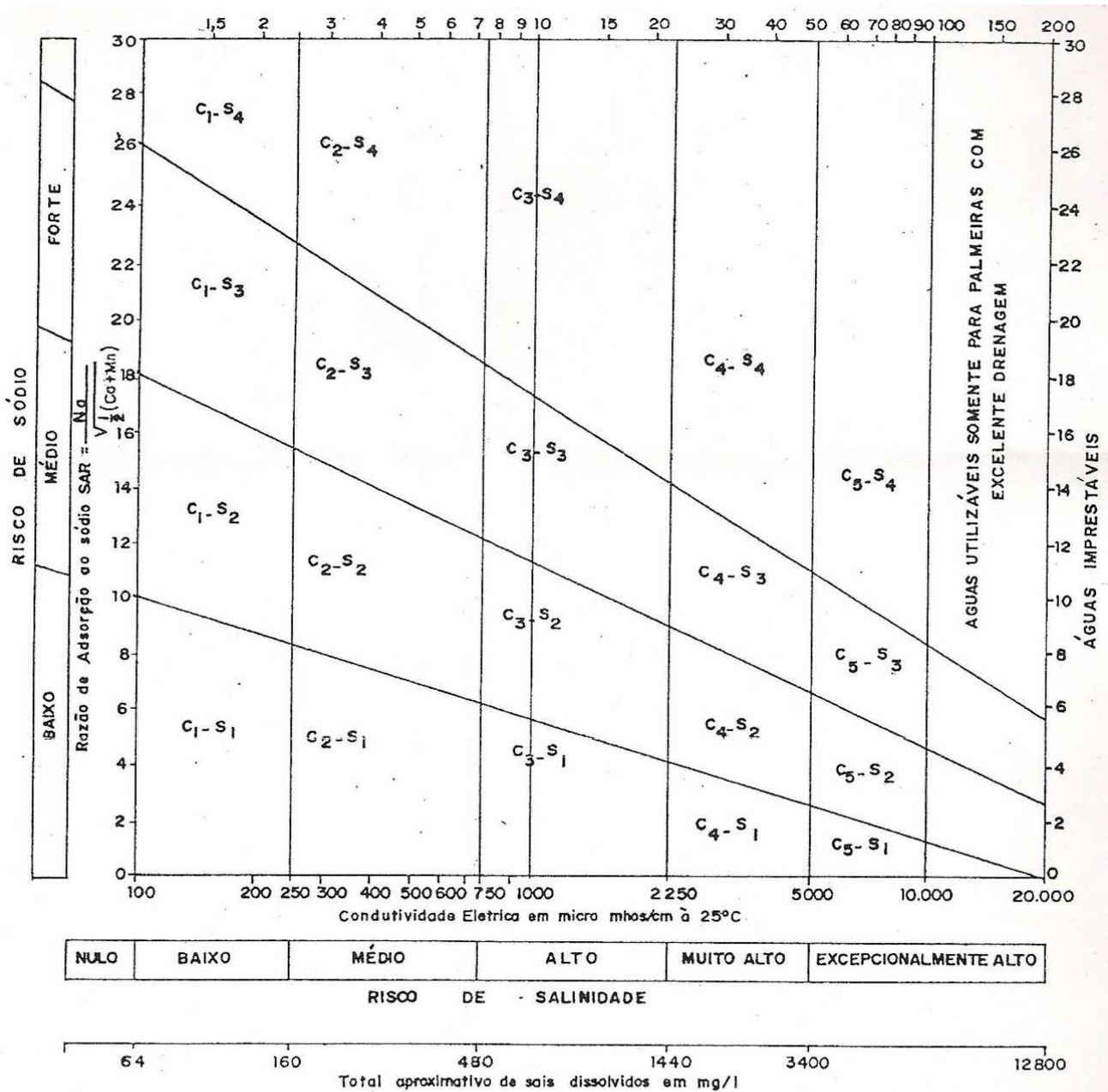


Figura 1 - Gráfico do U.S. Salinity Laboratory

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 e Grupo Barreiras), até mais de 150 metros (Bacia Paraíba-Pernambuco e Bacia do Rio do Peixe). 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, a partir dos dados disponíveis.

O mapa em questão foi elaborado pela Gerência de Recursos Naturais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, sediada na Bahia (IBGE-GRN/BA) e tem como principal objetivo oferecer um diagnóstico das possibilidades de exploração dos recursos hídricos subterrâneos do Estado da Paraíba, 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 baseia-se nos resultados de 1.726 análises físico-químicas completas. O presente estudo visa contribuir para o conhecimento do comportamento químico das águas subterrâneas da Paraíba – um dos estados mais carente de recursos hídricos no Brasil – oferecendo, assim, subsídios para o planejamento e uso racionais 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 do estado da Paraíba em duas grandes províncias ou domínios hidrogeológicos: granular e fissural.

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 sistema aquífero, no Estado, a Bacia Sedimentar Paraíba-Pernambuco, a Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, o Grupo Barreiras e os sedimentos quaternários (dunas, aluviões, sedimentos litorâneos, etc).

A Província Fissural encontra-se representada por rochas do embasamento cristalino (ígneas e metamórficas), cujas idades vão desde o Neo-Proterozóico ao Arqueano. Os vários tipos litológicos (granitos, gnaisses, migmatitos, xistos, anfíbolitos, quartzitos, etc) encerram unidades de porosidade intergranular praticamente nula. O meio aquífero está representado por fraturas e diáclases, interconectadas 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.

Uma análise de conjunto permite concluir que 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 independentemente das condições existentes fora de seus limites.

## **5 – RESULTADOS**

Em boa parte do Estado da Paraíba observa-se uma diferença marcante entre as salinidades e riscos de sódio das águas procedentes dos aquíferos sedimentares e dos aquíferos 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 (Pernambuco-Paraíba e Rio do Peixe) e do Grupo Barreiras, além daquelas extraídas de rochas cristalinas em regiões mais chuvosas (faixa sublitorânea e região oeste). 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  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e reduzido teor de sódio. Por apresentarem estas características, podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, em quase todos os solos, ou seja, os 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. 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 oriundas de poços perfurados nas Formações Gramame e Maria Farinha, da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, constituídas predominantemente por calcários e cujos resíduos secos exibem valores entre 500 e 1.000 mg/l, são em maior número classificadas como águas bicarbonatadas – quimicamente, um exemplo típico da influência água/rocha. São águas salobras, com durezas elevadas, o que pode acarretar problemas de incrustação em tubulações e sistemas de abastecimento.

As águas das classes C3-S3, C4-S3, C4-S4, C5-S2, C5-S3, C5-S4 e C6-S4 são as mais frequentes no estado da Paraíba – aproximados 60 % – e ocorrem desde as regiões de Guarabira, Campina Grande e Itabaiana até Barra de São Miguel, Monteiro, Patos e Cuité, quase ininterruptamente. São oriundas, via de regra, de rochas do embasamento cristalino, sendo caracterizadas pela salinidade elevada a excessivamente elevada (Condutividade Elétrica entre 2.250 e 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e pelo alto risco de aparição de teores nocivos de sódio (SAR entre 18 e 30), características que impõem severas restrições de uso na agricultura irrigada. Algumas – devido ao teor 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 altíssima tolerância salina devem ser cultivados. Quanto ao sódio, apresentam perigo evidente, principalmente para solos de textura fina e com forte capacidade de troca de cátions – exceção apenas para os solos gipsíferos. Em alguns casos, podem ser utilizadas em solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica; de modo geral, seu uso é recomendado apenas para irrigar vegetais

com características de elevada tolerância ao sal. Em última análise, são imprestáveis para irrigação, sobretudo quando agregam, numa mesma categoria, teores elevados de sódio e sais dissolvidos.

As águas da classe C3-S1 são mais frequentes na porção oeste (região Manaíra-Cajazeiras) e extremo noroeste (região Brejo do Cruz-Catolé do Rocha). São águas de alta salinidade e de fraco risco de aparição de teores nocivos de sódio, que só devem ser utilizadas em solos bem drenados e, ainda assim, são necessárias precauções especiais de luta contra a salinização; apenas os vegetais de elevada tolerância salina têm cultivo recomendado.

Em síntese, as reservas subterrâneas armazenadas nos sistemas aquíferos das Bacias Sedimentares Pernambuco-Paraíba e Rio do Peixe tornam viável o desenvolvimento de atividades de irrigação, uma vez que, além da disponibilidade quantitativa, o fator qualidade (águas com fraco risco de sódio e salinidade fraca a moderada) favorece este tipo de aproveitamento. Contrariamente, as águas provindas do embasamento cristalino apresentam geralmente elevados teores de sais (condutividade elétrica elevada) e forte risco de sódio, sendo em boa parte dos casos imprestáveis para irrigação.

## 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Corroborando as observações de Cruz (1963), constata-se uma associação bastante significativa entre a geologia, a salinidade (condutividade elétrica) e os índices pluviométricos, ou seja: à exceção das áreas sedimentares 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 e que esta é mais pronunciada nos aquíferos de natureza cristalina. Este fato evidencia que o binômio geologia-clima é um fator preponderante no zoneamento da salinidade das águas subterrâneas do Estado.

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, *op. cit.*). 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 estadual, 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 procedentes do rio Paraíba, próximo à cidade de Itabaiana, cuja amostra foi classificada como C4-S3, ou seja, água que apresenta forte salinidade e alto risco de sódio e considerada imprópria para irrigação e também numa amostra coletada no rio Curimataú, entre Solânea e Cacimba de Dentro, que foi classificada como C4-S2 (água de salinidade forte e medianamente sódica, pouco recomendada para irrigação e, excepcionalmente, poderá ser utilizada em solos arenosos, permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados).

Constata-se também que a condutividade elétrica influencia a predominância de determinados tipos químicos. As águas bicarbonatadas, que correspondem a cerca de 30% do total das amostras analisadas, apresentam discreto destaque na faixa de condutividade entre 100 e 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A partir dessa faixa de valores, observa-se um predomínio das águas cloretadas, que atingem quase 70 % quando são consideradas condutividades elétricas entre 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

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 levando-se em conta sua grande extensão territorial (quase 80% 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, 1999).

Em todo o Estado da Paraíba existe um número relativamente reduzido de poços tubulares cujas águas são utilizadas para fins de 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 e, por esta razão, destinam-se quase sempre à pecuária. Ainda assim, poços com melhores vazões e/ou com águas menos salinas – muitas vezes fazendo uso de dessalinizadores – são aproveitados apenas 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 paraibano. Vale, porém

ressaltar, que o aproveitamento das calhas fluviais na área cristalina, através da construção de barragens subterrâneas, vem se tornando uma alternativa bastante viável na pequena irrigação de frutas e hortaliças, viabilizando a agricultura em pequenas e médias propriedades rurais, conforme já ocorre em alguns rios e riachos nos municípios de Lagoa Seca, Picuí, Queimadas e Solânea.

Em vista do cenário hídrico apresentado, constata-se a necessidade de adoção e manutenção de políticas públicas voltadas ao aproveitamento racional das reservas hídricas subterrâneas do Estado da Paraíba. 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 adequado e um eficaz programa de manutenção dos poços e sistemas de irrigação, terão importância decisiva nos resultados obtidos.

## **7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALBUQUERQUE, J. do P. T. de. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste, folha 15 Jaguaribe -SE. Recife: SUDENE, 1970. 18p (SUDENE. Série hidrogeologia, 32).

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).