

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Waldir Duarte Costa Filho<sup>1</sup> & Waldir Duarte Costa<sup>2</sup>

**Resumo** - O estado de Pernambuco possui uma área de 98.937,84 km<sup>2</sup> representado geologicamente por uma predominância de rochas cristalinas e cristalofílicas que representam 84% da sua área total.

As áreas sedimentares são dispersas em bacias de âmbito regional, que atravessam mais de um estado além de pequenas bacias interiores que representam testemunhos de erosão de uma antiga cobertura sedimentar que cobria uma vasta área.

A bacia sedimentar do Araripe ocorre na divisa entre os estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, possuindo no total 11.500 km<sup>2</sup>, todavia, ao estado de Pernambuco corresponde apenas 4.317 km<sup>2</sup>, que significa 33,21% da área sedimentar do estado e apenas 4,4% da área estadual.

A bacia sedimentar costeira denominada Pernambuco/Paraíba, se inicia na cidade do Recife e se estende para norte atravessando o estado da Paraíba e ingressando no Rio Grande do Norte. No território pernambucano essa bacia possui cerca de 1.150 km<sup>2</sup> que corresponde a apenas 1,1% da superfície do estado.

Afora essas bacias de âmbito regional, ocorrem as mini-bacias de Cedro, São José do Belmonte, Mirandiba, Tupanaci, Araras e Fátima, na região do Pajeú, que totalizam 2.205 km<sup>2</sup>, ou seja, 2,2% da superfície estadual.

A potencialidade dos aquíferos intersticiais representados por bacias sedimentares totaliza no estado de Pernambuco 1,25 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/ano além de 0,1 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/ano contidos nos depósitos aluviais, enquanto o aquífero fissural apresenta uma potencialidade de apenas 0,28 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/ano.

**Palavras-chave** - Água Subterrânea, Aquíferos, Pernambuco

- 
1. Hidrogeólogo Consultor da CPRM Serviço Geológico do Brasil – Superintendência Regional do Recife Travessa Francisco Silveira, s/n – Afogados – Recife/PE – Fone (081) 428-0623 – Fax (081) 447-4467 Web Page: <http://www.cprm.gov.br> - E-mail: [wdcfilho@costa.com.br](mailto:wdcfilho@costa.com.br) - Cel (081) 9996.2579
  2. Hidrogeólogo da COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. Av. Santos Dumont, 320 – Aflitos – Recife/PE – Fone (081) 241-4815 – Fax (081) 241-3715

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho é fruto de compilações bibliográficas e de tratamento estatístico do banco de dados de poços da Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (banco SIRH). Parte desses dados serviram de base para o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco - PERH-PE, elaborado em 1998, que, por sua vez, é essencialmente um instrumento de planejamento, com vistas a estabelecer diretrizes e propor ações dirigidas ao aproveitamento, controle, conservação, proteção e recuperação dos recursos hídricos. O Estado de Pernambuco tem uma área de 98.937,84 km<sup>2</sup>, onde 85.484,03 km<sup>2</sup> (84%) correspondem ao aquífero fissural, 13.453,81 km<sup>2</sup> (13%) aos aquíferos intersticiais e apenas 3% aos depósitos aluviais.

## II. TIPOS DE AQUÍFEROS

Os aquíferos que ocorrem no Estado de Pernambuco se enquadram essencialmente em dois tipos: intersticiais e fissurais.

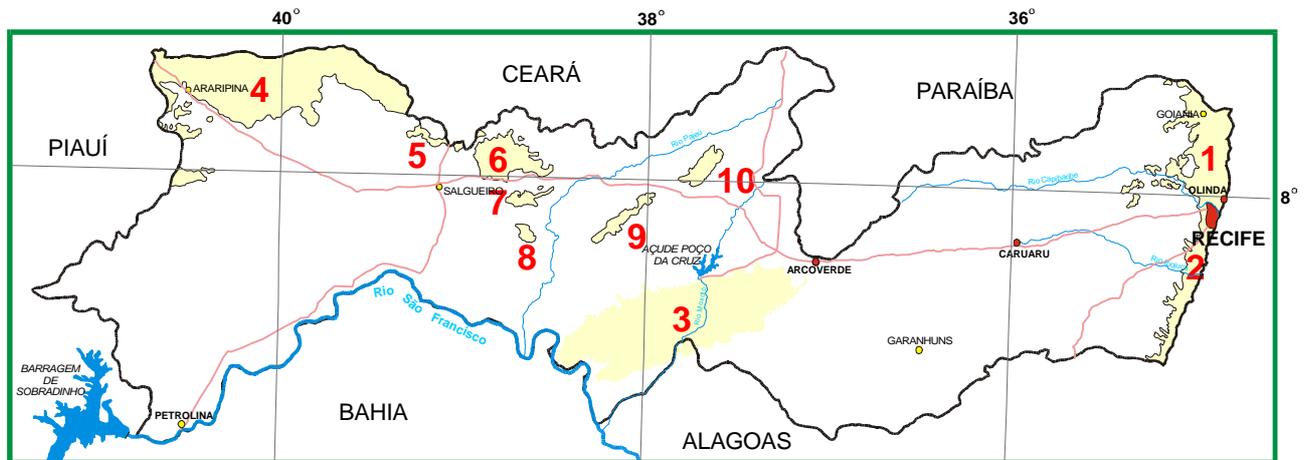
Dentre os intersticiais, ou porosos, destacam-se aqueles contidos em bacias sedimentares de maior espessura e, portanto, de elevada a média potencialidade, e os relacionados aos depósitos recentes, de reduzida espessura e média a baixa potencialidade.

Os depósitos de bacias hidrogeológicas (Figura 1) podem ainda ser classificados quanto à localização, em aquíferos de bacias costeiras, que ocorrem de maneira contínua em toda a costa nordeste e descontínua na costa sudeste, e aquíferos de bacias interiores que se situam em reduzidas áreas descontínuas do interior do Estado.

Enquanto isso, os aquíferos intersticiais rasos ocorrem de maneira descontínua em manchas isoladas de reduzida espessura, capeando indistintamente os sedimentos de bacias ou o embasamento cristalino. São sedimentos de origem diversa, predominando os aluviões, além de pedimentos de sedimentação costeira flúvio-marinha, deltas e mangues, depósitos eólicos, dentre outros.

Quanto ao aquífero fissural, representado por rochas cristalinas fraturadas, é o que apresenta maior área de ocorrência, visto que dominam cerca de 84% do território estadual (toda área branca da Figura 1), entretanto, é o de menor potencialidade por unidade de área, além de apresentar constantes problemas de salinização das águas nele contidas.

Há ainda a considerar, o aquífero cárstico-fissural que, no Estado de Pernambuco, desempenha um papel muito restrito, no contexto das bacias hidrogeológicas costeiras.



Fonte: Modificado da SRH/PE (1999)

- |                      |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| 1 - Bacia PE-PB      | 6 - Bacia de S.J.do Belmonte     |
| 2 - Bacia do Cabo    | 7 - Bacia de Mirandiba           |
| 3 - Bacia do Jatobá  | 8 - Bacia de Tupanaci            |
| 4 - Bacia do Araripe | 9 - Bacia de Araras (ou Betânia) |
| 5 - Bacia do Cedro   | 10 - Bacia de Fátima (ou Flores) |

**Figura 1:** Bacias Sedimentares do Estado de Pernambuco.

## II.1. OS AQUÍFEROS INTERSTICIAIS

### II.1.1. AS BACIAS HIDROGEOLÓGICAS COSTEIRAS

Regionalmente podem ser descritas duas bacias hidrogeológicas costeiras, a primeira, de maior amplitude geográfica, de vez que se estende desde a cidade do Recife até o limite nordeste do Estado, prolongando-se ainda por toda a costa do Estado da Paraíba e parte do Rio Grande do Norte: é a denominada Bacia Pernambuco-Paraíba

Da cidade do Recife para sul, desenvolve-se de forma descontínua e com grandes variações dimensionais e de ocorrência espacial, a segunda bacia hidrogeológica costeira que é conhecida como Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo.

Cobrindo discordantemente as várias formações das bacias sedimentares citadas, ocorrem os sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, que na região não se apresenta como bom aquífero.

Nas áreas mais planas ou nos vales fluviais, ocorrem ainda os depósitos recentes de aluviões misturados a depósitos marinhos, colúvios retrabalhados e outros sedimentos de idade recente, os quais podem constituir, como na Planície do Recife, um aquífero de boa potencialidade, no caso, o aquífero Boa Viagem (Costa, 1994).

#### a) Bacia Pernambuco-Paraíba

Localiza-se na porção nordeste da Região Costeira, estendendo-se desde o município de Recife ao de Igarassu. O recurso hídrico subterrâneo mais importante deste domínio é o aquífero Beberibe que vem sendo explorado principalmente pela empresa concessionária dos serviços de abastecimento d'água (COMPESA) para fins de abastecimento público.

Uma das maiores reservas permanentes de água subterrânea da bacia no âmbito do Estado está contidas no aquífero Beberibe deste domínio, tendo sido estimadas pela COMPESA/ACQUA-PLAN, em 1982, uma reserva de  $10 \times 10^9 \text{m}^3$  para a porção inferior desse aquífero.

Neste domínio, o aquífero Beberibe ocorre mais preservado e protegido de contaminações salinas superficiais, principalmente pelas camadas contínuas e selantes das Formações Gramame e Maria Farinha que lhe são sobrejacentes, que são de grande espessura e reduzida permeabilidade vertical, além da extensa área de cobertura da Formação Barreiras.

Ocorre um aquífero intersticial nessa bacia hidrogeológica, o Beberibe, e um aquífero cárstico-fissural, o Gramame-Maria Farinha, cujas características hidrogeológicas são desfavoráveis à acumulação de água subterrânea devido a incipiente evolução cárstica.

## **b) Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo**

Essa bacia possui quatro formações geológicas na região costeira sudeste, a partir da cidade do Recife, todavia, apenas a formação Cabo desempenha importância como aquífero. Com efeito, a Formação Ipojuca é constituída de rochas vulcânicas, e a Formação Estivas por calcários, ou seja, ambas são de constituição que desfavorecem o armazenamento da água; quanto à Formação Algodoads, por ser ainda muito pouco estudada e se restringir a áreas pouco habitadas e por isso mesmo pouco exploradas, não se dispõe de elementos para definição dos seus parâmetros.

O aquífero Cabo ocorre neste domínio hidrogeológico na porção sul da planície do Recife, limitado ao norte pelo Lineamento Pernambuco e a oeste pelo embasamento cristalino; a particularidade que permite individualizar esta área de ocorrência da Formação Cabo, reside na baixa permeabilidade desses sedimentos, pela presença marcante de material siltico-argiloso.

Há ocorrência neste domínio de áreas com super-exploração do aquífero Cabo, mostrando curvas potenciométricas fechadas com inversões das cargas potenciométricas, o que acarreta drenança vertical descendente de águas salinizadas do aquífero Boa

Viagem, contaminando o aquífero Cabo. Na região da orla costeira sul da planície do Recife, que abrange os bairros do Pina, Boa Viagem e Piedade, as águas originalmente de boa qualidade química vêm sendo gradativamente contaminadas por águas salinizadas de camadas superiores e/ou inferiores através de drenança vertical descendente e/ou ascendente, em decorrência da super-exploração do aquífero Cabo e poços mal construídos ou abandonados.

O valor médio obtido para a permeabilidade dessa formação aquífera é baixo, refletindo o elevado teor de finos principalmente argilas e uma compacidade elevada e/ou diminuição da sua permeabilidade em profundidade por influência do derrame basáltico da Formação Ipojuca, que configura o embasamento impermeável desta camada aquífera.

### **c) Aquífero Aluvial**

Os depósitos aluviais ocorrem em maior escala nos baixos cursos dos rios que drenam para a Costa Atlântica. Nas Unidades de Planejamento UP14 (GL1) a UP18 (GL5) que constituem as pequenas bacias hidrográficas costeiras, os depósitos aluviais variam da seguinte maneira (percentual da área total da UP): UP14=11,6%, UP15=2,6%, UP16=42,3%, UP17=27,3% e UP18=28,6%.

Nas bacias hidrográficas maiores, o percentual de aluviões varia desde 2,0% até 6,0% naquelas que drenam para leste e em torno de 2,0% nas tributárias do rio São Francisco. Nas pequenas bacias hidrográficas tributárias do São Francisco, os depósitos aluviais são extensos, variando entre 13,5% na UP23 até 17,9% na UP24.

A espessura dos depósitos aluviais varia desde alguns decímetros até 10,0m, com média da ordem de 2,0m; excetua-se desses parâmetros estatísticos o aquífero Boa Viagem, que pode atingir a espessura de até 80,0m e sua espessura média é em torno de 40,0m.

Esses depósitos recentes são, na maior parte, de origem fluvial, caracterizando o aquífero aluvial que, apesar de possuir constituição predominantemente arenosa, apresenta uma intensa variação lateral e vertical de composição granulométrica o que lhe confere acentuada anisotropia nas características hidrodinâmicas.

## **II.1.2. AS BACIAS HIDROGEOLÓGICAS INTERIORES**

Como bacias hidrogeológicas localizadas no interior do Estado, podem ser consideradas aquelas de médio porte, como a de Jatobá e Araripe e as de pequeno porte,

ou “manchas sedimentares” localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Pajeú e Terra Nova.

#### **a) Bacia do Jatobá**

Da seqüência de formações que constituem a bacia sedimentar, algumas são consideradas bons aquíferos por sua constituição predominantemente arenosa, outras se comportam como aquitardes pela mistura de pelitos aos psamitos e outras ainda como aquiocludes, pela composição exclusivamente pelítica. Dentre aquelas com constituição arenítica, umas são consideradas como bons aquíferos por possuírem água de boa qualidade, enquanto outras não são exploradas como aquíferas por possuírem água salinizada.

O Grupo Jatobá constituído pelas formações Tacaratu e Inajá, de idade siluro-devoniana e as formações São Sebastião e Marizal, de idade cretácica, constituem os melhores aquíferos da bacia sedimentar do Jatobá, sendo o primeiro mais conhecido e explorado.

O sistema aquífero constituído pelas formações sedimentares denominadas de Tacaratu e Inajá, representa a porção mais inferior da seqüência sedimentar da Bacia do Jatobá. Como as camadas possuem uma estrutura homoclinal (inclinadas para uma mesma direção, de noroeste), a borda oriental da bacia constitui a área aflorante dessas formações, onde o sistema possui as características de aquífero livre; a partir da porção ocidental do rio Moxotó, as formações Tacaratu/Inajá se acham sobrepostas pelas formações sedimentares mais superiores, de caráter mais argiloso, proporcionando assim características de aquífero confinado ao sistema Tacaratu/Inajá.

A área representada pelo sistema aquífero Tacaratu/Inajá livre é da ordem de 1.500km<sup>2</sup>, enquanto a confinada, com melhores possibilidades de aproveitamento com relação à profundidade dos poços, até 400m, é da ordem de 900km<sup>2</sup>; aumentando-se a profundidade de captação para os 700m, essa área poderá ultrapassar os 2.000km<sup>2</sup> (SUDENE, 1983).

O sistema aquífero possui espessura variável desde os 200m até 600m na porção mais central da bacia.

Quanto aos aquíferos São Sebastião e Marizal, constituídos predominantemente por arenitos médios a grosseiros, com intercalações de siltitos, argilas sílticas e folhelhos arenosos, embora possuam espessuras que chegam a ultrapassar os 1.000m, não vêm sendo muito explotados, por possuírem os níveis estáticos nos poços à grandes

profundidades, superiores a 150m, o que dificulta a extração das águas em poços perfurados nessas formações aquíferas.

De qualquer forma, essas formações possuem boas características hidrogeológicas que merecem um estudo mais detalhado para avaliação das suas reais potencialidades.

## **b) Bacia do Araripe**

Ocupa no Estado de Pernambuco uma área em torno de 4.400km<sup>2</sup>, que corresponde a apenas 40% de toda a bacia sedimentar, localizada nos limites dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí. Superficialmente ocorrem apenas os sedimentos arenosos do topo da Chapada do Araripe que representa o Sistema Aquífero Superior - DNPM, 1996 - constituído pelas formações Exú e Arajara, com um total de aproximadamente 320m de espessura.

A base desse sistema aquífero é a Formação Santana, com folhelhos, calcários e gipsita, que atua como um aquíclode, possuindo, eventualmente, algumas camadas ou lentes arenosas de pouca expressão como aquífero. Como a estrutura geológica da bacia é, predominantemente, em homoclinal, com mergulho suave ( $\approx 5^\circ$ ) para norte, as águas infiltradas no topo da chapada ao alcançarem a superfície impermeável da Formação Santana, percolam no sentido semi-horizontal, ressurgindo na forma de fontes no Estado do Ceará, onde despeja 44 milhões de metros cúbicos ao ano.

Apesar da considerável espessura do pacote sedimentar, que proporciona um volume de sedimentos da ordem de  $1,8 \times 10^{12} \text{m}^3$  em toda a chapada, o volume que atua como reservatório é relativamente reduzido, desde que somente 30 a 50m de espessura de sedimentos se acha saturado de água, ou seja, apenas cerca de 15% do pacote sedimentar é aproveitado. A razão desse baixo aproveitamento não é ligada às propriedades físicas, ou capacidade de armazenamento d'água dessas formações, mas à dificuldade na retenção da água, face aos exutórios naturais (fontes) que ocorrem ao longo de toda a chapada, sobretudo no lado norte e nordeste (região do Cariri no Ceará).

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

Sob a Formação Santana, ocorrem os arenitos das formações Rio da Batateira e Missão Velha, que constituem o Sistema Aquífero Médio daquela bacia.

As estruturas resultantes dos movimentos tectônicos que ocorreram na formação da Bacia Sedimentar do Araripe apresentam-se em dois grandes compartimentos em forma de grabens, denominados de sub-bacia de Feira Nova, que ocorre na porção centro-oriental, e a sub-bacia do Cariri, que ocorre na região norte-oriental, no Estado do Ceará.

No Estado de Pernambuco, interessam apenas os depósitos sedimentares formados na sub-bacia de Feira Nova, onde o volume de sedimentos pré-Santana é da ordem de  $770 \times 10^9 \text{ m}^3$ , com espessura média da ordem de 400m, sendo assim distribuídos pelas formações geológicas:

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

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

Quanto ao Sistema Aquífero Inferior da Bacia do Araripe, não ocorre no Estado de Pernambuco, tudo indicando que a Formação Mauriti, base da seqüência sedimentar, termine em cunha, sem atingir essa porção da bacia.

### **c) Manchas Sedimentares**

As pequenas bacias sedimentares distribuídas entre a Bacia do Jatobá, a sudeste, e a Bacia do Araripe, a noroeste, são também chamadas de testemunhos de erosão, pois representam resíduo de uma antiga cobertura sedimentar que ocorreu no Nordeste e que, nessa região, unia as duas bacias supra-citadas.

Algumas das formações das duas bacias são correlacionáveis entre si e até mesmo descritas, em alguns casos, com a mesma denominação. Assim é que as formações basais de Tacaratu/Inajá da Bacia do Jatobá são correlacionadas à Formação Mauriti da Bacia do Araripe. Enquanto isso, a Formação Santana, bem caracterizada e descrita na Bacia do Araripe, ocorre com a mesma designação numa reduzida área da Bacia do Jatobá (Serras Negra e Periquito).

Dessa forma, as formações Tacaratu e Inajá são descritas e mapeadas nas manchas sedimentares de São José do Belmonte, Mirandiba, Tupanaci, Betânia e Flores, enquanto no Cedro a formação basal mapeada é a Mauriti, correlata estratigráfica daquelas.

A área total ocupada por essas manchas sedimentares é de apenas 2.200km<sup>2</sup> e a espessura das mini-bacias varia desde 200 até cerca de 500m (Serra Vermelha).

Os aquíferos explorados nessas manchas sedimentares são aqueles relacionados à base das bacias de Jatobá e Araripe, quais sejam o Sistema Aquífero Tacaratu/Inajá e o Sistema Aquífero Inferior (Mauriti/Brejo Santo), respectivamente.

### II.1.3. OS AQUÍFEROS FISSURAIS

Esse aquífero, que ocupa 86% da área do Estado de Pernambuco, caracteriza-se por ser heterogêneo, anisotrópico e descontínuo, além de apresentar reduzida capacidade de infiltração e armazenamento de água devido à inexistência de espaços vazios intergranulares, ou poros, como ocorre nas rochas sedimentares. Dessa maneira, a água nele contida restringe-se aos vazios secundários proporcionados pelas aberturas das falhas, fraturas e fissuras decorrentes de esforços tectônicos ou de alívio de pressão.

As rochas duras fraturadas se comportam hidrogeologicamente em função dos esforços atuantes e das suas características físicas como coesão, ângulo de atrito, módulo de elasticidade e energia de deformação. Assim, em função dessas características, numa rocha que possui maior módulo de elasticidade, ou seja, as mais resistentes, as tensões de tração geradas pelo esforço compressivo são maiores, proporcionando fraturas mais abertas; enquanto isso, a energia de deformação, que é função inversa do módulo de elasticidade atua de modo inverso, ou seja, a frequência de planos de fratura será maior nas rochas menos resistentes ou incompetentes do que nas rochas competentes.

Em outras palavras, nas rochas mais resistentes, por possuírem fraturas mais abertas, o fluxo é maior porém o volume de água por unidade cúbica do meio é menor, devido à baixa intensidade de fraturas; nas rochas menos resistentes a percolação é lenta, embora possam ter maior volume de água armazenada. Esta é a razão pela qual, em geral, os poços perfurados nas rochas mais resistentes, tipo migmatito, possuem menor vazão do que as rochas xistosas, porém a qualidade da água é melhor naquelas do que nestas, como nos micaxistos.

Outros fatores também contribuem para provocar fraturas mais abertas e, em consequência, aumentar a alimentação e proporcionar melhor circulação e maior acumulação da água nesse tipo de aquífero. A composição mineral influi na medida que os cristais bem desenvolvidos são mais quebradiços do que pequenos cristais; rochas com predominância de minerais granulares são mais quebradiços do que aquelas em que

predominam minerais lamelares, em que tendem a uma deformação plástica (dobramentos).

A estrutura da rocha também desempenha importância, pois aquelas com estrutura orientada, lamelar ou linear, são mais sujeitas ao quebraamento do que as não orientadas. Em função da falta de uma maior intercomunicação entre as fraturas, a circulação é muito restrita, sendo o movimento das águas na zona saturada predominantemente na vertical, ao contrário dos aquíferos intersticiais onde a circulação vertical ocorre na zona não saturada, passando a horizontal na zona saturada. As suas velocidades são baixas e tendem a diminuir com a profundidade, tendo em vista que as fraturas na crosta são mais abertas próximo à superfície, fechando-se em profundidade.

Na região Nordeste, esse limite de abertura de fraturas é relativamente baixo se comparado com as regiões no sul do país; o condicionamento geo-estrutural do embasamento cristalino na região Nordeste não apresenta condições de armazenamento d'água a partir de profundidades superiores a 60m (em média). Os estudos já realizados e a própria experiência com a perfuração de poços tem mostrado que, a partir de 50m de profundidade, as chances de se obter água em fraturas são da ordem de apenas 5%. Além de se tornar mais difícil a obtenção de água a partir de maiores profundidades, a qualidade da água em teor salino é bem pior, tendo em vista a dificuldade de renovação dessas águas profundas devido a precária circulação nas fraturas semi-fechadas. Em função da dificuldade de circulação e renovação das águas nesse tipo de aquífero é que ocorre uma progressiva salinização, decorrente, sobretudo, da evaporação e evapotranspiração ocorrente na zona mais próxima à superfície, com concentração dos sais em profundidade.

A alimentação ou recarga do aquífero fissural, embora possa ocorrer ao longo de toda a superfície do terreno onde as rochas apresentam fraturas aflorantes, apresenta maior afluência nos vales fluviais, principalmente nos trechos em que a drenagem superficial coincide com as direções de fraturas; é o que se convencionou denominar na hidrogeologia de "riacho-fenda" (Siqueira, 1963). A locação de um poço, quando tecnicamente locado, procura justamente encontrar essas situações em que existam fraturas abertas nas rochas e estas estejam alinhadas com trechos de rios ou riachos que propiciam a sua alimentação hídrica.

A descarga ou exutórios do aquífero fissural é, na maior parte, procedida artificialmente, através de poços perfurados, pois a posição da superfície hidrostática, em relação às zonas de drenagem superficial, e a reduzida percolação horizontal, impedem a ressurgência dessas águas na superfície. Eventualmente, nas bordas de altiplanos,

ocorrem ressurgências na forma de fontes, em geral drenantes apenas durante alguns meses, após o período de chuvas.

### III. RESERVAS, POTENCIALIDADES E DISPONIBILIDADES

#### III.1. RESERVAS PERMANENTES E REGULADORAS

As reservas permanentes de águas subterrâneas no Estado de Pernambuco são de  $142,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ , das quais 99,89% se acham contidas no aquífero intersticial e apenas 0,11% no aquífero aluvial (SRH/PE, 1998). No aquífero fissural não há condições, ao nível dos conhecimentos atuais, de se efetuar uma avaliação segura, porém os mesmos não passariam de um bilhão de metros cúbicos, ou seja, 0,7% das reservas dos aquíferos intersticiais, embora que aqueles representem uma área 6,4 vezes maior do que estes.

Verifica-se que os maiores reservatórios de água subterrânea são, na ordem decrescente, a Bacia do Jatobá, a Bacia do Araripe, as mini-bacias do Pajeú e as bacias costeiras Pernambuco-Paraíba e do Vulcano-Sedimentar do Cabo. A distribuição desses volumes armazenados, em função das bacias sedimentares, é a seguinte:

- Bacia do Jatobá:  **$61.660 \times 10^6 \text{ m}^3$**
- Bacia do Araripe:  **$42.650 \times 10^6 \text{ m}^3$**
- Bacias interiores (mini-bacias do Pajeú e Terra Nova):  **$26.404 \times 10^6 \text{ m}^3$**
- Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba:  **$9.372 \times 10^6 \text{ m}^3$**
- Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo:  **$585,15 \times 10^6 \text{ m}^3$**

As reservas reguladoras correspondem a apenas 0,6% das reservas permanentes para o total dos diversos tipos de aquíferos, onde, os aquíferos intersticiais, participam com 2/3 dos volumes totais da recarga anual dos aquíferos, vindo a seguir o aquífero aluvial, com 22% e, por fim o aquífero fissural, com apenas 11%.

Considerando que a reserva reguladora é diretamente proporcional à área de recarga do aquífero, a Bacia Sedimentar do Araripe, com uma área de  $3.787 \text{ km}^2$  dentro da UP11 (Brígida) e mais  $529 \text{ km}^2$  na UP28 (Gl.9) totalizando  $4.316 \text{ km}^2$ , não poderia deixar de possuir o maior volume de água renovável no aquífero. Assim é que a reserva reguladora do Sistema Aquífero Superior da bacia do Araripe, com um total de  $253 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , corresponde a 43,8% de todas as reservas reguladoras dos vários aquíferos que ocorrem no Estado, na área sedimentar (ver distribuição na figura V.2.5/6).

A maior área sedimentar, todavia, é a da Bacia do Jatobá, com  $4.962 \text{ km}^2$  distribuídos entre as UP's nº 8 (Moxotó) e 22 (Gl.3), todavia os aquíferos dessa bacia estão visivelmente sub-dimensionados quanto às suas reservas reguladoras visto que pouco

mais de um terço da área foi objeto de estudo pela equipe da SUDENE, de cuja área foram obtidos os dados apresentados no presente trabalho, conferindo uma reserva reguladora para os aquíferos dessa bacia de apenas  $101 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ .

Em segundo lugar em importância de volumes de recarga, ou reserva reguladora dos sistemas aquíferos, vem a Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, que ocorre nas UP's nº 1 (Goiana), 2 (Capibaribe) e 14 (GL.1), totalizando no conjunto,  $154,5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , correspondendo a 26,7% das reservas totais dos aquíferos intersticiais.

Os 12% restantes do volume de reservas reguladoras se acham distribuídos entre o aquífero Cabo na Bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo e nas mini-bacias interiores.

Quanto aos depósitos aluviais, os maiores índices de recarga do aquífero correspondem aos vales do Pajeu e Brígida, com 10,6% e 8,4% respectivamente do total das reservas reguladoras; em seguida vêm as unidades de planejamento de pequeno porte que se situam nas margens do Rio São Francisco, cuja soma corresponde a 23% das reservas reguladoras. Finalmente no aquífero fissural, apenas as UP's nº 9 (Pajeú) e 11 (Brígida) apresentam valores que ultrapassam de 10 milhões de metros cúbicos anuais.

### III.2. POTENCIALIDADES

A potencialidade total dos reservatórios subterrâneos do estado, é de  $1.255,9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , o que corresponde a apenas 0,88% das reservas permanentes e 1,45 vezes a reserva reguladora.

Considerando a distribuição por tipo de aquífero, constata-se que o aquífero intersticial lidera as potencialidades, com 863 milhões de metros cúbicos ao ano, o que corresponde a 69% do total; seguem-se em importância o aquífero aluvial, com 23% da participação global e, por fim o aquífero fissural, com apenas 8%.

Quanto a distribuição da potencialidade por aquífero; constata-se que, de forma semelhante (como não podia deixar de ser) com as reservas calculadas, a bacia do Araripe distribuída nas UP's 11 e 28 apresenta a maior potencialidade, correspondendo a 39% de toda a área sedimentar. Seguem-se as bacias de Jatobá com 26% e a Pernambuco-Paraíba, com 20%. Os 15% restantes são distribuídos nas demais bacias.

Vale salientar que o conjunto de pequenas bacias interiores no vale do Pajeú possui uma considerável potencialidade, da ordem de 75 milhões de metros cúbicos anuais, bem superior ao da bacia Vulcano-Sedimentar do Cabo, que somente alcança o valor de 43 milhões de metros cúbicos anuais, distribuídos nas diversas bacias litorâneas.

O aquífero fissural, com pouco mais de 100 milhões de metros cúbicos anuais, apresenta uma potencialidade baixa, apesar de para esse tipo de aquífero não haver sido levado em consideração a parcela da reserva permanente que se poderia utilizar, por não se conhecer tais reservas. Apesar disso, algumas bacias, como a do Pajeú e do Brígida apresentaram valores de potencialidade desse aquífero bastante razoáveis, com 16,7 e 11,6 milhões de metros cúbicos anuais, respectivamente.

#### III.4. DISPONIBILIDADE VIRTUAL, INSTALADA E EFETIVA

A **disponibilidade virtual**, em todo o Estado, é de  $1.016,8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , ou seja, 0,7% das reservas permanentes e 81% das potencialidades.

Constata-se que as maiores disponibilidades virtuais correspondem às UP's nº 11 (Brígida) com  $261,4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , 8 (Moxotó) com  $172,5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  e 14 (GL.1), com  $104,6 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , ou seja, na ordem decrescente, das bacias sedimentares do Araripe, Jatobá e Pernambuco-Paraíba. O somatório dessas três UP's corresponde a 53% do total das disponibilidades virtuais em todo o estado.

Quando comparados os diversos tipos de aquífero, constata-se que o aquífero intersticial participa com 84% das disponibilidades virtuais, seguido do aquífero fissural, com 10% e por último, do aquífero aluvial, com 6%.

No aquífero intersticial, os aquíferos da Bacia do Araripe, distribuídos nas UP's 11 e 28, totalizam  $388,8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , ou seja, 45,6% do total; a Bacia do Jatobá, que ocorre nas UP's 8 e 3, totalizam  $224,5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , o que corresponde a 26,3% do total no estado e por fim, a Bacia Pernambuco-Paraíba, nas UP's 1, 2 e 14, totalizam  $166,6 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , ou seja, 19,5% do total do estado. Os restantes correspondendo a apenas 8,6% são distribuídos nas demais áreas sedimentares do Estado.

No aquífero aluvial, a disponibilidade virtual é sempre muito baixa, variando entre  $0,01 \times 10^6$  e  $4,88 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , com média inferior a  $2 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ .

O aquífero fissural já apresenta uma disponibilidade virtual bem mais representativa com variação entre  $0,04 \times 10^6$  e  $16,7 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , e média de  $3,8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ . A UP9 (Pajeú) com  $16,7 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  e a UP11 (Brígida) com  $11,6 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  constituem as unidades com maior disponibilidade virtual do aquífero fissural.

Em termos globais, a **disponibilidade instalada**, com um total de  $453 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , estaria bem abaixo das disponibilidades virtuais, correspondendo a apenas 44,5% das mesmas. Constata-se que entre as UP's, destacam-se a UP2 (Capibaribe) e a UP14

(GL1) com  $186,7 \times 10^6$  e  $108,7 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  respectivamente, constituindo no total para a Bacia Pernambuco-Paraíba, o percentual de 65% do total no Estado.

Considerando a participação dos distintos tipos de aquífero, verifica-se pela figura V.2.5/11, que 70% corresponde ao aquífero intersticial, 26% ao aquífero fissural e apenas 4% ao aquífero aluvial.

Há também uma grande concentração das disponibilidades instaladas na bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba, e uma precária distribuição nas demais bacias sedimentares, inclusive com ausência quase total ( $0,9 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ ) naquela bacia que apresentou a maior disponibilidade virtual, que foi a Bacia do Araripe. A Bacia do Jatobá com apenas  $21 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , seguida Bacia do Cabo, com  $17 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  e da Bacia do Pajeú (conjunto das mini-bacias interiores) com somente  $12 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , completam o quadro das disponibilidades instaladas em bacias sedimentares.

No aquífero aluvial, a disponibilidade instalada parece não existir, pois constam apenas  $18,7 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  em todo o Estado, e assim mesmo concentrados nas UP's 14 (GL1) e 8 (Moxotó). Esses números não significam a inexistência de captações nesse tipo de aquífero, mas, tão somente, ausência de cadastramento dessas obras.

No aquífero fissural, onde os poços são melhor cadastrados, o total de  $118,4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  da disponibilidade instalada é até mesmo superior à disponibilidade virtual desse aquífero, igual a  $106,5 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ . Em termos comparativos, verifica-se que as maiores concentrações de poços, que resultam na disponibilidade instalada, correspondem às UP's 9 (Pajeú) com  $26 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , 11 (Brígida) com  $17,2 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  e 2 (Capibaribe) com  $17 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ . O total dessas três UP's representa 51% de todo o Estado.

A **disponibilidade efetiva** que corresponde ao que se está explotando na prática, é de apenas  $148 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , o que representa a terça parte da disponibilidade instalada e apenas 14,5% da disponibilidade virtual.

A maior taxa de exploração verifica-se na UP14 (GL.1), com  $64,8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , seguido da UP2 (Capibaribe), no mesmo aquífero, como  $50,3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ . Essas duas unidades de planejamento que se situam na Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, estão explotando 68% de toda a água explotada no Estado de Pernambuco.

O aquífero intersticial representa 85% de toda a disponibilidade efetiva, contra 13% do aquífero fissural e apenas 2% do aquífero aluvial.

Constata-se a grande predominância de disponibilidade efetiva na Bacia Pernambuco-Paraíba, que detêm a maior parcela da exploração (87,9%), contra 12,1% distribuídos em todas as outras bacias sedimentares.

O aquífero aluvial também se apresenta com baixas taxas de disponibilidades efetivas face a ausência de cadastramento das obras de captação nos depósitos aluviais.

Finalmente, no aquífero fissural, o índice de aproveitamento é irrisório, quando se constatou uma disponibilidade instalada da ordem de  $118 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  e uma disponibilidade efetiva de apenas  $19,7 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , o que corresponde a 16,6%. Nesse aquífero, a maior disponibilidade é representada pela Bacia do Pajeú, onde estão sendo captados  $4,3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ , ou seja, 22% de toda a disponibilidade do aquífero fissural no estado. Em geral, a disponibilidade é inferior a  $1 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$  para esse tipo de aquífero, em cada UP.

## **IV. CLASSIFICAÇÕES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA OS DIVERSOS FINS**

### **IV.1. CLASSIFICAÇÃO IÔNICA**

A classificação iônica serve para identificar a água com relação aos ions dominantes, tanto de anions, como de cations. O método mais utilizado é o do diagrama de Piper, no caso de um grupo de amostras, e o diagrama de Stiff para amostras isoladas.

As águas do aquífero intersticial variam entre os tipos cloretada mista a cloretada mista (tipos dominantes), ocorrendo ainda a cloretada magnesiana e bicarbonatada mista a calcio-magnesiana. De um modo geral, as águas são predominantemente cloretadas, ocorrendo bicarbonatadas apenas na GL1 em função dos calcários Gramame e Maria Farinha, e no Brígida em função também da presenças dos calcários da Formação Santana na Bacia do Araripe. Essas características podem também ser notadas quando são agrupadas as águas por bacias sedimentares.

No aquífero fissural, todas as águas são cloretadas, variando apenas a composição catiônica que pode ser sódica (dominante), mista ou magnesiana. Por zona fisiográfica, na zona da mata predominam as cloretadas sódicas, no agreste variam desde cloretadas sódicas a cloretadas mistas a cloretadas magnesianas; na zona sertão setentrional predominam as cloretadas magnesianas e no sertão meridional as cloretadas mistas. Na ilha de Fernando de Noronha as águas são cloretadas sódicas a bicarbonatadas sódicas.

## IV.2. CLASSIFICAÇÃO DE POTABILIDADE RELATIVA

Schoeller, classifica a água quanto ao limite de sua potabilidade relativa, segundo o quadro abaixo:

CLASSES DE POTABILIDADE		Resíduo Seco	Sódio	Mg/12 + Ca/20	Cloreto	Sulfato
PER MA NEN TE	BOA	0 - 500	0 - 115	0 - 5	0 - 177	0 - 144
	PASSÁVEL	500- 1.000	115 - 230	5 - 10	177 - 355	144 - 288
	MEDÍOCRE	1.000- 2.000	230 - 460	10 - 20	355 - 710	288 - 576
	MÁ	2.000- 4.000	460 - 920	20 - 40	710 - 1.420	576 - 1.152
MOMENTÂNEA		4.000- 6.000	920 - 1.840	40 - 80	1.420 - 2.840	1.152 - 2.304

No aquífero intersticial as águas são predominantemente classificadas, como **boas** a **passáveis**, para os aquíferos costeiros de Pernambuco-Paraíba e do Cabo; nas miníbasias interiores de Pajeu e Terra Nova variam desde **boas** (com participação superior a 50%) até **más** (chegam a atingir 25% na Terra Nova); nas bacias de Jatobá e Araripe são predominantemente **boas** a **passáveis**, ficando as de potabilidade **má** reduzidas a cerca de 5%.

No aquífero fissural, apenas na Zona da Mata as águas se apresentam predominantemente nas classificações de **boa** a **passável**; na zona agreste as águas classificadas como **boas** a **passáveis** ficam restritas a percentuais de até 30%, sendo as demais classificadas entre **medíocres**, **más**, de potabilidade **momentânea** e até mesmo como **não potáveis** (estas podendo atingir até 46%, como na GI1); na zona sertão, embora melhorem um pouco, são também distribuídas entre todos os tipos de classes de potabilidade, porém somente no sertão meridional chegam a classificação de **não potáveis** (chega a atingir 28% na GI5). Na Ilha de Fernando de Noronha as águas são predominantemente do tipo **passável** (51%) e secundariamente **medíocres** (32%).

## IV.3. CLASSIFICAÇÃO PARA IRRIGAÇÃO

O critério mais utilizável para classificar as águas para irrigação é o estabelecido pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), sendo o método conhecido por esta sigla. Esta classificação baseia-se na **razão de adsorção de sódio (RAS)**, também conhecida por **SAR** (do inglês *sodium adsorption ratio*), e na condutividade elétrica da água.

As classes de irrigação variam desde C<sub>0</sub>-S<sub>1</sub> até C<sub>5</sub>-S<sub>4</sub>, sendo as variáveis C (indicativa da salinidade, expressa pela condutividade elétrica) e S (indicativa da sodicidade expressa pelo RAS) correspondentes às seguintes condições:

As águas do aquífero intersticial são, na maior parte bem aceitas para irrigação em quase todos os tipos de solos e para a maioria das culturas. Com efeito, nos aquíferos

costeiros as águas se classificam em mais de 90% dos casos, nas classes C<sub>1</sub> -S<sub>1</sub> até C<sub>3</sub> S<sub>1</sub>; nas bacias interiores do Pajeú e Terra Nova, embora predominem as águas das classes acima citadas, o seu percentual é menor, podendo as águas de classes superiores, como C<sub>4</sub> - S<sub>2</sub>, C<sub>5</sub> - S<sub>2</sub> e até mesmo C<sub>5</sub> - S<sub>4</sub> ocorrerem em percentuais que vão até 40%. Na Bacia do Jatobá essas águas de maior salinidade chegam a 20% apesar do predomínio das águas de classes C<sub>2</sub> - S<sub>1</sub> e C<sub>2</sub> - S<sub>2</sub>. Finalmente, na bacia do Araripe, as águas em 87% são classificadas entre C<sub>1</sub> - S<sub>1</sub> e C<sub>3</sub> - S<sub>1</sub>.

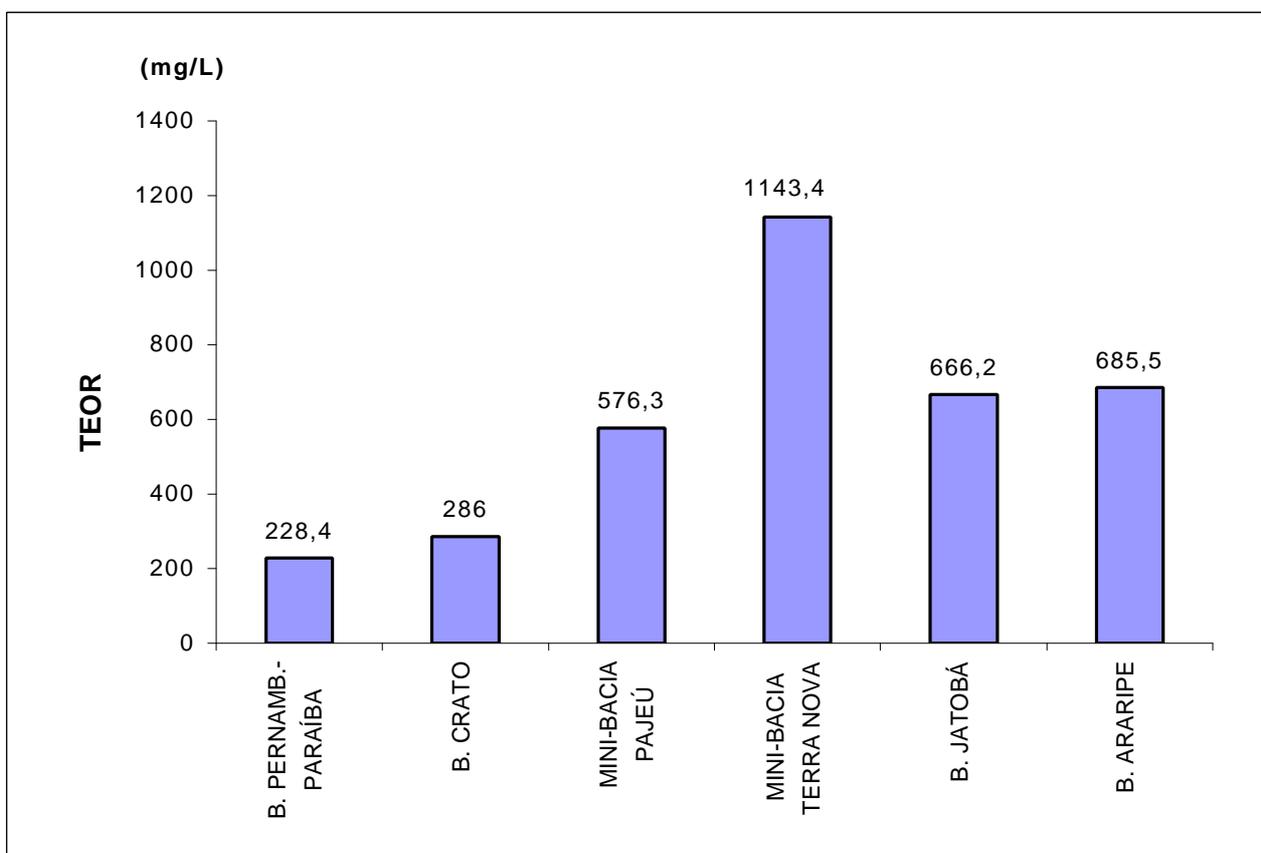
No aquífero fissural, como pode ser visto no quadro V.2.6/9, com exceção da zona da mata onde predominam as águas de classes C<sub>1</sub> - S<sub>1</sub> a C<sub>3</sub> - S<sub>1</sub>, em todas as demais zonas as águas se distribuem de maneira predominante nas classes mais altas, com C<sub>3</sub> - S<sub>2</sub> até C<sub>5</sub> - S<sub>4</sub>. Na ilha de Fernando de Noronha, as águas são predominantemente dos tipos C<sub>3</sub> - S<sub>1</sub> (46%), C<sub>3</sub> - S<sub>2</sub> (21%) e C<sub>4</sub> - S<sub>1</sub> (13%).

#### IV.4. CONSUMO ANIMAL

Logan (1965) classifica as águas para consumo animal segundo a concentração de sólidos totais dissolvidos, como se segue: **Boa** com STD < 2.500 mg/L; **Satisfatória** com STD de 2.500 a 3.500 mg/L; **Pobre** com STD de 3.501 a 4.500 mg/L; e **Insatisfatória** com STD > 4.500 mg/L

No aquífero intersticial praticamente todas as águas se enquadram como **boas**, visto que o seu percentual é, em geral, superior a 90%; as restantes, se enquadram como **satisfatórias** (20% na UP7-Ipanema e 12% na UP0-Terra Nova), ou **pobres** (6% na Bacia do Araripe) e apenas 2% como **insatisfatória** nas UP's 8 (Moxotó) e 9 (Pajeú).

No aquífero fissural, apenas a zona da mata e a Ilha de Fernando de Noronha apresentam percentuais de 90% de águas **boas** ; nas demais zonas, o agreste apresenta uma predominância de águas classificadas como **insatisfatória** (de 40 a 60%) e os restantes distribuídos nas demais classes; nas duas zonas do sertão predominam as águas **boas** a **satisfatórias** sendo que no sertão setentrional os percentuais dessas classes chegam a ultrapassar os 90%, enquanto no sertão meridional os percentuais ficam entre 50 e 60% para essas classes de melhor qualidade de água para consumo animal.



**Figura 2 – Resíduo Seco nos Aquíferos Intersticiais por Bacia Sedimentar**

Constata-se na Figura 2, que as águas das bacias sedimentares costeiras, tanto a PE/PB como a do Cabo, apresentam os mais baixos teores de sais, com resíduo seco inferior a 300mg/L em média; na medida que se adentra para o interior do Estado, onde o clima é mais árido, nota-se claramente o aumento da salinidade, cujos resíduos secos médios variaram desde 576mg/L nas mini-bacias do Pajeú, até 1.143mg/L na mini-bacia do Terra Nova, que, por ser de reduzida espessura de sedimentos, recebe muita influência das águas do aquífero fissural, de elevada salinidade.

Em síntese, pode-se dizer que as águas dos aquíferos intersticiais são, na maior parte, de boa qualidade, prestando-se para qualquer tipo de uso, inclusive para o consumo humano, enquanto as águas do aquífero fissural apresentam, na maior parte, restrições para consumo humano e irrigação, sendo, todavia, aceita para consumo animal na sua maior parte.