

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

## **VI-065 - SALINIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NAS BACIAS SEDIMENTARES DO CEARÁ**

**Fernando José Araújo da Silva** <sup>(1)</sup> - Engenheiro Civil, Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Mestre em Engenharia, área de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba – UFPb. Professor Assistente do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza.

**Magda Maria Marinho de Almeida** – Química Industrial. Universidade Federal do Ceará – UFC. Mestre em Tecnologia de Alimentos, UFC. Técnica do Laboratório Central – LACEN, da Secretaria Estadual de Saúde do Ceará.

<sup>(1)</sup>Rua João Luís Santiago, 930 – J. das Oliveiras. Fortaleza – CE. CEP: 60.821-430.

**e-mail:** [fjas@unifor.br](mailto:fjas@unifor.br)

### **RESUMO**

No Ceará, Nordeste brasileiro, as bacias sedimentares representam pouco menos de 30% da área do estado, mas concentram os maiores volumes de água para exploração. As águas de substrato sedimentar apresentaram-se com excelente qualidade, quando comparadas às águas de poços em embasamento cristalino, ratificando o potencial de exploração deste recurso. Cerca de 73% das amostras apresentaram condutividade elétrica igual ou inferior a 0,75 mS/cm. Isto implicou em valores baixos e médios de dureza, sódio e cloretos. Praticamente não há restrições quanto ao uso das águas para consumo humano. O conteúdo de STD (mg/L) representa cerca de 61% do valor de CE ( $\mu$  S/cm) nas águas dos poços estudados. Para uso na irrigação as águas são predominantemente do tipo C1S1 e C2S1.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas subterrâneas, salinidade, bacias sedimentares, Ceará.

### **INTRODUÇÃO**

O estado do Ceará localiza-se na porção setentrional do Planalto Atlântico Brasileiro, e está situado entre os meridianos de 37°14'50" e 41°24'45" de longitude oeste e 2°46'20" e 7°52'15" de latitude sul. Ocupa uma área de 148.016 Km<sup>2</sup>, estando em sua quase totalidade no trópico semi-árido (IPLANCE, 2002). Isto resulta em déficit hídrico que impõe a busca por fontes alternativas para atender às demandas. Neste contexto, as águas de substrato são estratégicas à sustentação humana na região.

O território cearense pertence basicamente a dois grandes grupos hidrogeológicos: o Escudo Oriental e a Província Costeira (Rebouças, 1999). O aproveitamento águas subterrâneas pode ser limitado, pois cerca de 70% do Ceará está em litologia cristalina. O armazenamento de águas em tais formações é baixo e a qualidade frequentemente pobre, por causa da resistência à infiltração no solo e do preenchimento de fraturas (Manoel Filho, 2000).

Ao contrário das rochas cristalinas, as bacias sedimentares existentes no Ceará, mesmo que em pequenas proporções, são responsáveis pelos maiores volumes de água subterrânea do semi-árido local. A boa porosidade e a permeabilidade dessas rochas as transformam em excelentes corpos armazenadores. Cerca de 95% das águas do subsolo são encontradas nessas litologias. O potencial hídrico de substrato sedimentar no Ceará está concentrado nas regiões do Cariri, Serra Grande e Apodi, contando ainda com o sedimento costeiro (Leite e Möbus, 2000). A Figura 1 mostra a distribuição das litologias dominantes no estado do Ceará.

**Figura 1: Representação das litologias dominantes no Estado do Ceará.**

**Fonte: IPLANCE (2002).**

Uma vez que o volume hídrico é maior nas bacias sedimentares, importa saber a qualidade da água, de maneira que se possa planejar e orientar os possíveis usos. Neste contexto, a salinidade é um dos elementos mais importantes. Em abordagem comum, considera-se o aquífero homogêneo, de forma que qualquer amostra de água seja representativa da qualidade do mesmo. No entanto, deve-se lembrar que com o tempo ocorrem alterações na qualidade da água, à medida que há recarga, sobre-exploração do aquífero ou antropismo. Um quadro de avaliação da salinidade de água foi proposta por da Silva et al. (2002) em trabalho realizado no Ceará. Esta referência recente é considerada no presente estudo, para definir o perfil de salinidade das águas de substrato em litologia sedimentar no Ceará, conforme mostra a Tabela 1. Os limites sugeridos dizem respeito aos diversos usos da águas e ao fato dos sais serem elementos conservativos.

**Tabela 1: Salinidade da águas para diversos usos.**

| <i>Parâmetro</i>                       | <i>Grau de caracterização da água</i> |             |             |             |            |
|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|                                        | <b>1</b>                              | <b>2</b>    | <b>3</b>    | <b>4</b>    | <b>5</b>   |
| Condutividade elétrica (mS/cm)         | Baixa                                 | Média       | Crítica     | Alta        | Muito alta |
|                                        | até 0,30                              | 0,31 – 0,75 | 0,76 – 2,25 | 2,26 – 4,50 | > 4,50     |
| Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L) | Água branda                           | Baixa       | Média       | Alta        | Muito alta |
|                                        | até 50                                | 51 – 100    | 101 – 150   | 151 – 300   | > 300      |
| Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)          | Baixo                                 | Médio       | Crítico     | Alto        | Muito alto |
|                                        | até 35                                | 36- 70      | 71-150      | 151- 230    | > 230      |
| Cloretos (mg Cl <sup>-</sup> /L)       | Baixo                                 | Médio       | Crítico     | Alto        | Muito alto |
|                                        | até 50                                | 51 – 100    | 101 - 200   | 201 - 350   | > 350      |

Fonte: da Silva et al. (2002).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisadas amostras das águas de 189 poços localizados em 61 municípios do Ceará. Os poços estavam localizados nas diferentes áreas de litologia sedimentar do estado. Foram determinados em campo os seguintes parâmetros: temperatura, condutividade elétrica e pH. Em laboratório foram determinados: alcalinidade, cloretos, sódio, potássio, dureza total, cálcio, magnésio, sulfato, nitrato e sólidos totais dissolvidos. Os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em APHA (1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos nas análises. O pH das amostras foi ligeiramente alcalino, mas sem variações consideráveis. Sódio, cloretos e bicarbonatos apresentaram os maiores coeficientes de variação ( $CV = [Média/Desvio\ padrão] \times 100$ ). A mediana pode ser empregada como valor representativo a fim de mininar discrepâncias causadas por valores extremos.

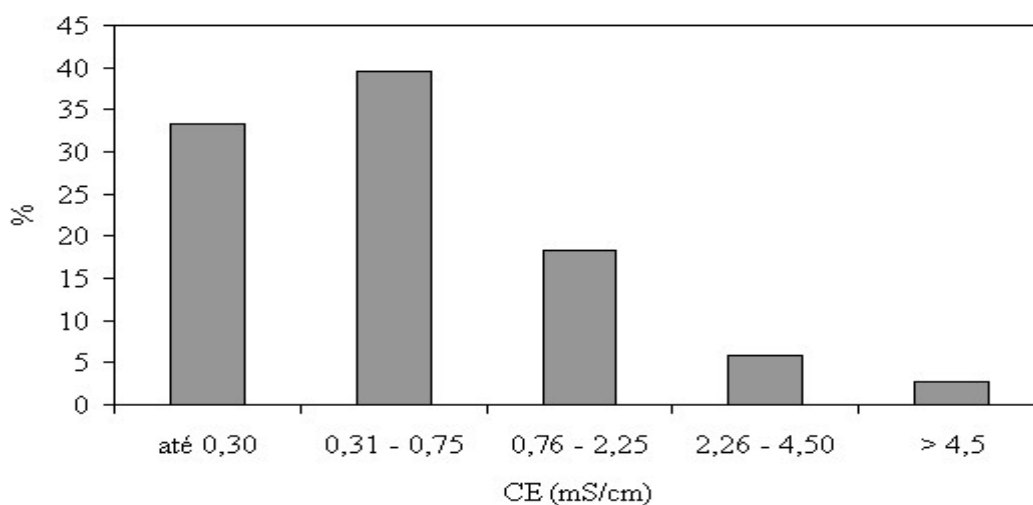
**Tabela 2: Valores dos resultados obtidos na análise das amostras.**

| <i>Parâmetro</i>                                   | <i>Média</i> | <i>Mediana</i> | <i>Mínimo-Máximo</i> | <i>Desvio padrão</i> | <i>Coeficiente de variação (%)</i> |
|----------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Temperatura (°C)                                   | 31,5         | 31,2           | 25,0 - 39,9          | 2,34                 | 7,4                                |
| PpH (unidades)                                     | 7,53         | 7,63           | 6,06 - 8,55          | 0,55                 | 7,3                                |
| Bicarbonatos (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L) | 137,6        | 95,9           | 5,7 - 461,4          | 123,5                | 89,8                               |
| Carbonatos (mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)   | 1,4          | 0,4            | 0,0 - 12,3           | 2,7                  | 192,9                              |
| Condutividade elétrica (mS/cm)                     | 3,44         | 1,20           | 0,02 – 27,14         | 6,18                 | 179,6                              |
| Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)                      | 361,0        | 128,0          | 1,3 - 3.785,0        | 731,0                | 202,5                              |
| Potássio (mg K <sup>+</sup> /L)                    | 26,7         | 12,3           | 0,7 - 222,0          | 40,1                 | 150,2                              |
| Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)             | 694          | 169            | 3,2 – 6.660,7        | 1.280,2              | 184,5                              |
| Cálcio (mg Ca <sup>2+</sup> /L)                    | 100,8        | 39,6           | 1,8 - 976,0          | 182,5                | 181,0                              |
| Magnésio (mg Mg <sup>2+</sup> /L)                  | 107,4        | 25,4           | 0,9 – 1.012,8        | 203,4                | 189,4                              |
| Cloretos (mg Cl <sup>-</sup> /L)                   | 836,0        | 259,0          | 3,5 -7.077,0         | 1.630,4              | 195,0                              |
| Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)      | 48,9         | 17,8           | 0,8-287,5            | 73,7                 | 150,7                              |
| Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)       | 8,2          | 3,8            | 0,1-37,3             | 9,4                  | 114,6                              |

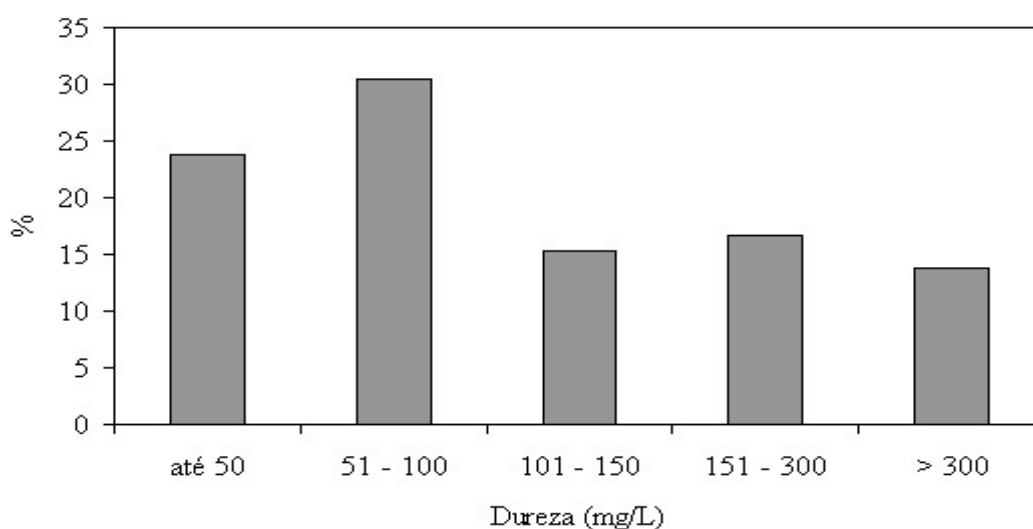
|                            |     |     |            |       |       |
|----------------------------|-----|-----|------------|-------|-------|
| Sólidos totais dissolvidos | 806 | 736 | 196-12.196 | 1.386 | 172,0 |
|----------------------------|-----|-----|------------|-------|-------|

As Figuras de números 2 a 5 mostram a distribuição das faixas de concentração de parâmetros de salinidade das águas dos poços estudados em relação aos valores referidos na Tabela 1. Cerca de 73% das amostras apresentaram condutividade elétrica igual ou inferior a 0,75 mS/cm. Quanto à dureza, 54% apresentaram baixos valores (como  $\text{CaCO}_3$ ) ou foram brandas. Quase 73% das amostras tinham concentrações de sódio iguais ou inferiores a 70 mg/L e cerca de 51% apresentaram concentrações de cloretos menores ou iguais a 100 mg/L. Os resultados ratificam, em razão da qualidade, o potencial de exploração de águas subterrâneas de litologia sedimentar no Ceará.

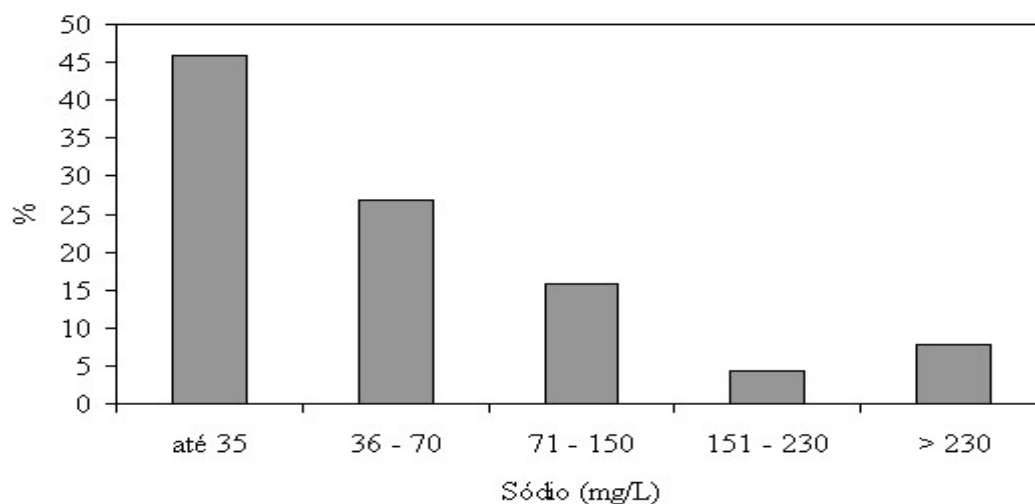
**Figura 2: Distribuição da CE nas águas subterrâneas de bacia sedimentar do Ceará.**



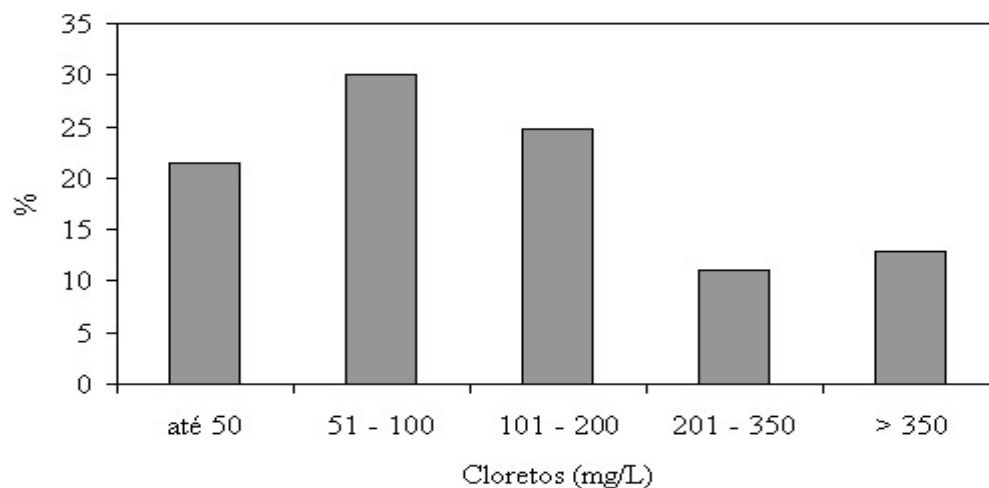
**Figura 3: Distribuição de dureza nas águas subterrâneas de bacia sedimentar do Ceará.**



**Figura 4: Distribuição de sódio nas águas subterrâneas de bacia sedimentar do Ceará.**



**Figura 5: Distribuição de cloretos nas águas subterrâneas de bacia sedimentar do Ceará.**



Uma vez que o consumo potável da água é prioritário, a referência de qualidade deve ser a Portaria 1.469/2000 do Ministério da Saúde. A Tabela 3 mostra o percentual de poços em que a água atende às exigências dos padrões de potabilidade em relação aos principais parâmetros de salinidade. Nota-se que não houve qualquer caso em que a concentração de nitrato excedesse ao limite, indicando que antropismo relacionado à contaminação por nitrogênio é improvável.

**Tabela 3: Percentual de poços em que as amostra de água atenderam às exigências dos padrões de potabilidade em relação aos principais parâmetros de salinidade.**

| Parâmetro                                     | Limite padrão recomendado pela Portaria 1.469/2000 – MS | % de amostras que atenderam ao padrão |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)        | ≤ 250                                                   | 83                                    |
| Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)                 | ≤ 200                                                   | 91                                    |
| Cloretos (mg Cl <sup>-</sup> /L)              | ≤ 250                                                   | 82                                    |
| Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L) | ≤ 250                                                   | 97                                    |
| Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)  | ≤ 45 (10 como mg N/L)                                   | 100                                   |
| Sólidos totais dissolvidos (mg/L)             | ≤ 1.000                                                 | 89                                    |

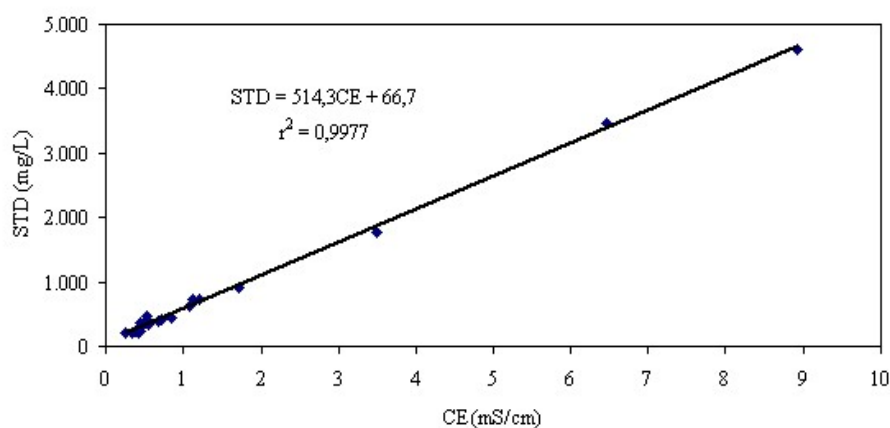
Os parâmetros de salinidade são conservativos e, admitindo que as amostras de água compõem sistemas em equilíbrio, pode-se desenvolver modelos de predição de valores a partir de uma matriz de correlação. A Tabela 4 mostra a correlação linear entre os principais parâmetros de salinidade (para  $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 3: Matriz de correlação entre os principais parâmetros de salinidade de águas subterrâneas em bacias sedimentares do Ceará.**

|                  | CE       | Dureza   | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|------------------|----------|----------|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|
| CE               | 1        |          |                 |                |                  |                  |                 |
| Dureza           | 0,913796 | 1        |                 |                |                  |                  |                 |
| Na <sup>+</sup>  | 0,83826  | 0,574647 | 1               |                |                  |                  |                 |
| K <sup>+</sup>   | 0,634874 | 0,577364 | 0,467761        | 1              |                  |                  |                 |
| Ca <sup>2+</sup> | 0,826081 | 0,926629 | 0,459391        | 0,577527       | 1                |                  |                 |
| Mg <sup>2+</sup> | 0,900301 | 0,9708   | 0,604504        | 0,533373       | 0,809379         | 1                |                 |
| Cl <sup>-</sup>  | 0,967999 | 0,882103 | 0,849792        | 0,657204       | 0,804174         | 0,864773         | 1               |

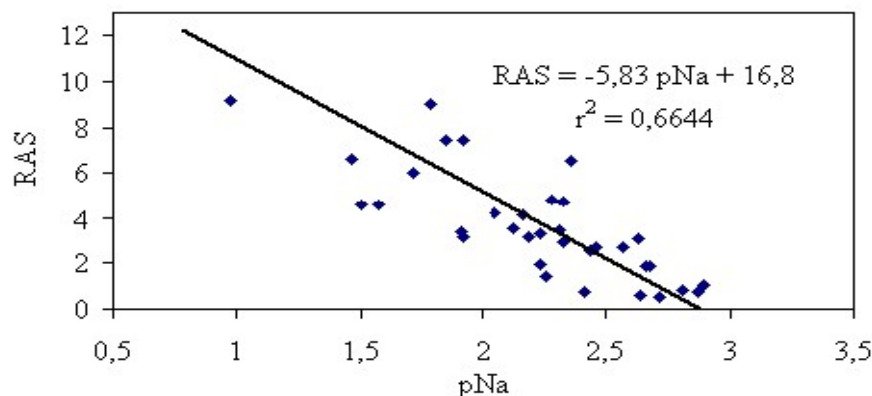
A determinação da condutividade elétrica é simples e barata, servindo para estimar o conteúdo de sólidos totais dissolvidos (STD) na água (Hounslow, 1995). A razão média entre STD (mg/L) e CE ( $\mu$  S/cm) nas águas dos poços estudados foi de 0,61, variando entre 0,51 e 0,87. Entre as amostras analisadas selecionou-se aquelas cujo erro de balanço de carga foi inferior a 5% e com uma CE máxima de 10 mS/cm. Assim, através de correlação linear simples é possível estimar o valor de STD nas águas de bacias sedimentares do Ceará a partir da condutividade elétrica.

**Figura 6: Predição do conteúdo de sólidos totais dissolvidos em águas de poços de bacias sedimentares no Ceará a partir da condutividade elétrica.**



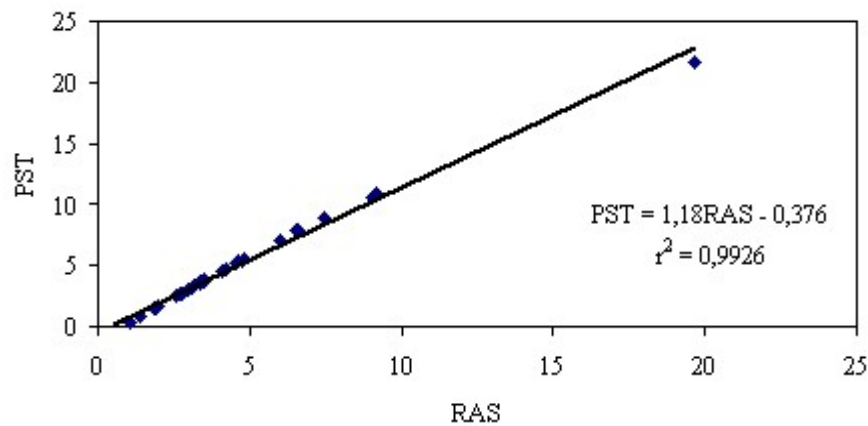
Além do aspecto de consumo potável, é necessário considerar os riscos potenciais dos sais dissolvidos na água em relação ao uso desta na agricultura. Toxicidade de íons às culturas vegetais e salinização do solo exigem atenção a partir da qualidade da água pretendida para irrigação (HILLEL, 2000). Também, a agressividade da água aos materiais e aos equipamentos que a transportam está relacionada ao conteúdo de sua matriz iônica, e, portanto, merece atenção. Relações iônicas como razão de adsorção de sódio (RAS), percentual de sódio trocável (PST) da água e índice de saturação (IS) são essenciais em estudos acurados de projetos de irrigação. A RAS mede o grau em que o sódio substitui o Ca e o Mg adsorvidos no solo, tendo implicação sobre o processo de salinização. A Figura 7 apresenta um modelo de estimativa da RAS a partir da concentração de sódio. Neste caso optou-se por representação em forma de potencial de sódio ( $pNa = 1/\text{Log} [Na^+]$ ), semelhante à expressão do pH. Também, o modelo apresentado considerou amostra com erro de máximo de 5% no balanço de cargas e condutividade de até 5 mS/cm. Praticamente todos os valores de RAS (inferiores a 12) sugeriram baixo risco de sodicidade (S1) de solo. Esta condição associada ao fato de que 73% dos valores CE foram iguais ou inferiores a 0,75mS/cm, pode-se afirmar que há predominância de águas C1S1 e C2S1 segundo classificação do *U.S. Salinity Laboratory* (HILLEL, 2000). Tal classificação sugere poucas restrições ao uso das águas na irrigação.

**Figura 7: Estimativa da RAS a partir do potencial de sódio (pNa) em águas de poços de bacias sedimentares no Ceará.**



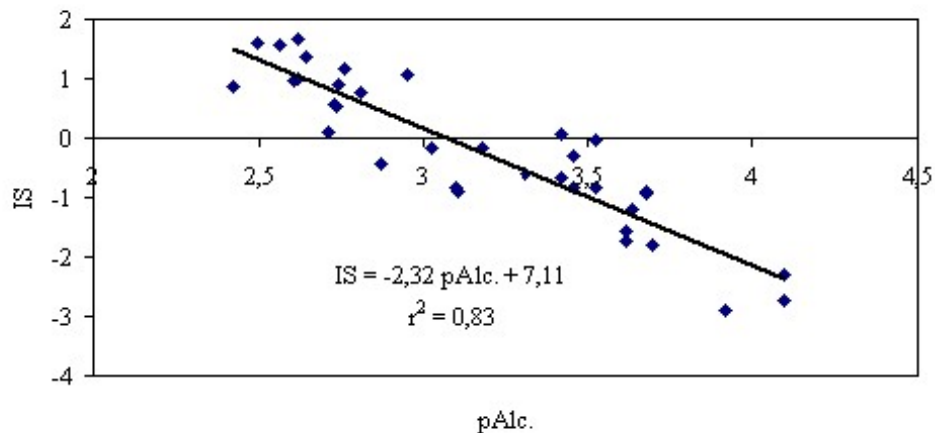
Águas com valores de RAS elevados implicam em diminuição da permeabilidade do solo (AYERS e WESTCOT, 1992). É desejável que o PST seja igual ou inferior a 15%. O PST médio foi de 5,2%, variando entre 0,8 e 21,7%. Para as águas dos poços de bacias sedimentares do Ceará o valor do PST pode ser estimado a partir de:

**Figura 8: Percentual de sódio trocável (PST) das águas de poços de bacias sedimentares no Ceará, com base no valor da RAS.**



Um último parâmetro importante a ser discutido sobre a salinidade das águas de substrato sedimentar do Ceará é o índice de saturação. O IS indica a agressividade da água quanto a causar incrustação e corrosão. Valores positivos mostram a tendência de precipitação de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) enquanto valores negativos mostram a tendência da água em dissolver mais calcita. O IS depende também de partições de cálcio com o sistema carbônico, sendo, portanto, dependente da alcalinidade da água (HOUNSLOW, 1995). O potencial de alcalinidade ( $\text{pAlc.} = 1/\text{Log} [\text{alcalinidade como } \text{CaCO}_3]$ ) determinou valores positivos e negativos de IS nas águas estudadas (Figura 9). Entretanto, predominantemente as águas analisadas (58 %) apresentar capacidade de dissolução de calcita.

**Figura 9: Estimativa de IS a partir do potencial de alcalinidade (pAlc.) nas águas de substrato sedimentar no Ceará.**



## CONCLUSÕES

As águas de poços localizados em litologia sedimentar no Ceará apresentaram-se com excelente qualidade, quando comparadas às águas de poços em embasamento cristalino, ratificando o potencial de exploração deste recurso. Cerca de 73% das amostras apresentaram condutividade elétrica igual ou inferior a 0,75 mS/cm. Isto implicou em valores baixos e médios de dureza, sódio e cloretos. Os poços eram representativos das diferentes bacias sedimentares do estado, admitindo-se assim representatividade e homogeneidade no estudo.

Em relação aos padrões de potabilidade para consumo humano praticamente não há restrições. Também, inexistem

indicações de atropismo que caracterize poluição e/ou contaminação dos poços. A razão média entre STD (mg/L) e CE ( $\mu$  S/cm) nas águas dos poços estudados foi de 0,61, variando entre 0,51 e 0,87.

Quanto ao uso das águas na irrigação, os valores de RAS mostraram baixo risco de sodicidade do solo. Praticamente todos os valores de RAS foram inferiores a 12. Em combinação com os valores CE, há predominância de águas C1S1 e C2S1 e isto sugere poucas restrições ao uso das águas na irrigação. Como consequência o PST médio foi baixo e estando de acordo com o desejável que é igual ou inferior a 15%. Os resultados de índice de saturação mostraram que a maioria das águas dos poços apresentou capacidade de dissolução de calcita, ou seja: IS negativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18th edition. American Public Health Association. Washington, DC. 1992.
2. AYERS, R. S. and WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Estudos FAO – Irrigação e drenagem Nº 29. 218 p. Traduzido por H. R. Ghevy, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno. Campina Grande. 1992.
3. Brasil. **Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade - Portaria 1469/2000**. FUNASA. Ministério da Saúde. Brasília. 2001.
4. Da Silva, F. J. A.; Almeida, M. M. M e Fernandes, A. L. C. Hidroquímica de águas subterrâneas do cristalino no trópico semi-árido nordestino, Brasil. In: **X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Braga. Setembro de 2002.
5. HILLEL, D. **Salinity management for sustainable irrigation – integrating science, environment and economics**. The Word Bank. 91 p. Washington, DC. 2000.
6. Hounslow, A. W. **Water quality data – analysis and interpretation**. CRC Lewis Publishers. 387 p. Boca Raton. 1995.
7. IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará – IPLANCE. Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. Fortaleza. 2002.
8. Leite, C. E. S e Möbus, G. **Estimativa do potencial instalado de água subterrânea no estado do Ceará: 1991 - 1998**. In: I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas. Fortaleza – CE. Outubro de 2000.
9. MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**, 13 - 33. Editores: F. A. C. Feitosa e J. Manoel Filho. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza. 2000.
10. Rebouças, A. C. Águas subterrâneas. In: **Águas Doces do Brasil – capital ecológico, uso e conservação**, 117 – 151. Editores: A. C. Rebouças, B. Braga, e J. G. Tundisi. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. Escrituras editora. São Paulo. 1999.