

---

# VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO DISTRITO DE BOQUEIRÃO DO ARARAS, MUNICÍPIO DE CAUCAIA/CE

Isabelle Felício Lira<sup>1a</sup>, Johnny Leanderson Lima dos Santos<sup>1b</sup>, Maria Marlúcia Freitas Santiago<sup>2a</sup>,  
Carla Maria Salgado Vidal Silva<sup>2b</sup>, Horst Frischkorn<sup>3</sup>

**Resumo** – A variabilidade espacial da qualidade das águas subterrâneas no distrito de Boqueirão do Araras no município de Caucaia - Ceará foi estudada através de cinco coletas entre os meses de setembro de 2007 a fevereiro de 2008, contemplando o final do período seco de 2007 e o início do período chuvoso de 2008 em três poços no cristalino para análise físico-química. Embora localizados próximos um dos outros as águas destes poços apresentaram diferentes faixas de salinidade com valores médios de condutividade elétrica de 9058  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o poço P1, 1491  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o poço P2 e 3558  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o poço P3. Todas as águas são cloretadas sódicas durante todo o período embora as concentrações dos cátions,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e dos ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  tenham variado com o tempo, apresentando valores mais baixos no início do período chuvoso. As altas concentrações de sais tornam essas águas não apropriadas para consumo humano in natura; um dos poços tem um dessalinizador associado a ele.

**Palavras-Chaves** – Águas no cristalino, qualidade de água, Caucaia.

**Abstract** - The spatial variability of groundwater quality in the district of Boqueirão do Araras in the Caucaia city - Ceará was studied through five sampled between the months of September 2007 to February 2008, contemplating the end of the dry period of 2007 and beginning of the period rainy season of 2008 in three wells in the crystalline rocks for examining physical chemistry. Every wells are near but the waters of them had different tracks of salinity with average values of electrical conductivity of 9058  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for the P1, 1491  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for the P2 and 3558  $\mu\text{S}/\text{cm}$  for the P3. All waters are sodium chloride throughout the period while the concentrations of cations,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and anions,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and have varied over time, giving lower at the start of the rainy season. High concentrations of salts make these waters not suitable for human consumption in nature; one of the wells is a dessalinizador him.

<sup>1</sup> Centro de Ciências - Campus do Pici - Bloco 912, CEP 60455-760 - Fortaleza - CE Fone: (0xx) 85 3366 9873 / 9866 Fax: (0xx) 85 3366 9874; e-mail: (a) isa\_felicio@yahoo.com.br; (b) geo\_johny@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Física da UFC, Caixa Postal 6030, Cep. 60455-760, Tel.: (0xx) 85 3366.9913, Fax: (0xx) 85 3366.9450; e-mail: (a) marlucia@fisica.ufc.br; (b) carla@fisica.ufc.br

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, Tel.: (0xx) 85 3366 9775, Fax: (0xx) 85 3366 9627, e-mail: cariri@ufc.br

---

## **INTRODUÇÃO**

O Nordeste do Brasil sofre periodicamente com o fenômeno das secas que se caracteriza pela falta de chuva e o problema se agrava pela má qualidade de parte de suas águas subterrâneas. Sob ação da radiação solar, a água superficial sofre intenso processo de evaporação o que eleva a concentração dos sais nestas águas deixando-as, muitas vezes, impróprias para o consumo, tanto humano, como na pecuária e na agricultura.

A primeira solução para amenizar problema das secas no Estado do Ceará foi a construção de açudes, que têm o objetivo de armazenar a água das chuvas para uso no período de estiagem, diminuindo a migração das famílias que moram na região. A segunda solução foi implantação de um sistema de poços para exploração das águas subterrâneas; no entanto, em áreas cristalinas do Estado do Ceará, em geral, as águas apresentam elevadas concentrações salinas que chegam a inviabilizar o seu uso. Como 75% do Estado do Ceará é de cristalino, o armazenamento de água neste tipo de aquífero é muito importante para a região. Frequentemente, o armazenamento ocorre em fraturas com pouca ou sem conectividade; por isso, poços próximos podem apresentar grandes diferenças de salinidade.

A qualidade da água em rochas cristalinas é medíocre apresentando média de Sólidos Totais Dissolvidos de 3000 mg/L com mediana de 1500 mg/L e suas vazões têm média de 3 m<sup>3</sup>/h com mediana de 2 m<sup>3</sup>/h (Manoel Filho, 1997).

O município de Caucaia tem a maioria de seus poços locados no cristalino e, portanto a quantidade e a qualidade da água nesses poços dependem do controle estrutural, principalmente das famílias de fraturas. Neste trabalho estudamos dois aspectos importantes nestes armazenamentos; a variação espacial e a variação temporal da qualidade das águas subterrâneas na área.

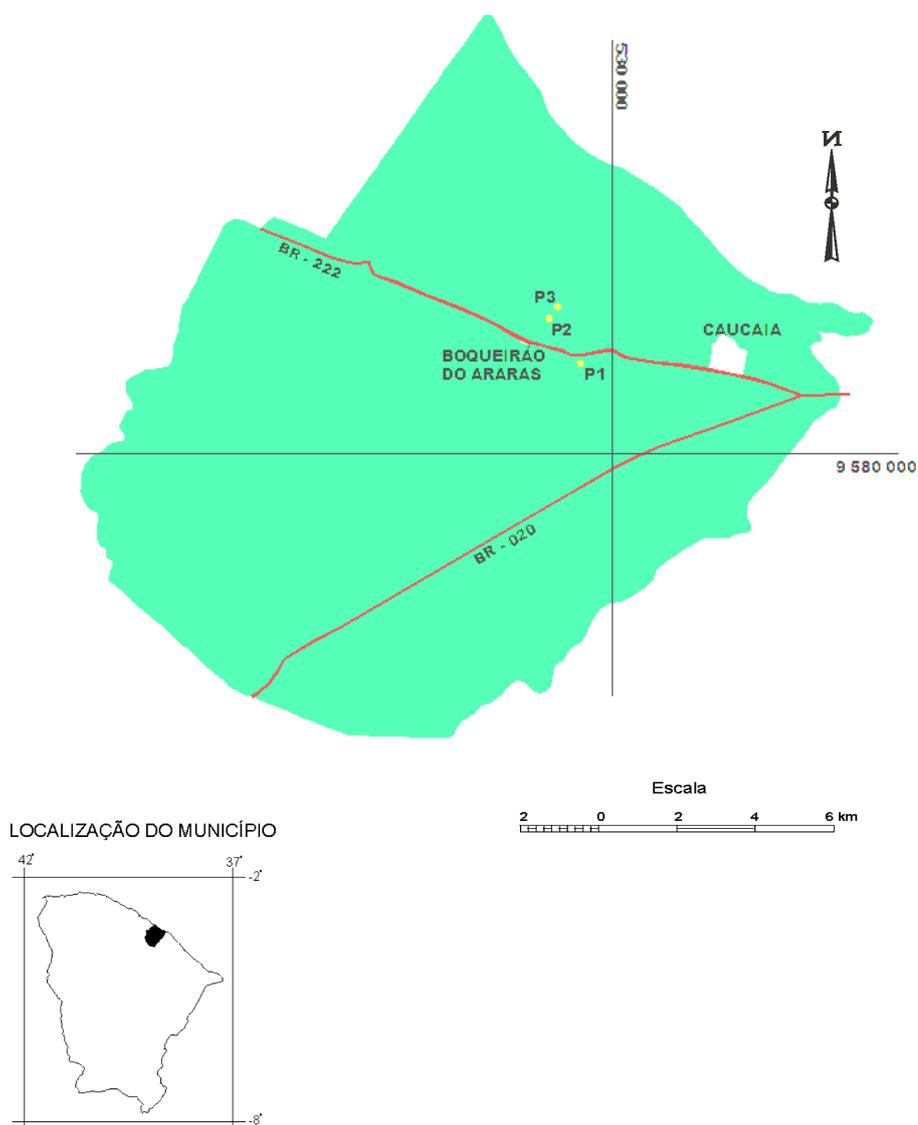
## **ÁREA DE TRABALHO**

A área de estudo situa-se na porção norte do Estado do Ceará, na Região Metropolitana de Fortaleza, município de Caucaia a uma distância de aproximadamente de 16,5 km de Fortaleza. Limita-se com os municípios de Fortaleza, S. Gonçalo do Amarante, Maracanaú, Maranguape, Pentecostes, além do oceano Atlântico. Os poços estudados encontram-se na localidade de Boqueirão da Araras, na porção centro oeste de Caucaia (Figura 1).

O regime pluviométrico na área do trabalho caracteriza-se por uma estação chuvosa e outra seca. No primeiro semestre do ano, precipitam-se cerca de 90% do total anual com maiores intensidades no trimestre março-abril-maio. A estação seca inicia-se em julho, indo até dezembro. A distribuição mensal das chuvas, se dá de maneira uniforme com uma média de 9 dias de chuva em cada mês, todas de curta duração e distribuição espacial muito irregular (Oliveira Neri,1993).

Os principais cursos d'água que drenam a área são o rio Cauhaie e o riacho Juá. Na área de estudo, distingui-se um domínio hidrogeológico: as rochas cristalinas, que constitui aquíferos fissurais de baixa produção hídrica.

A vegetação é do tipo complexo vegetacional da zona litorânea; variando para cerrado e caatinga arbustiva densa. Em alguns locais, esta vegetação torna-se esparsa, apresentando solo desnudo. Os solos da região são do tipo Areias Quartzosas Marinhas, Solos Litólicos, Planossolo Solódico, e Vertissolo de textura argilosa e média.



**Figura 1:** Localização dos poços no município de Caucaia.

## **METODOLOGIA**

A metodologia consistiu de cinco coletas no período de setembro/07 a fevereiro/08 em três poços P1: Boqueirão de Araras (UTM 526834, 9587418), P2: Boqueirãozinho 1(UTM 525819,9588328) e P3: Boqueirãozinho 2 (UTM 525937,9588534) que se localizam relativamente próximos, a cerca de 200 m mas que apresentaram diferenças representativas em seus valores de condutividade elétrica.

Os parâmetros físico-químicos, pH e condutividade elétrica (CE) e concentração de íons maiores,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  e parâmetros nitrogenados  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  foram determinados no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC (Santiago e Silva, 2007). Os métodos utilizados na determinação destes íons obedecem ao “Standard Methods” (APHA, 1992) e são os seguintes:  $\text{Ca}^{2+}$ , por determinação complexiométrica em presença do indicador eriocromo com a titulação feita com EDTA de normalidade 0,025N;  $\text{Mg}^{2+}$ , medido de maneira indireta através da dureza;  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , com leitura direta usando fotometria de chama;  $\text{Cl}^-$ , por determinação volumétrica com  $\text{AgNO}_3$  como solução titulante, usando  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$  como indicador;  $\text{SO}_4^{2-}$ , por determinação com turbidimetria, usando o  $\text{BrCl}_2$  em um espectrômetro em 420nm;  $\text{HCO}_3^-$ , com determinação por acidimetria com  $\text{HCl}$  0,01N. Os parâmetros nitrogenados foram determinados por métodos do “Standard Methods”.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados apresentados referem-se às análises das amostras coletadas durante o período que corresponde ao período seco de 2007 e início do período chuvoso de 2008. A Tabela 1 apresenta os valores de pH, CE e STD (Sólidos Totais Dissolvidos) em cada coleta. De acordo com esta tabela, a água no poço P1 é a mais mineralizada com uma condutividade elétrica máxima de 9960  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e as águas do poço P2, as de menores valores de condutividade, apresentando um máximo de 1619  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Os valores de pH estão em torno de 7 em todos os poços.

O diagrama de Piper com todas as amostras está representado na Figura 2. Ele mostra águas do tipo cloretadas sódicas, característico de águas do Ceará da maioria das águas subterrâneas armazenadas em aquíferos cristalinos. A Tabela 2 apresenta os resultados das análises dos íons mais abundantes.

**Tabela 1.** Valores de CE, pH e STD em amostras dos 3 poços nas cinco coletas.

| <b>Data da coleta</b> | <b>Amostra</b> | <b>CE (µS/cm)</b> | <b>pH</b> | <b>STD (mg/L)</b> |
|-----------------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------|
| Set/07                | P1             | 9850              | 6,59      | 5552,2            |
|                       | P2             | 1534              | 6,88      | 890,9             |
|                       | P3             | 4050              | 6,66      | 2251,5            |
| Out/07                | P1             | 9870              | 6,5       | 5869,9            |
|                       | P2             | 1507              | 6,66      | 889,2             |
|                       | P3             | 4130              | 6,3       | 2428,9            |
| Dez/07                | P1             | 8410              | 6,6       | 5382,1            |
|                       | P2             | 1593              | 6,6       | 914,1             |
|                       | P3             | 3099              | 6,6       | 2299,1            |
| Jan/08                | P1             | 7200              | 6,8       | 5317,1            |
|                       | P2             | 1200              | 7,1       | 959,8             |
|                       | P3             | 2200              | 6,5       | 2317,0            |
| Fev/08                | P1             | 9960              | 6,7       | 5580,9            |
|                       | P2             | 1619              | 7,1       | 959,3             |
|                       | P3             | 4310              | 6,3       | 2359,4            |

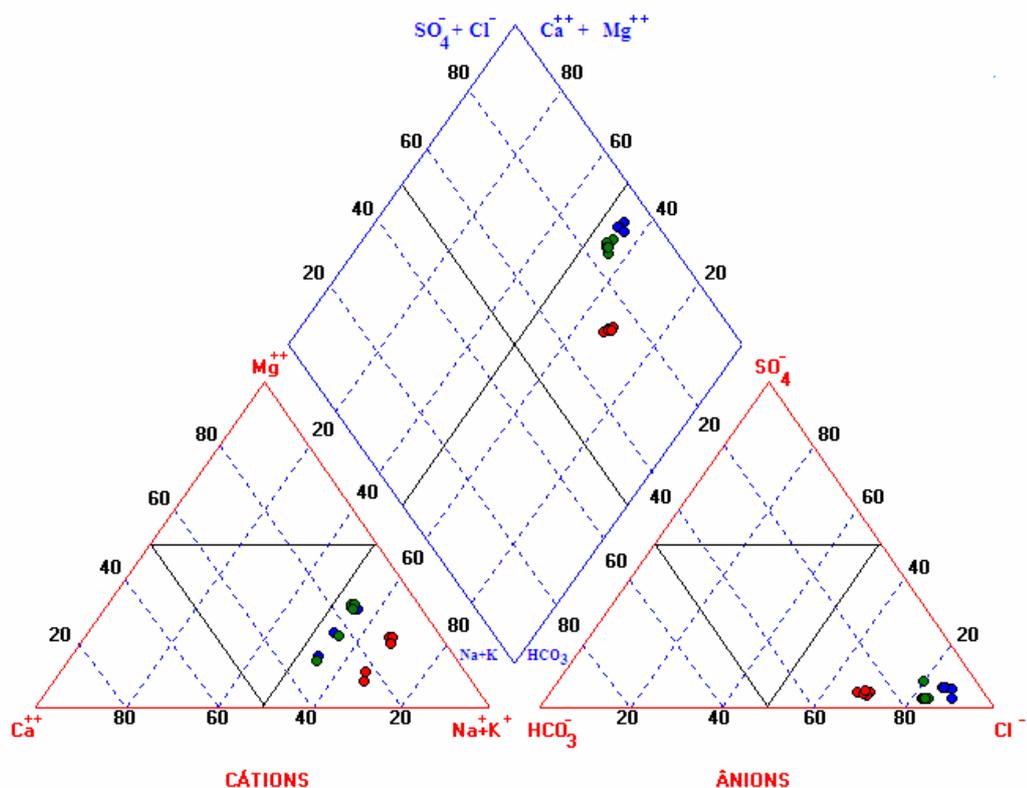


Figura 2: Diagrama de Piper com as amostras dos poços monitorados.

Tabela 2: Resultados das análises hidroquímicas, para íons maiores.

| Denominação | Concentração (mg/L) |                |                  |                  |                 |                               |                              |      |
|-------------|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------|
|             | Na <sup>+</sup>     | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | CE   |
| P1SET07     | 1177,4              | 16,3           | 435,6            | 250,2            | 3012,2          | 449,0                         | 201,2                        | 9850 |
| P1OUT07     | 1201,3              | 17,8           | 572,6            | 169,8            | 3309,6          | 384,3                         | 211,1                        | 9870 |
| P1DEZ07     | 1130,2              | 19,2           | 276,3            | 328,1            | 3116,5          | 454,9                         | 55,8                         | 8410 |
| P1JAN08     | 1130,2              | 16,3           | 263,8            | 343,2            | 2904,7          | 463,6                         | 194,9                        | 7200 |
| P1FEV08     | 1249,7              | 16,3           | 270,8            | 344,6            | 3027,7          | 454,3                         | 207,4                        | 9960 |
| P2SET07     | 203,1               | 10,1           | 62,6             | 10,6             | 358,7           | 218,7                         | 20,4                         | 1534 |
| P2OUT07     | 207,6               | 10,1           | 60,2             | 15,4             | 354,0           | 227,4                         | 14,2                         | 1507 |
| P2DEZ07     | 207,6               | 10,1           | 31,0             | 33,5             | 358,7           | 250,8                         | 20,2                         | 1593 |
| P2JAN08     | 216,8               | 10,1           | 29,5             | 35,4             | 390,7           | 256,6                         | 20,5                         | 1200 |
| P2FEV08     | 226,0               | 10,1           | 34,1             | 33,0             | 382,2           | 245,1                         | 24,2                         | 1619 |
| P3SET07     | 480,5               | 13,2           | 167,9            | 94,3             | 1133,6          | 338,2                         | 20,4                         | 4050 |
| P3OUT07     | 471,0               | 13,2           | 236,8            | 59,2             | 1224,0          | 292,8                         | 131,9                        | 4130 |
| P3DEZ07     | 452,1               | 19,2           | 105,5            | 139,5            | 1233,4          | 326,6                         | 21,0                         | 3099 |
| P3JAN08     | 461,5               | 16,3           | 103,2            | 138,6            | 1224,0          | 349,9                         | 22,2                         | 2200 |
| P3FEV08     | 480,5               | 13,2           | 114,1            | 136,7            | 1242,8          | 346,7                         | 21,5                         | 4310 |

A Figura 3 mostra (a) pluviometria, (b) variação da condutividade elétrica e (c) variação dos sólidos totais dissolvidos nas águas dos três poços em cinco coletas. Como as coletas contemplaram o período seco de 2007 e o início do período chuvoso de 2008 foi possível a recarga do aquífero.

A Figura 3 mostra as precipitações (a) durante os meses das coletas utilizando dados fornecidos pela estação pluviométrica instalada pela FUNCEME (2008).

Os gráficos de variação de condutividade mostram a variação espacial e temporal da salinidade das águas através dos valores de condutividade elétrica(b) e de sólidos totais dissolvidos(c) que estão em faixas diferentes nos três poços. No poço P1 a condutividade variou de 7200 a 9850  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no poço P2 de 1200 a 1619  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e no poço P3 de 2200 a 4310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

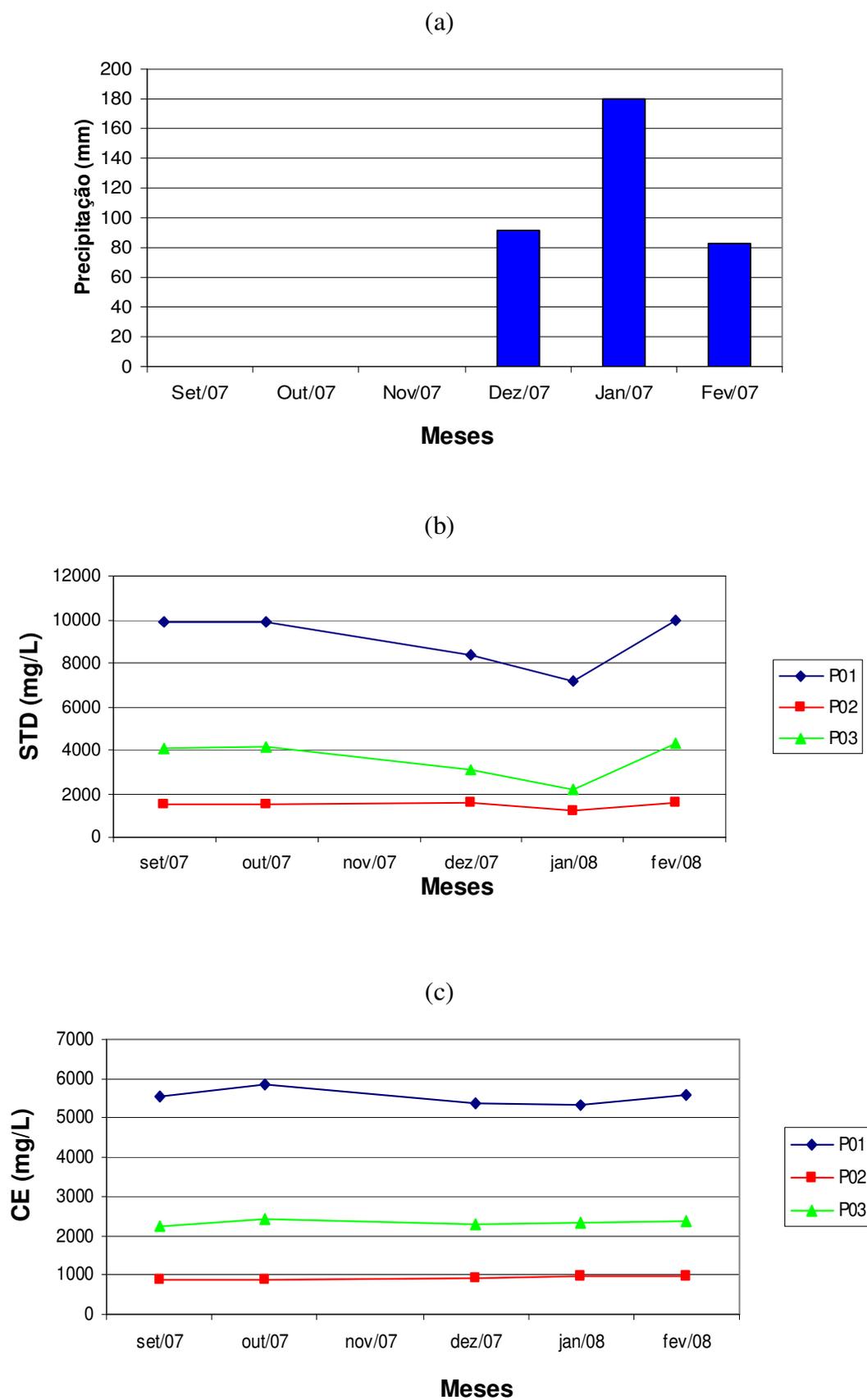
Os menores valores de CE nos três poços foram os da coleta de janeiro de 2008 e os mais altos os de fevereiro de 2008, mesmo comparados com os valores do período seco. Os menores valores são associados à recarga do aquífero através das chuvas e os mais elevados, na coleta seguinte, devem ser decorrentes da entrada de água escoamento superficial das chuvas, trazendo sais da lavagem da área de recarga do sistema de fendas.

As variações nas concentrações de sólidos totais dissolvidos seguem o mesmo padrão da condutividade elétrica uma vez que na região vale a relação (Suassuna, 1998):

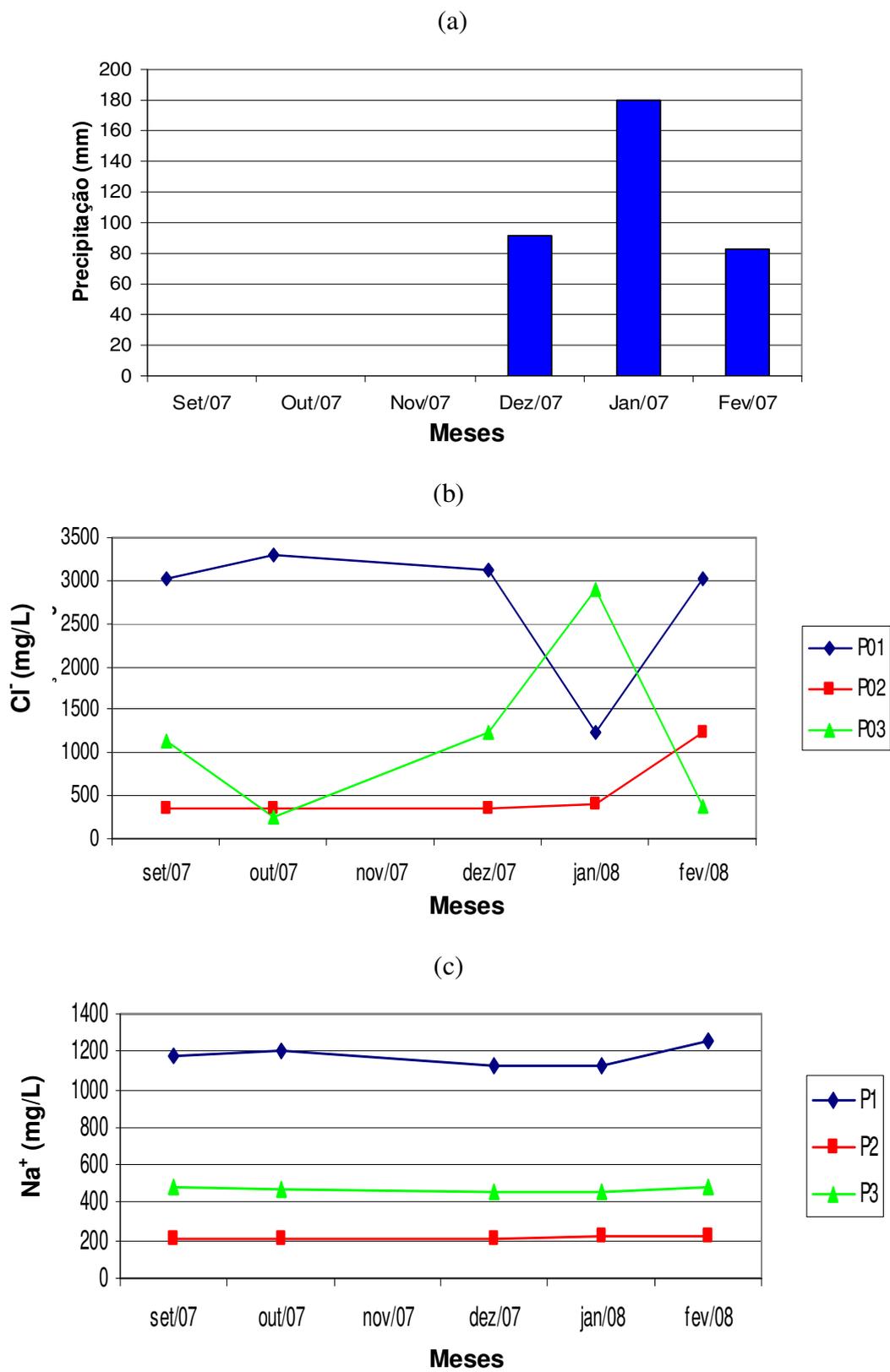
$$640 \text{ mg/L de sais} \rightarrow 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$$

A Figura 4 apresenta (a) variação temporal do cloreto e (b) variação temporal do sódio. Considerando os limites para as águas potáveis de acordo com a Portaria 518 do Ministério da Saúde (MS, 2004) todas as amostras têm valores acima do limite recomendado os seguintes parâmetros:  $\text{Cl}^-$  (1000 mg/L),  $\text{Cl}^-$  (250 mg/L) e  $\text{Na}^+$  (200 mg/L) como mostram as Figuras 3c, 4a e 4b. As concentrações de potássio são sempre relativamente muito mais baixas do que as dos outros cátions como mostra a Figura 4c.

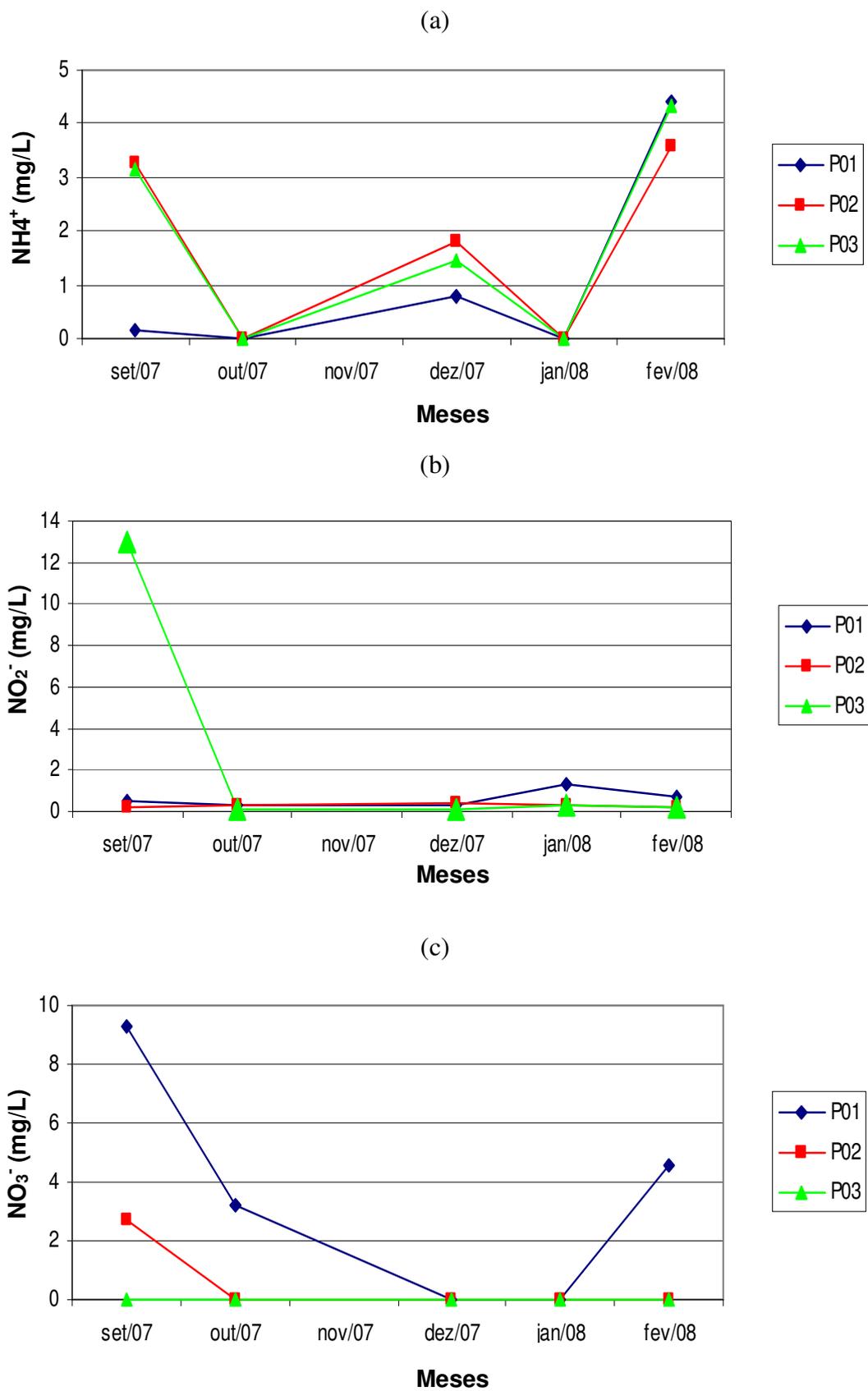
A Figura 5 apresenta a variação dos parâmetros nitrogenados: (a) amônia, (b) nitrito e (c) nitrato. Quanto aos elementos nitrogenados os limites de  $\text{N-NH}_4^+$  (1,5 mg/L), de  $\text{N-NO}_2^-$  (1,0 mg/L) e de  $\text{N-NO}_3^-$  (10,0 mg/L) só foram ultrapassados (Figura 5) pela amônia em duas amostras do poço P2 e uma amostra do poço P3 e pelo nitrito em uma amostra do poço P3. O poço P3 está localizado vizinho a uma residência e não tem a proteção necessária para impedir a entrada de água usada.



**Figura 3** - (a) Pluviometria, (b) variação da condutividade elétrica e (c) variação dos sólidos totais dissolvidos.



**Figura 4** – (a) Precipitação pluviométrica e variação das concentrações de: (b) Cl<sup>-</sup> e (c) Na<sup>+</sup>



**Figura 5** – Concentração dos elementos nitrogenados (a) amônia, (b) nitrito e (c) nitrato.

## CONCLUSÕES

As características físicas e químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde circulam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas drenados e com os produtos das atividades humanas ao longo de seu trajeto.

Os poços monitorados encontram-se em aquíferos fissurais, portanto armazenados em fendas nas rochas cristalinas da região que é o principal fator condicionante de sua composição química. Parte dos elevados teores de sais nessas águas indica dissolução dos mesmos nas rochas que compõem o aquífero.

Existe variação espacial nos parâmetros físico-químicos dessas águas. Embora localizados próximos um dos outros as águas destes poços apresentaram diferentes faixas de salinidade com valores médios de condutividade elétrica de 9058  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o poço P1, 1491  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o poço P2 e 3558  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para o poço P3 ressaltando a heterogeneidade do armazenamento em rochas cristalinas.

Todas as águas são cloretadas sódicas durante todo o período embora as concentrações dos cátions,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e dos ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  e  $\text{HCO}_3^-$  tenham variado com o tempo, apresentando valores mais baixos no início do período chuvoso.

O comportamento geo-estrutural da região e o posicionamento das fraturas é o que determina o armazenamento dessas águas; quando elas não estão interligadas as águas terão características físico-químicas químicas diferentes, segundo seus ambientes de armazenamento.

As altas concentrações de sais tornam essas águas não apropriadas para consumo humano in natura.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à FUNCAP e ao CNPq pelo apoio financeiro para desenvolvimento deste trabalho e à UFC pelo apoio logístico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18 ed., AWWA– WPCP. 1992.
- FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) [http://www. funceme.Br](http://www.funceme.Br)  
Acesso em 20 de junho de 2008
- MANOEL FILHO, J. Água subterrânea: Histórico e importância. In: Hidrogeologia – conceitos e aplicações, capítulo 1. Fortaleza, CPRM, LABHID – UFPE. 1997. p.3-12
- MS (Ministério da Saúde). 2004. Portaria Nº 518, de março de 2004. 15 p.
- OLIVEIRA NERI, T. F. de, Correlações Morfo-Pedológicas no Município de Caucaia – Ceará. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - Ceará, 1993
- PEREIRA, L., SANTIGO, M.M.F., FRISCHKORN, H., Araújo, J. C. e Lima, J. O. G. Hidroquímica de águas superficiais e subterrâneas da bacia de Gameleira, Município de Aiuaba/CE. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá/MT, 2003.
- SANTIAGO, M.M.F. & SILVA, C.M.S.V. Manual de Análise Hidroquímica e Bacteriológica do Departamento de Física da UFC. 2007.
- SUASSUNA, J. O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no Nordeste Brasileiro. 1998. 21p.