

# PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS EM DOIS POÇOS DO CRISTALINO UTILIZANDO O PROGRAMA PHREEQC

*Roberto Namor Silva Santiago<sup>1a</sup>; Maria Marlúcia Freitas Santiago<sup>1b</sup>;*

*Carla Maria Salgado Vidal Silva<sup>1c</sup>; Horst Frischkorn<sup>2</sup> & Josué Mendes Filho<sup>1d</sup>*

**RESUMO ---** A interação entre a água subterrânea e a rocha, e sua evolução dentro do sistema aquífero através de processos de dissolução e precipitação e sua relação com a qualidade da água tem sido objetivo freqüente de pesquisas atuais. Nesse trabalho foi utilizado o programa PHREEQC para simular esses processos em dois poços no cristalino. Embora as diferenças nas concentrações dos componentes químicos para os poços sejam grandes, a água não muda de tipo, nos dois poços: nas duas coletas as águas eram cloretadas mistas. Apesar dos poços estarem próximo um do outro, os minerais dissolvidos nas águas de cada um deles foi diferente. Estes resultados mostram a influência local e heterogeneidade da qualidade das águas subterrâneas armazenadas nas fraturas.

**ABSTRACT ---** The interaction between groundwater and aquifer and the geochemical evolution within the aquifer system through processes of dissolution and precipitation and their relation with groundwater quality are frequently subject of present day research. In this study we used PHREEQC model for a simulation of the processes on samples from two wells in crystalline bedrock. Even though the differences in the concentrations of the chemical components are very great, the chemical type is the same for the two wells: waters are of the Cl/mixed type in both sampling campaigns. Despite of the wells being close to each other, dissolved mineral differ. These results evidence local influence on groundwater quality and its heterogeneity in fractures of crystalline bedrock.

**Palavras-chave:** interação água/rocha, qualidade da água, rocha cristalina.

1) Departamento de Física da UFC, Caixa Postal 6030, Cep. 60455-760, Tel.: (0xx) 85 3366.9913, Fax: (0xx) 85 3366.9450; e-mail:

(a) [robertonamor@fisica.ufc.br](mailto:robertonamor@fisica.ufc.br); (b) [marlucia@fisica.ufc.br](mailto:marlucia@fisica.ufc.br); (c) [carla@fisica.ufc.br](mailto:carla@fisica.ufc.br), (d) [josue@fisica.ufc.br](mailto:josue@fisica.ufc.br)

2) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, Tel.: (0xx) 85 3366 9775, Fax: (0xx) 85 3366 9627, e-mail: [cariri@ufc.br](mailto:cariri@ufc.br)

## 1 – INTRODUÇÃO

A interação entre a água subterrânea e rochas e minerais, e sua evolução dentro do sistema aquífero, através de processos de precipitação e dissolução e sua relação com a qualidade da água tem sido objetivo freqüente de pesquisas atuais. Para entender o que ocorre ao longo do caminho de fluxo subterrâneo, alguns programas foram desenvolvidos, dentre eles destaca-se o aplicativo PHREEQC (2008). Esse programa simula reações químicas com base no equilíbrio químico de soluções aquosas interagindo com minerais e gases.

Dentre os trabalhos desenvolvidos sobre as interações água rocha ocorrendo no aquífero destaca-se o de Lambrakis (1998), que usou métodos hidroquímicos e hidrológicos para estudar alguns aspectos da deterioração da qualidade das águas subterrâneas devido a intrusão marinha e a contaminação por  $\text{NO}_3^-$  proveniente de atividades humanas. Usando a segunda lei de Fick, o autor estudou a propagação de  $\text{NO}_3^-$  e com o programa PHREEQC mostrou que o tempo para restaurar as condições de água potável em áreas onde a condutividade elétrica é muito alta é relativamente grande, igual a 16 anos.

Outra aplicação do aplicativo PHREEQC foi feita por Smith *et al.* (1998) para estudar a tendência espacial da química da água regional. Os autores observaram a variação química dos íons maiores nas águas e o mapeamento espacial da saturação da calcita e da gipsita; também usaram diagrama de solubilidade para comparar as variações espaciais na solubilidade mineral e das concentrações nas espécies aquosas baseadas em diagrama de solubilidade, usando reações de equilíbrio com o PHREEQC.

Machado *et al.* (2004) fizeram uma inversão geoquímica, utilizando o PHREEQC, para calcular a transferência molar de minerais entre a água mineralizada e o meio onde ela flui, na Chapada do Araripe, no Estado do Ceará. Os autores concluíram que para as águas armazenadas no aquífero adquirirem a composição química determinada experimentalmente era necessário que ela tivesse entrado em contato com minerais como gipsita, calcita e dolomita. A presença destes minerais, apenas no aquífero na Formação Santana, levou a conclusão da existência de fluxo através desta formação, corroborando com o modelo fenomenológico, que propôs um caminho de fluxo através de falhas e fraturas existentes nas rochas desta Formação.

Trabalhos sobre a qualidade das águas subterrâneas em áreas do cristalino no Ceará, são entre outros os de Santiago *et al.* 1997, 1998 e 2002, Silva *et al.* 1999, Teixeira *et al.* 2001, Queiroz *et al.* 2001, Brito *et al.* 2001, Pereira *et al.* 2005 e Fernandes *et al.* 2006. Os resultados têm mostrado águas com elevada salinidade, grande variação espacial da qualidade e principalmente, em alguns

locais, mudanças intensas na sua qualidade, associadas a processos no período seco e a processos no período chuvoso (Santiago *et al.* 2003).

Neste trabalho, foi aplicada a modelagem inversa, com o aplicativo PHREEQC em amostras de águas subterrâneas de dois poços localizados em área do cristalino no município de Caucaia - Ce, para identificar os processos geoquímicos responsáveis pelas mudanças intensas na sua qualidade ocorrida durante o período de estiagem.

## **2 – ÁREA**

A Geologia caracteriza as rochas que participam dos processos geoquímicos responsáveis pelos íons dissolvidos na água, tendo, assim, grande importância no estudo interação água rocha.

Nas áreas de cristalino, os armazenamentos de água ocorrem em fraturas que podem ou não fazer parte de um sistema de fraturas interligadas. Daí a heterogeneidade com relação a quantidade de água armazenada em cada local neste tipo de armazenamento, que muito se diferencia do armazenamento em meio poroso. É também por estas condições físicas que é possível encontrar poços com vazões significativas próximos de outros com vazão praticamente nula.

Nestas condições, o fluxo no reservatório é ineficiente. Além da heterogeneidade com relação à quantidade também se observa heterogeneidade em relação à qualidade das águas armazenadas tanto no que diz respeito à distribuição espacial quanto à variação no tempo.

### **2.1. Geologia**

A área estudada é caracterizada pela existência de coberturas sedimentares cenozóicas sobrepostas a terrenos cristalinos pré-cambrianos denominados de Complexo Gnássico-Migmatítico. Essa cobertura sedimentar é representada pela Formação Barreiras, depósitos eólicos que são dunas móveis, coberturas coluviais-eluviais, depósitos flúvios-aluvionares e depósitos flúvio-marinhos: mangues (Holanda *et al.* 2003).

O contexto da Geologia Pré-Cambriana da região nordeste do Ceará, é aceito como Complexo Gnássico-Migmatítico que forma o embasamento cristalino; outras denominações já foram propostas por outros autores; “Complexo Fundamental” de Crandall (1910); “Pré-Cambriano Indeviso” de Silva & Silva (1970) e “Complexo Cristalino” de Brasil Sobrinho (1941).

Para uniformizar a nomenclatura do conjunto de rochas de idade Pré-Cambriana inferior a média, Nascimento *et al.* (1981) propõem a designação formal de “Complexo Nordeste” para caracterizar uma associação de rochas parcialmente ou totalmente migmatizadas que apresentam litotipos e estilo estrutural especial com características físicas próprias.

Baseando-se em alguns critérios estritamente litoestratigráficos, Braga *et al.*(1977) adotaram o termo "Complexo de Caicó" para designar uma seqüência constituída de gnaisses variados, incluindo lentes de metarcósios, anfíbolitos, quartzitos e calcários cristalinos subordinados, além de migmatitos com estruturas diversas, desde as mais foliadas, próprias dos gnaisses, até as mais homogêneas como a dos anatexitos. Os autores também definiram como "Grupo Ceará" uma seqüência de parametamórficas constituída de um quartzito basal, seguido de gnaisses, xistos e filitos com níveis de rochas carbonáticas situadas no topo da seqüência.

### 3 - METODOLOGIA

O aplicativo PHREEQC baseia-se em equações de balanço molar incluído os termos de incertezas e reações redox para elementos e estados de valência definidos como:

$$\sum_q^Q c_q \alpha_q (T_{m,q} + \delta_{m,q}) + \sum_p^P c_{m,p} \alpha_p + \sum_r^R c_{m,r} \alpha_r = 0 \quad (1)$$

Onde,

Q: número de soluções aquosas que são incluídas nos cálculos;

T<sub>m,q</sub>: Moles totais do elemento ou seu estado de valência na solução aquosa (q);

δ<sub>m,q</sub>: Termo de incerteza que pode ser positivo ou negativo;

c<sub>m,p</sub>: Coeficiente da espécie principal na reação de dissolução;

P: O número total de fases reativas;

C<sub>m,r</sub>: Coeficiente estequiométrico das espécies secundárias na reação redox;

A equação do balanço molar para alcalinidade é idêntica a de outras equações de balanço molar:

$$\sum_q^Q c_q \alpha_q (T_{alk,q} + \delta_{alk,q}) + \sum_p^P c_{alk,p} \alpha_p + \sum_r^R c_{alk,r} \alpha_r = 0 \quad (2)$$

A diferença entre alcalinidade e outras equações de balanço molar esta contida no fato dos termos  $c_{alk,p}$  e  $c_{alk,r}$ , que são contribuições das alcalinidades para uma solução aquosa devido às reações redox aquosas, dissolução ou precipitação das fases. O programa PHREEQC define  $c_{alk,p}$  e  $c_{alk,r}$ , como :

$$c_{alk,r} = \sum_i^{N_{aq}} b_{alk,i} c_{i,r}$$
(3)

$$c_{alk,p} = \sum_i^{N_{aq}} b_{alk,i} c_{i,p}$$

Onde,

$B_{alk,i}$ : numero de equivalentes da alcalinidade por moles da espécie i;

$C_{i,r}$ : coeficiente estequiométrico da espécie i na reação redox aquosa r;

$C_{i,p}$ : coeficiente estequiométrico da espécie i nas reações de dissolução da fase p;

A equação de balanço molar considera que os elétrons livres não estão presentes em quaisquer das soluções aquosas; eles devem entrar ou sair do sistema através das reações redox aquosas ou através das reações de dissolução de fases. Portanto, a equação de balanço de elétrons exige que qualquer elétron entrando no sistema, devido a uma reação, removido do sistema por outra reação.

Já as equações de balanço de carga para as soluções aquosas vinculadas com as incertezas ( $\delta$ 's). São tais que, quando os  $\delta$ 's são adicionados aos dados originais, um novo balanço de cargas é produzido em cada solução aquosa. a equação de balanço de carga para uma solução aquosa é:

$$\sum_m^M Z_m \delta_{m,q} = -T_{z,q}$$
(4)

Onde,

$T_{z,q}$ : desequilíbrio de cargas na solução aquosa q, determinado por cálculos específicos;

$Z_m$ : soma da carga da espécie principal ( $z$ ) mais a alcalinidade determinada para a espécie principal

$$(Z_m = z + b_{alk,m})$$

A formulação do problema para a modelagem inversa produz uma serie de equações lineares que foram resolvidos com o algoritmo desenvolvido por Barradale & Roberts (1980).

#### 4 - RESULTADOS E DISCUSÕES

Os resultados utilizados nesse trabalho fizeram parte de uma dissertação de mestrado (Brito, 2005), onde o autor estudou 16 poços durante o período de 20/03/2003 a 14/09/2004. Foram escolhidos os dois poços que tiveram a maior mudança sazonal de condutividade elétrica. O Poço 9 (referência) por nós corresponde ao Poço 1 e o Poço 13, que corresponde ao poço 2. A figura 1 mostra a área de trabalho com a localização dos pontos amostrados e a tabela 1 mostra os resultados das análises hidroquímicas, onde estão as concentrações do poço P1 em 28/05/2003 (P1a) e em 03/07/2003 (P1b); e do poço P2 em 03/07/2003 (P2a) e em 26/08/2003 (P2b) que correspondem às mudanças mais bruscas nas concentrações.

Nas águas do poço P1, as concentrações dos cátions  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$  e  $K^+$  e dos ânions  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{=}$  aumentaram durante a época seca. O poço P2 segue o mesmo padrão, porém, com exceção do sulfato que diminui na estação sem chuvas. O ferro diminuiu nas águas dos dois poços durante a época seca.

Embora as mudanças nas concentrações sejam grandes, as águas não mudam de tipo iônico como mostra o diagrama de Piper (Figura 2): nos dois poços e nas duas coletas as águas eram cloretadas mistas.

Estes resultados indicam dissolução de minerais, ou seja, intemperismo de rochas, liberando cátions e ânions para as águas. Para identificar quais minerais fazem parte deste processo foi utilizado o aplicativo PHREEQC.

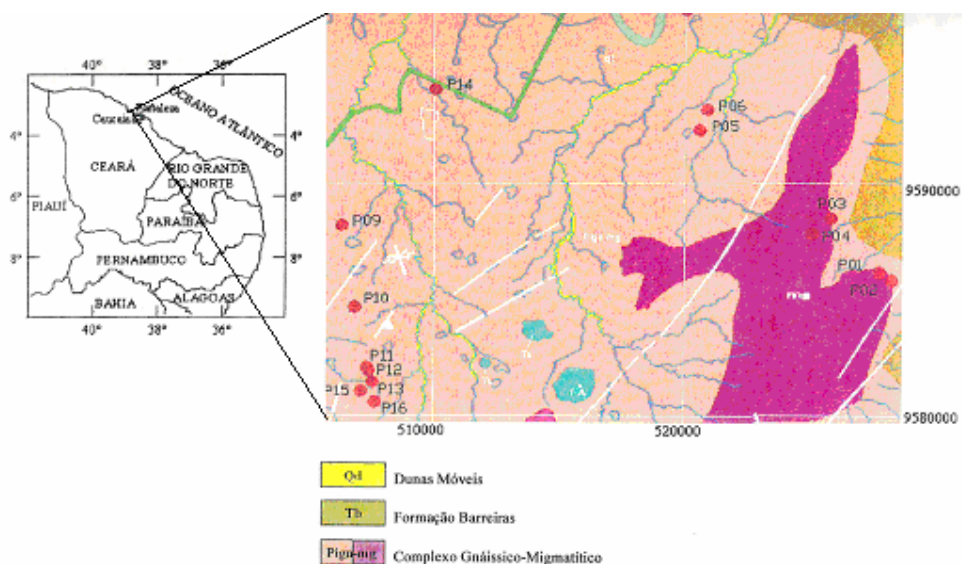


Figura 1 – Localização dos poços amostrados. Fonte: Brito (2005).

**Tabela 1** – Concentrações iônicas nas duas amostras do poço 1 e nas duas amostras do poço 2.

Amostra	pH	Concentração (mg/L)							
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe
P1a	7,0	162,5	123,3	259,7	14,2	851,2	9,0	332,7	0,51
P1b	7,0	291,4	252,2	636,7	16,9	1733,6	10,8	501,2	0,17
P2a	8,0	168,4	141,4	270,0	10,4	839,0	32,7	370,3	0,36
P2b	7,5	268,3	417,9	697,2	20,7	2078,8	27	501,2	0,33

**Tabela 2** – Variações nas concentrações salinas nos poços P1 e P2.

Amostra	Variação na concentração (mg/L)							
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe
P1b – P1a	128,9	128,9	377,0	2,7	882,4	1,8	168,5	- 0,34
P2b – P2a	99,9	276,5	427,2	10,3	1239,8	-5,0	130,9	- 0,03

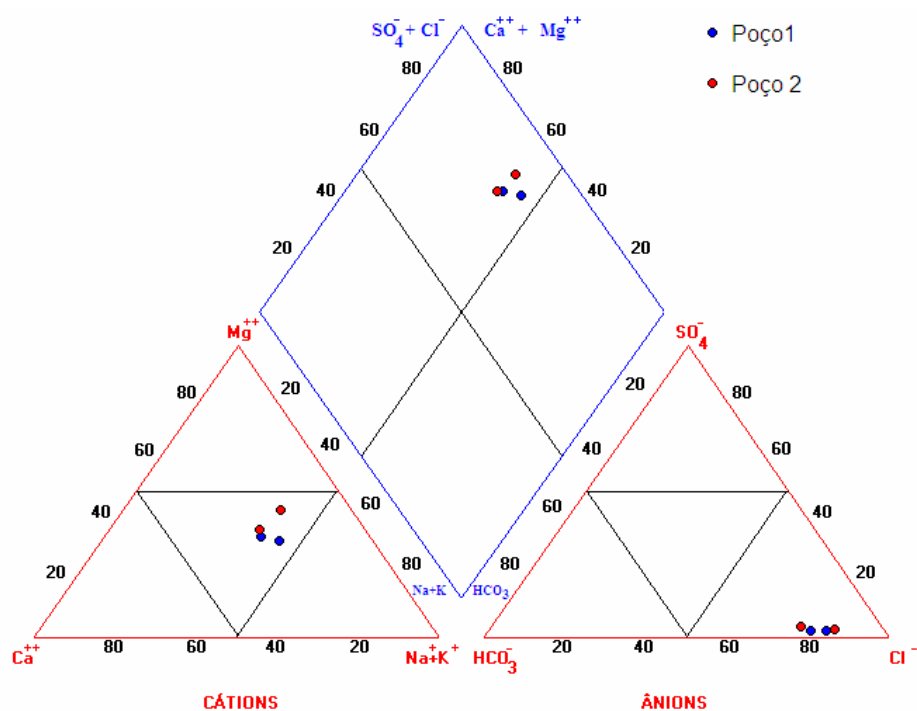


Figura 2 – Diagrama de Piper para os poços amostrados.

Primeiro foram determinados os índices de saturação das fases nas duas amostras do poço 01, indicados na tabela 3; os dados mostram aumento no índice de saturação dos minerais, anidrita, aragonita, calcita, dolomita, gipsita, halita e silvita, indicando que houve dissolução destes minerais.

Os índices de saturação das fases nas duas amostragens do poço 2 estão mostrados na tabela 4. Os dados mostram aumento no índice de saturação dos minerais halita, jarosita-K, melanterita, siderita e silvita, indicando que houve dissolução destes minerais, mas deposição nos demais.

Os resultados apresentados nas tabelas 3 e 4 mostram a influência local que resulta na heterogeneidade da qualidade das águas subterrâneas armazenadas nas fraturas. Os resultados da modelagem inversa para os poços P1 e P2 estão mostrados nas tabelas 5 e 6.

A Tabela 5 mostra a transferência de fase, em mol, obtida pela simulação com o PHREEQC, ocorrida nas águas do poço 1 durante o período entre as coletas. Este resultado indica dissolução dos minerais halita e calcita, precipitação de siderita e trocas de fase em argilas do tipo NaX e MgX2.

Nas águas do poço P2 a transferência molar indica dissolução dos minerais halita, anidrita, siderita e silvita e precipitação de jarosita-K e pirita.



Tabela 3 – Índices de saturação de fases nas águas do poço P1; P1a no período chuvoso, P1b no período seco.

Fases	Fórmula Química	Índice de Saturação	
		P1a	P1b
Anidrita	$\text{CaSO}_4$	-7,22	-7,14
Aragonita	$\text{CaCO}_3$	-8,31	-8,00
Calcita	$\text{CaCO}_3$	-8,31	-8,00
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	-16,52	-15,83
$\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{a})$	$\text{Fe}(\text{OH})$	1,55	-
Goethita	$\text{FeOOH}$	7,44	-
Gipsita	$\text{CaSO}_4$	-7,22	-7,14
Halita	$\text{NaCl}$	-3,73	-3,07
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	16,88	-
Jarosita-K	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	-5,02	-
Melanterita	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-7,85	-
Silvita	$\text{KCl}$	-5,22	-4,88

Tabela 4 – Índices de saturação de fases nas águas do poço 2, P2a no período chuvoso, P2b no período seco.

Fases	Fórmula Química	Índice de Saturação	
		P2a	P2b
Anidrita	CaSO <sub>4</sub>	-6,67	-6,83
Aragonita	CaCO <sub>3</sub>	1,04	0,75
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	1,18	0,89
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,65	2,34
Fe(OH)3(a)	Fe(OH)	2,40	2,19
Goetita	FeOOH	8,29	8,09
Gpsita	CaSO <sub>4</sub>	-2,09	-2,25
Halita	NaCl	-3,72	-2,97
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,59	18,18
Jarosita-K	KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	-13,72	-13,10
Melanterita	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-9,45	-8,42
Siderita	FeCO <sub>3</sub>	-12,28	-11,38
Silvita	KCl	-5,37	-4,73

Tabela 5 – Transferência molar das fases nas águas do poço 1.

Fases	Fórmula Química	Transferência molar (mg/L)
Halita	NaCl	$2,717.10^{-2}$
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	$1,703.10^{-3}$
Siderita	FeCO <sub>3</sub>	$-9,148.10^{-6}$
NaX	NaX	$-1,067.10^{-2}$
MgX <sub>2</sub>	MgX <sub>2</sub>	$5,333.10^{-3}$

Tabela 6 – Transferência molar das fases nas águas do poço 2.

Fases	Fórmula Química	Transferência Molar (mg/L)
Halita	NaCl	$2,483.10^{-2}$
Anidrita	CaSO <sub>4</sub>	$3,044.10^{-3}$
Siderita	FeCO <sub>3</sub>	$4,107.10^{-3}$
Jarosita-K	KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	$-1,278.10^{-3}$
Silvita	KCl	$1,543.10^{-3}$
Pirita	FeS <sub>2</sub>	$-2,737.10^{-4}$

## 5 - CONCLUSÕES

Embora as variações nas concentrações dos poços sejam grandes, a água não muda de tipo, nos dois poços, e nas duas coletas, as águas eram cloretadas mistas.

No Poço 1 houve aumento do índice de saturação dos minerais anidrita, aragonita, calcita, dolomita, gipsita, halita e silvita indicando que houve dissolução destes minerais. No Poço 2 houve aumento no índice de saturação dos minerais halita, jarosita-K, melanterita, siderita e silvita indicando que houve dissolução destes minerais. Estes resultados mostram a influência local e heterogeneidade da qualidade das águas subterrâneas armazenadas nas fraturas.

Considerando a transferência de fase em mol, podemos concluir que no Poço 1 houve dissolução dos minerais halita e calcita, precipitação de siderita e trocas de fase em argilas do tipo NaX e MgX<sub>2</sub>. No Poço 2 houve dissolução dos minerais halita, anidrita, siderita e silvita e precipitação de jarosita-K e pirita.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFC pelo apoio logístico e ao CNPq.

## BIBLIOGRAFIA

BARRODALE, I., & ROBERTS, F. D. K (1980) L1 solution to linear equations subject to linear equality and inequality constraints: Association for Computing Machinery, Transactions on Mathematical Software, V.6, p. 231-235.

BRAGA, A. de P.G.; PASSOS, C. A. B.; SOUSA, E.M. de (1967) **Projeto Fortaleza**. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM. V. 1, 339, p.

BRASIL SOBRINHO, T.P. de S. (1941) Estrutura geológica do Ceará; noções estratigráficas e geogenia. Rev. InsT. Ceará, Fortaleza. v.55: p.159-175.

BRITO, F.A.C. (2005) Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de poços no cristalino. Dissertação de Mestrado, Departamento de Física – UFC, 102p.

BRITO, F.A.C.; SANTIAGO, M.M.F.; LIMA, J.O.G.; FRISCHKORN, H. MENDES FILHO, J. (2004) “Variação da salinidade das águas do cristalino no distrito de Coité/ Caucaia”. I Simpósio de GPS, in: Simpósio de Hidrogeofísica I, Fortaleza novembro de 2004.

CRANDALL, R. (1910) Geografia, Geologia, suprimento d'água, transporte e açudagem nos Estados Orientais do Norte do Brasil, Parayba, Rio Grando do Norte e Ceará. Rio de Janeiro 1910.

FERNANDES, M.A.B., SANTIAGO, M.M.F.; MENDES FILHO, J., SILVA, C.M.S.V., FRISCHKORN, H. LIMA, J.O.G (2006) Análise estatística aplicada em amostras de água subterrânea no município de Caucaia. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

HOLANDA, J.L.R.; VASCONCELOS, S.M.S.; MAIA, L.P. (2003) Aspectos Hidrogeológicos da Região Costeira do Município de Caucaia- Ceará: Revista de Geologia, Vol.16, Nº1, 7-18.

LAMBRASKIS, N.J. (1998) The impact of human activities in the Malia coastal area (Creta) on groundwater quality. Chemical Geology 36, 87-92.

MACHADO, C. J. F., SANTIAGO, M. M. F., MENDONÇA, L. A. R., FRISCHKORN, H., MENDES FILHO, J. (2004) Hidroquímica como indicador de interação entre aquíferos na Chapada do Araripe utilizando o aplicativo PHREEQC. Águas Subterrâneas 18, 79-87.

NASCIMENTO, D. A. do; GAVA, A.; PIRES, J. de L. TEIXEIRA, W., GEOLOGIA (1981) Mapeamento Regional. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha S. A .24-fortaleza. Rio de janeiro. V.21, p.23-133.

PEREIRA, L.; SANTIAGO, M.M.F.; ARAÚJO, J.C.; MENDES FILHO, J. LIMA, J.O.G (2005) “Processos de salinização de águas superficiais e subterrâneas em Aiuaba/Ce”. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa.

PHEEQC interactive; Version 2.15.0.2697-Implements PHEEQC 2.15.0; February 5, (2008), (4.2M)--Batch version: Executable, source, database files, examples, PDF documentation.

QUIEROZ, G H de; FRISCHKORN, H. SANTIAGO, M M F (2001) “Variação da qualidade da água de açudes e poços no município de Tauá-Ce no período de junho de 1999 a junho de 2000”. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju. ABRH, p. 90-98.

SANTIAGO, M.F.; LIMA, C.H.; MENDES FILHO, J. e SASAKI, J.M. “Salinização das águas subterrâneas em uma área do cristalino – Tauá/Ceará”. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória/ ES, 16 – 20 nov.97, p. 475-482, 1997.

SANTIAGO, M.F.; MENDES FILHO, J. FRISCHKORN, H. e LIMA C.H. (1998) “Processos de salinização de água subterrânea no cristalino dos Inhamuns no nordeste do Brasil”. In: 4<sup>o</sup> Congresso Latinoamericano De Hidrologia Subterrânea. Montvideo, v.01. 2: 1068 – 1078.

SANTIAGO, M. M. F.; Z. A. TEIXEIRA, H. FRISCHKORN, J. MENDES FILHO (2002) “As águas subterrâneas no cristalino do semi-árido no Ceará: o município de Tauá”. In: 6<sup>o</sup> Congresso Latinoamericano de Hidrologia Subterrânea. Mar Del Plata - Argentina, out. CD, p. 294.

SANTIAGO, M. M. F.; H. FRISCHKORN, L. A. R. MENDONÇA, V. F. CORDEIRO, F. A. C. de BRITO (2003) “Monitoramento de um poço no cristalino em Caucaia/Ceará pela condutividade elétrica”. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 11/2003.

SILVA, C. M.S.V.; SANTIAGO, M.F.L FEITOSA, F.<sup>a</sup>C.; MEDEIROS, C.R.C. E VASCONCELOS, M. B. (1999) “Mecanismos de recarga de poços no cristalino – Juá – Ceará”. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte/ MG, 20/11 – 2 dez .99.

SILVA, A.B da & SILVA,F.A.C. Inventário Hidrogeológico do Nordeste (1970) Folha N<sup>o</sup> 5-Fortaleza-SO. Recife, SUCENE.165p.,Brasil.SUDENE.Hidrogeologico.27.

SMITH, B., HUTCHINS, M.G., RAWLINS, B.G., LISTER, T.R., k SHAND, P (1998) Methods for the integration, modeling and presentation of high-resolution regional hydrochemical baseline survey data. Journal of Geochemical Exploration 64, 67-82.

TEIXEIRA, Z A; SANTIAGO, M M F; MENDES FILHO, J; FRISCHKORN, H. (2001) “Estudo de águas subterrâneas representativas do município de Tauá”. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju,ABRH, 2001. p. 1-12.