

A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS USADAS NA IRRIGAÇÃO DA CHAPADA DO APODI

Maria Marlúcia Freitas Santiago^{1a}, Carla Maria Salgado Vidal Silva^{1b}, Rogelma Maria da Silva
Ferreira^{1c}, Josué Mendes Filho^{1d}, Zulene Almada Teixeira² & Horst Frischkorn³

Resumo – Águas subterrâneas do calcário Jandaíra e do arenito Açú foram coletadas de poços na Chapada do Apodi, em áreas dos municípios de Quixeré, Limoeiro do Norte, Tabuleiro do Norte, Alto Santo e fora da Chapada, em Aracati para análise físico-química e determinação de sua qualidade. Das 21 amostras analisadas 8 têm dureza acima de 500 mg/L e 13 delas apresentam saturação de calcita. O cloreto tem concentração acima de 250 mg/L em 7 amostras; predomina alta e muito alta dureza. Para irrigação, o risco de salinidade é alto e muito alto em 16 das amostras.

Abstract – Groundwaters from Jandaíra limestone aquifer and Açú sandstones were sampled on the top of the Apodi Plateau in the townships of Quixeré, Limoeiro do Norte, Tabuleiro do Norte Alto Santo and, off the Plateau, in Aracati. Chemical and physical-chemical analyses were made for water quality evaluation. Out of the 21 samples, 8 had hardness higher than 500 mg/L and 13 presented calcite saturation. Chloride was exceeded 250 mg/L in 7 samples; high to very to very high hardness is predominating. For irrigation, salinity risk is high and very high for 16 samples.

Palavras-Chaves – Águas subterrâneas, qualidade de água, Chapada do Apodí.

¹Departamento 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; (c) rogelma@fisica.ufc.br; (d) josué@fisica.ufc.br

²COGERH, (0xx)85 3218 7020, e-mail: zulene@cogerh.com.br

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

INTRODUÇÃO

A Chapada do Apodí é uma formação montanhosa localizada na divisa dos Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. No Ceará está distribuída por cinco municípios: Alto Santo, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Quixeré e Jaguaruana e no Rio Grande do Norte em quatro: Baraúna, Governador Dix-sept Rosado, Felipe Guerra e Apodí. A área apresenta grande uniformidade do ponto de vista topográfico. O relevo é plano, com declive dominante inferior a 2%, condições favoráveis para a agricultura.

Na área da Chapada são encontrados vários tipos de solos, destacando-se os Cambissolos eutróficos, com argila de atividade alta e textura argilosa, derivados de rochas carbonatadas do Grupo Apodí; estes solos apresentam elevada fertilidade natural e grande potencial para uso agrícola; secundariamente ocorrem Podzólicos.

O clima da região é o tropical quente semi-árido, a temperatura média anual é de 28,5 °C, com mínima de 22 °C e máxima de 35 °C. A precipitação média anual é de 772 mm (FUNCEME).

Segundo o Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe (IBGE, 1999), a Chapada do Apodí é constituída por sedimentos cretáceos das Formações Jandaíra e Açú, no nível altimétrico médio de 40 m e ocupa uma área de 1973 km². É caracterizada por uma superfície plana, formando um patamar de acesso ao topo da chapada.

A Chapada do Apodí é hoje uma importante área de fruticultura para exportação. A água utilizada no Projeto de irrigação Jaguaribe Apodí é bombeada através de uma estação elevatória que transfere a água para cerca de 40 m acima do nível do rio e a conduz em canais para uso em sistema de pivôs. Este projeto localizado em Limoeiro do Norte foi instalado pelo Departamento de Obras Contra as Secas (DNOCS), com a primeira etapa implantada no início dos anos 90 (Araújo, 2003).

Fora do projeto, o abastecimento é feito através de água subterrânea armazenada principalmente, no calcário Jandaíra (aquífero livre) e/ou no arenito Açú. As rochas calcárias que compõem o Jandaíra estão sujeitas à processos de hidrólise, que ocorre principalmente durante a infiltração das águas que têm dióxido de carbono dissolvido. Este processo, dominante nas regiões calcárias, é responsável pela formação de cavernas e determina um tipo especial de fluxo subterrâneo diferente do que ocorre em áreas sedimentares e em áreas de cristalino.

Segundo Medeiros (1992) e Oliveira & Maia (1998), entre outros, as águas do aquífero calcário apresentam concentrações de sais relativamente elevadas, podendo ser superior a 2000

mg/L. Neste caso, sua utilização na agricultura fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo da irrigação, para controle da salinização dessas áreas (Medeiros et. al., 2003).

Por estes processos, as águas armazenadas em formações calcárias têm características físico-químicas definidas principalmente pela dissolução de carbonatos que compõem o aquífero; parte delas requer tratamento especial para uso na agricultura.

Neste trabalho, utilizamos análises físico-químicas para identificar a qualidade das águas armazenadas no calcário Jandaíra e no arenito Açú; o índice de saturação da calcita foi utilizado para identificar a intensidade dos processos de salinização destas águas. O trabalho foi feito no âmbito do projeto COGERH/FCPC (2008).

METODOLOGIA

Hidroquímica

Foram coletadas 21 amostras em abril de 2008 de poços na Chapada do Apodi, 6 em Quixeré, 2 em Limoeiro do Norte, 5 em Tabuleiro do Norte, 5 em Alto Santo e, fora da Chapada, 3 em Aracati, para análise físico-química.

As medidas foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará pelos seguintes métodos:

Ca^{++} - Determinação complexiométrica em presença do indicador muxerida com a titulação feita com EDTA de normalidade 0,02 N. A virada de cor acontece do róseo para o lilás.

Mg^{++} - Medido de maneira indireta através da dureza.

Na^+ - Leitura direta usando fotometria de chama.

K^+ - Leitura direta usando fotometria de chama.

HCO_3^- - Determinação por acidimetria após determinação de carbonato em presença de indicador misto a 1 %, ocorrendo a virada da cor do azul para o amarelo.

Cl^- - Determinação volumétrica com AgNO_3 como solução titulante usando $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ como indicador. A virada de cor se dá do amarelo para telha.

Dureza - Determinação complexiométrica em presença do indicador negro de eriocromo com a titulação feita com EDTA. A virada de cor acontece do róseo para o azul.

Índice de Saturação da Calcita

A infiltração da água durante a recarga em área de calcário favorece a dissolução deste tipo de rocha. Para identificar o nível de dissolução destes calcários estudamos a dissolução de calcita, que é o calcário mais abundante no aquífero.

A dissolução da calcita ocorre na presença de CO₂ dissolvido na água. A equação que resume os processos de dissolução e de precipitação é:



Na presença de CO₂ ocorre dissolução e na perda de CO₂, precipitação.

No processo de dissolução da calcita, o produto de solubilidade K é expresso em função das atividades do Ca²⁺ e do CO₂:

$$K_{\text{calcita}} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] \text{ (atividades no equilíbrio),} \quad (2)$$

sendo, $\text{pK} = -\log K_{\text{calcita}} = 8,48$

Para identificar o estado de saturação do mineral em uma amostra de água compara-se as atividades no equilíbrio, expressas pela equação 2, com o produto de atividade iônica IAP expresso em função das atividades na amostra de água,

$$\text{IAP}_{\text{calcita}} = [\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}]$$

O Índice de Saturação que permite esta identificação é definido como:

$$\text{ISC} = \log (\text{IAP}/K),$$

sendo K a constante de equilíbrio;

No caso, ele é expresso por (Appelo e Postman, 1999):

$$\text{ISC} = -1,98 + \text{pH} + \log a_{\text{Ca}^{2+}} + \log a_{\text{HCO}_3^-} \quad (3)$$

$$a_{Ca^{++}} = \gamma_{Ca} \times Ca \text{ (meq/L)} \times 0,001$$

Onde, $\gamma_{Ca} = \exp [-0,513 \times 4 \times (I^{1/2}/(1 + 1,4 I^{1/2}))]$

RESULTADOS

As localizações dos poços e as medidas de pH e condutividade elétrica, feitas em campo, estão mostradas na Tabela 1 e na Figura 1. As concentrações dos cátions e ânions, a dureza e o índice de saturação da calcita (ISC) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Localização dos poços amostrados e medidas de pH e condutividade elétrica.

Nº	Poço	Município	UTM/N	UTM/E	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)
1	Mila Agrícola A	Quixeré	9442938	630520	6,9	1413
2	Mila agrícola B	Quixeré	9442931	630852	7,2	1280
3	Bessa	Quixeré	9438133	626792	7,0	2060
4	Fruta Cor – Boa Esperança	Quixeré	9438846	626499	6,9	2260
5	Fruta Cor – C. do Meio 1	Quixeré	9434389	615908	7,6	1554
6	Fruta Cor – C. do Meio 4	Quixeré	9432965	616513	7,0	1735
7	Km 60	Limoeiro de Norte	9422489	624150	7,0	1004
8	Cal Bras	Limoeiro do Norte	9422680	631957	7,1	856
9	São Bento	Tabuleiro do Norte	9401440	609926	6,6	256
10	Olho d'água da Bica	Tabuleiro do Norte	9405239	607883	7,1	1028
11	Alto do Mendes	Tabuleiro do Norte	9407280	603334	7,6	708
12	Lagoa do Meio - 141	Tabuleiro do Norte	9404564	598932	6,2	1161
13	Várzea Grande	Tabuleiro do Norte	9409602	600696	7,3	2080
14	Laje Oiticica	Alto Santo	9398508	617363	6,8	4630
15	Laje Oiticica - Assentamento	Alto Santo	9398320	617766	7,0	1025
16	Lagoa Grande 2	Alto Santo	9396613	612924	6,3	83
17	Água Apodi	Alto Santo	9398738	609510	6,4	142
18	Francisco Erismar	Alto Santo	9392853	610057	6,8	433
19	Da Fruta Poço 2	Aracati	9493800	641594	5,2	507
20	Da Fruta Poço 4	Aracati	9493915	641557	5,8	2690
21	Da Fruta Poço 5	Aracati	9493967	641561	5,7	1780

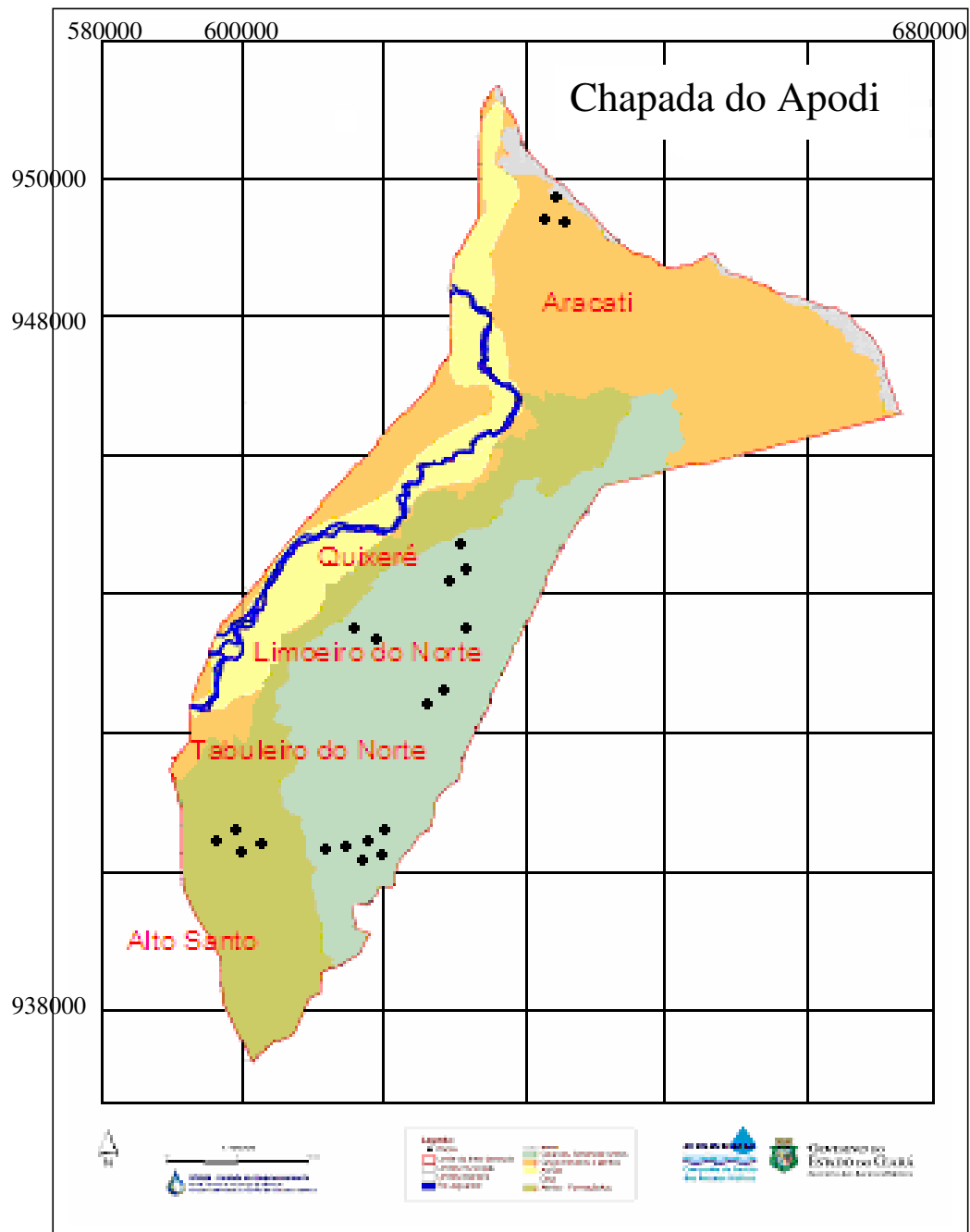


Figura 1 – Localização dos poços amostrados

Tabela 2 - Concentrações dos íons mais abundantes, dureza e índice de saturação da calcita (ISC).

* Níveis máximos permitidos para águas potáveis (MS, 2004).

Nº	Concentrações (mg/L)							Dureza (mg/L)	ISC
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼		
1	190,5	7,2	55,1	6,8	212,3	404,7	41,2	505,9	0,3
2	128,0	50,0	44,7	3,5	219,8	311,7	31,0	525,8	0,4
3	112,1	135,0	127,4	3,5	409,6	413,7	61,1	835,8	0,1
4	284,7	45,2	125,0	5,1	447,2	389,7	67,6	897,8	0,4
5	63,5	115,7	101,6	5,1	242,4	425,7	36,0	634,9	0,6
6	37,7	100,0	117,7	3,5	293,1	446,6	45,5	505,9	-0,2
7	27,2	80,7	48,1	6,8	77,0	398,7	36,3	400,0	-0,4
8	41,6	76,3	33,5	6,8	37,6	512,6	32,7	418,0	0,0
9	45,6	24,1	21,8	16,3	95,3	77,9	5,2	213,3	-1,2
10	90,4	41,8	53,4	24,8	148,4	455,6	27,8	398,0	0,3
11	69,4	42,2	55,1	14,8	112,7	299,8	18,0	347,2	0,5
12	32,4	34,0	60,6	34,3	214,2	57,0	54,6	346,0	-1,9
13	100,8	177,9	159,1	13,2	744,6	254,8	31,1	984,0	0,1
14	210,4	196,8	321,8	3,5	1070,9	416,7	163,1	1336,0	0,1
15	39,2	96,2	35,0	16,3	60,1	545,6	93,2	494,0	-0,1
16	5,9	3,6	11,3	8,4	48,9	12,0	1,0	29,8	-3,0
17	4,0	6,0	16,4	10,1	45,1	33,0	0,4	34,7	-2,7
18	17,9	15,7	43,1	14,8	63,9	113,9	16,1	109,1	-1,2
19	4,0	62,7	53,4	22,1	334,4	36,0	28,4	267,8	-4,0
20	23,8	101,2	321,8	41,3	627,5	131,9	146,4	476,2	-2,2
21	17,9	7,2	159,1	34,8	99,6	131,9	101,3	74,4	-2,3
*			200		250			500	

Os níveis máximos de concentração permitidos para as águas potáveis (MS, 2004), apresentados na Tabela 2, mostram que das 21 amostras 11 são potáveis sob o aspecto físico-químico. Como a maioria destas águas é utilizada na agricultura devem ser observados, principalmente, os parâmetros Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, dureza e condutividade elétrica,

Os valores de dureza variam de 34,7 a 1336,0 mg/L; em oito poços as águas são duras, não apropriadas para consumo humano por apresentarem dureza acima de 500 mg/L; este tipo de água foi encontrado nos 6 poços amostrados no município de Quixeré, um, em Alto Santo e outro, em Tabuleiro do Norte. As águas duras são inadequadas também na agricultura. Usando a classificação de Custódio e Llamas (1983), das 21 amostras, duas são brandas (Dureza < 50), uma é pouco dura (Dureza de 50 a 100), uma é dura (Dureza > 100 a 200), e 17 são muito duras (Dureza > 200),

O parâmetro Razão de Adsorção de Sódio (SAR) deve ser considerado para identificar a adequação da água ao uso na irrigação; ele é avaliado em função da condutividade elétrica no

gráfico proposto por Richards (1954) para classificação das águas para uso na agricultura. A Figura 2 mostra que, em relação ao risco de adsorção de sódio, 18 das águas analisadas têm baixo risco; nos poços Da Fruta-P4, Da Fruta-P5 e Lage Oiticica o risco é médio. Quanto ao risco de salinidade, ele é baixo em Água Apodí, é médio em Alto do Mendes, Da Fruta-P2, Francisco Erismar e em São Bento, é muito alto em Da Fruta,-4 e em Laje Oiticica; nos demais treze poços, o risco de salinidade é alto.

O uso do SAR, como foi proposto originalmente pelo Laboratório de Salinidade de Solo dos Estados Unidos (Richards, 1954) tem sido, frequentemente criticado por subestimar o risco de sódio e por não levar em consideração outros íons como HCO_3^- e CO_3^{2-} (Medeiros, 2003). Por isso, para classificar águas como apropriadas ou não para irrigação, é importante considerar outros parâmetros como dureza e índice de saturação.

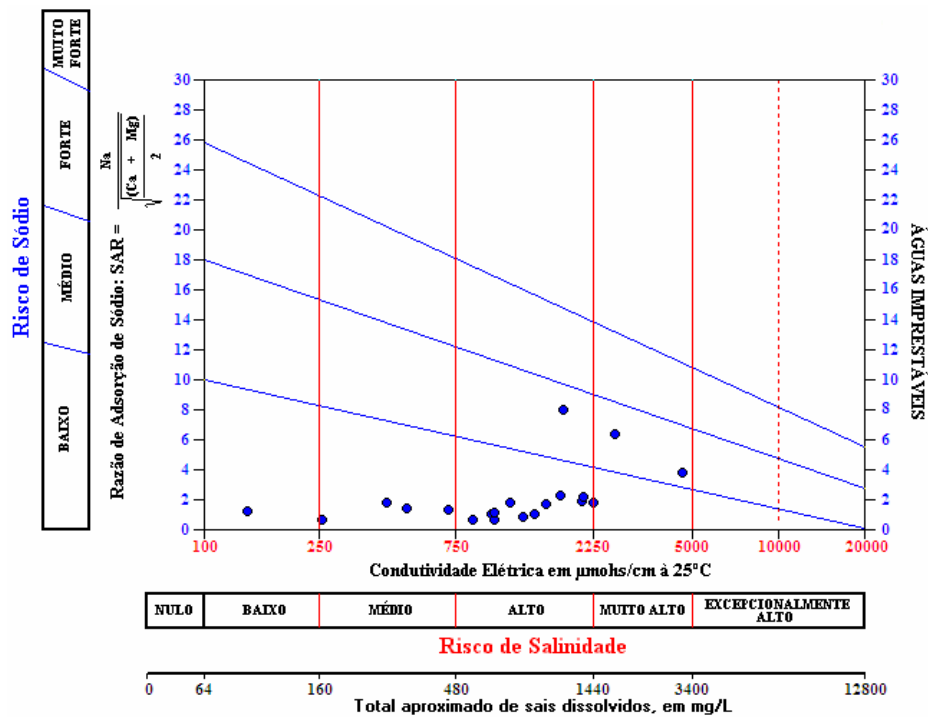


Figura 2 – Diagrama SAR versus condutividade elétrica (USSLS, 1954).

A dureza destas águas tem origem na dissolução de rochas carbonatadas do calcário Jandaíra. O ISC na Tabela 1 mostra valores de supersaturação, ou seja, $\text{ISC} > 0$ nos poços de Quixeré e Tabuleiro do Norte. As amostras de água de poços de Alto Santo são de água subsaturada; os valores mais baixos de ISC estão nas amostras de Aracati, como era esperado, pois

o município está fora da Chapada sendo seus dados utilizados principalmente para comparação com área não calcária.

A Figura 3 mostra o índice de saturação da calcita em função da dureza; ela indica claramente a tendência à saturação nas águas mais duras e que também outros processos devem estar ocorrendo nas águas em Aracati P19 e P20 e na Lagoa do Meio em Tabuleiro do Norte, P12.

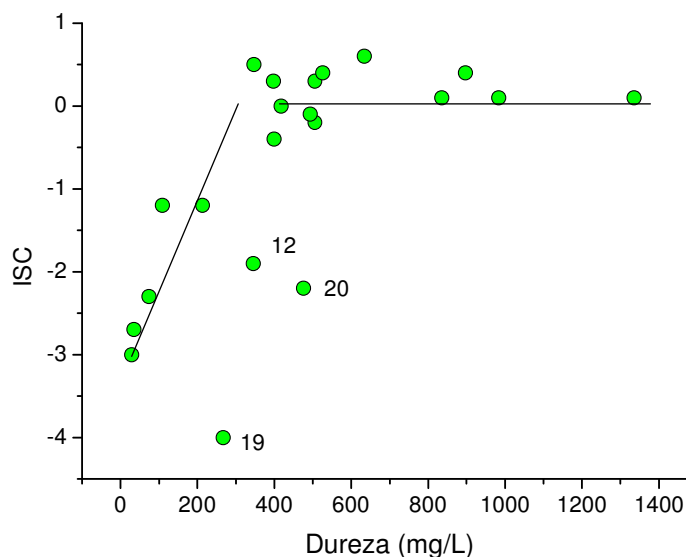


Figura 2 – Índice de Saturação da Calcita versus dureza

CONCLUSÕES

As análises físico-químicas de águas subterrâneas na Chapada do Apodi mostram, na maioria delas, elevada dureza e saturação de calcita decorrente do processo de dissolução no calcário Jandaíra.

A dureza é mais elevada nas águas no município de Quixeré, mas há variação espacial deste parâmetro nas amostras de todos os municípios.

O Índice de Saturação de Calcita também é mais elevado nas amostras de Quixeré, em todos os municípios há variação espacial deste índice e os valores mais baixos foram encontrados nas amostras do município de Aracati, fora do calcário Jandaíra.

As águas de elevada dureza e saturação de calcita não são potáveis e não são apropriadas para uso na agricultura em todos os tipos de solo e para todas as culturas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à COGERH e à UFC o apoio recebido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPELO, C.A.J. & POSTMAN, D. Geochemistry, groundwater and pollution. 4^a Ed. A.A. Balkema, Rotterdam. 536 p. 1999.

ARAÚJO, R.L. Organização espacial e questão ambiental: o caso da cidade de Limoeiro do Norte – Ceará. Dissertação de Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente – UFC, Fortaleza, 2003, 153 p.

COGERH/FCPC (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos/Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura). Serviços técnicos referentes a análises hidroquímicas e bacteriológicas dos planos de monitoramentos dos aquíferos da Bacia Potiguar e da Bacia do Araripe, Estado do Ceará. Relatório Parcial III. 2008

CUSTÓDIO, E & LLAMAS, M,R, Hidrologia Subterrânea, Barcelona, Omega Press, 1983.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) [http://www. funceme.Br](http://www.funceme.Br)
Acesso em 20 de junho de 2008

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) Diagnóstico ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe. Salvador, 1999.

MEDEIROS, J.F. de. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos estados do RN, PB e CE. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p.
Dissertação de Mestrado. 1992

MEDEIROS J.F. de; LISBOA, R.A.; OLIVEIRA, M.; SILVA Jr, M.J.; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental vol. 7, no.3 Campina Grande Set./Dec. 2003.

OLIVEIRA, O. & MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes

aqüíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.2, n.1, p.17-21. 1998.

RICHARDS, L.A. 1954 Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Washington: United States Salinity Laboratory Staff. 160p. USDA, Handbook, 60.

USSLS (United States Salinity Laboratory Staff), Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, **Agriculture Handbook** nº 60, L, A, Richards Edit, Washington, 159 p, 1954,