

QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO NA MICRORREGIÃO DE TERESINA, PIAUÍ.

Clarice Maria Leal¹; Aderson Soares de Andrade Júnior¹; Valdemício Ferreira de Sousa¹; Ênio Farias de França e Silva²; Edson Alves Bastos¹

¹*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Meio Norte, Teresina, PI, clarice@cpamn.embrapa.br*

²*Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.*

1 RESUMO

O presente estudo teve por objetivo a realização de um levantamento das características físicas, químicas e físico-químicas das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Rio Parnaíba, em especial aquelas características relevantes para a determinação da qualidade dessas águas para fins de irrigação. Foram coletadas amostras de água em 270 poços georreferenciados localizados em 14 municípios da Microrregião de Teresina-PI. As amostras foram coletadas em duas épocas distintas, ou seja, nas estações secas de 2004 e de 2005. Nessas amostras foram realizadas determinações dos seguintes parâmetros: pH, NH_4^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CE, RAS, Na^+ , Cloretos, Bicarbonatos e Carbonatos. Os resultados foram interpolados em um SIG (Sistemas de Informações Geográficas) – SPRING – com o objetivo de constituir mapas temáticos mostrando as classes de restrição das águas para fins de irrigação. Dentre os resultados obtidos, a análise conjunta de RAS e CE revelou potenciais problemas de infiltração da água no solo em mais da metade dos municípios, mostrando a necessidade de um manejo adequado da irrigação com vistas a mitigar os problemas nessas áreas.

UNITERMOS: salinidade, infiltração, hidrogeologia, RAS, CE, SPRING

LEAL, C. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S., de; SOUSA, V. F. de; SILVA, E. F. de F.; BASTOS, E. A. GROUNDWATER QUALITY TO IRRIGATION IN TERESINA REGION, PIAUI STATE, BRAZIL

2 ABSTRACT

The objective of the present study was to analyze chemical and physical characteristics, of the groundwater of the Sedimentary Basin of Parnaíba River, especially those ones that are important to determine water quality for irrigation. Samples were collected in 270 georeferenced wells located in 14 municipal districts of Teresina Region, Piaui State. The samples were collected in 2004 and 2005 dry stations. The following parameters were determined: pH, NH_4^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CE, SAR, Na^+ , Chlorides, Bicarbonates and Carbonates. The results were interpolated in a GIS (Geographical Systems Information) - SPRING – in order to make theme maps showing the restriction classes of irrigation water. The analysis of sodium adsorption ratio (SAR) and electric conductivity (EC) showed water

infiltration problems in the soil in most of the municipal districts, and the need of an appropriate irrigation management technique to mitigate the problems in those areas.

KEYWORDS: salinity, infiltration, hydrogeology, SAR, EC, SPRING

3 INTRODUÇÃO

Os sistemas aquíferos da região de Teresina estão localizados na bacia sedimentar do rio Parnaíba, que é uma importante unidade hidrográfica do Nordeste Brasileiro, que apresenta elevado potencial para a exploração de atividades econômicas. Esta região é parte do domínio geoambiental denominado Meio-Norte do Brasil, o qual, segundo Rebouças (1997), compreende uma área de transição amazônica, com distribuição de chuvas variando entre 1.000 e 2.500 mm ano⁻¹, rios perenes e grandes reservas de águas subterrâneas.

Tais características favorecem o desenvolvimento de diversas atividades na região, como a agricultura irrigada.

O crescimento da irrigação privada no Nordeste vem incitando a procura por fontes alternativas de abastecimento de água. A pequena irrigação baseada em açudes e águas subterrâneas de aluviões surge como uma das alternativas mais promissoras (Rebouças, 1997). Sob este aspecto, ressalta-se que a fruticultura irrigada vem se destacando como principal atividade do agronegócio na microrregião de Teresina.

As águas subterrâneas utilizadas na irrigação representam um importante insumo na cadeia produtiva e, como sua qualidade varia no tempo e no espaço, faz-se necessária a realização de um monitoramento visando evitar perdas de produtividade pelo uso de água de má qualidade, bem como impactos ao meio ambiente (Silva Júnior et al., 1999).

A determinação da qualidade da água para suas diversas finalidades envolve certo grau de complexidade. Para um monitoramento satisfatório, é necessário considerar que além dos fatores naturais, como a interação da água com as rochas, outros fatores como a interferência da ação do homem sobre o sistema de fluxo, com a introdução de novas substâncias, promovem a alteração da qualidade dos recursos hídricos (Vidal, 2003). Dessa forma, a localização de fontes de poluição nas proximidades de poços, nascentes e rios é um fato observado em diversos ambientes.

Quanto à influência de elementos naturais, Yaron (1973) enfatiza que a qualidade da água subterrânea reflete as características geomorfológicas da rocha matriz que constitui o sistema aquífero.

De acordo com a CPRM (2007), a geomorfologia da região estudada é determinada pelo predomínio de rochas sedimentares que perfazem a bacia do rio Parnaíba, sendo constituída principalmente pela formação Poti-Piauí, além de outras como Cabeças, Pimenteiras, Pedra do Fogo, Pastos Bons e Sardinha, caracterizadas pela presença de arenitos, siltitos, folhelhos e calcários.

- A unidade hidrogeológica Poti-Piauí apresenta constituintes arenosos, alternância de leitos mais ou menos permeáveis e comportamentos de aquíferos e aquitardes.
- A formação Cabeças apresenta boas condições de permeabilidade e porosidade o que favorece o processo de recarga, constituindo-se num potencial elemento de armazenamento de água subterrânea. A formação Sardinha é constituída de rochas impermeáveis, que se comportam como “aquíferos fissurais”, onde a água se concentra em fendas, traduzindo-se em reservatórios aleatórios, de pequenas extensões.

- As formações Pimenteiras, Pedra do Fogo e Pastos Bons apresentam constituintes litológicos de baixa permeabilidade, não apresentando importância hidrogeológica para a região.

Na prática da irrigação, Ayers & Westcot (1991) enfatizam que a avaliação da qualidade da água deve ser feita, principalmente, sob a determinação de parâmetros físicos, químicos e físico-químicos, sendo outras variáveis consideradas menos relevantes para tal procedimento. Os principais problemas quanto ao uso da água na irrigação dizem respeito à salinização, à capacidade de infiltração da água no solo e à toxicidade de alguns íons. Nesse sentido, Oliveira & Maia (1998) ressaltam que o risco potencial de salinização do solo pode ser definido segundo a determinação do pH e da condutividade elétrica da água. Da mesma forma, a razão de adsorção de sódio (RAS) (Richards, 1954) é largamente utilizada na avaliação de problemas de infiltração da água no solo.

Segundo Ayers & Westcot (1991) é necessário que a RAS seja avaliada em conjunto com a condutividade elétrica, pois para um mesmo valor de RAS, o risco de sodicidade será menor quanto maior for o nível de salinidade. Esses autores explicam essa relação, ressaltando que o sódio tem um efeito dispersante, o que resulta na diminuição da permeabilidade do solo. Um efeito contrário é possível quando ocorrem elevados teores de sais na água de irrigação, o que permite a floculação de partículas do solo, aumentando a capacidade de infiltração da água.

Além da avaliação total de sais presentes, é importante um levantamento a respeito da constituição individual de alguns elementos na determinação da qualidade da água para irrigação (Oliveira & Maia, 1998). Os íons sódio e cloreto podem-se tornar tóxicos às plantas se encontrados em concentrações elevadas, no entanto a magnitude de tais efeitos depende das condições climáticas e sensibilidade das culturas (Ayers & Westcot, 1991). O nitrato e o íon amônio constituem formas de grande importância em ambientes aquáticos, uma vez que representam as principais formas de nitrogênio para os produtores primários (Estevez, 1998). Porém em excesso, estes elementos provocam a produção excessiva de vegetais, o retardo na maturação e tendência ao acamamento (Ayers & Westcot, 1991).

Este trabalho teve como objetivo fazer um levantamento das características físicas, químicas e físico-químicas relevantes na determinação da qualidade da água subterrânea para fins de irrigação, em 14 municípios pertencentes à microrregião de Teresina, Piauí.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada entre as latitudes 04°20'07"S e 06°07'47"S, e as longitudes 42°13'54"W e 43°06'30"W, abrangendo 14 municípios da microrregião de Teresina, Piauí (Figura 1).

Utilizou-se a base de dados dos poços públicos e particulares cadastrados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. A partir dessa base, os pontos de monitoramento foram escolhidos de forma a constituir uma amostra espacial regularmente distribuída por toda a área de estudo (Figura 2).

Foram utilizados 270 poços públicos e particulares georreferenciados e localizados na microrregião estudada.

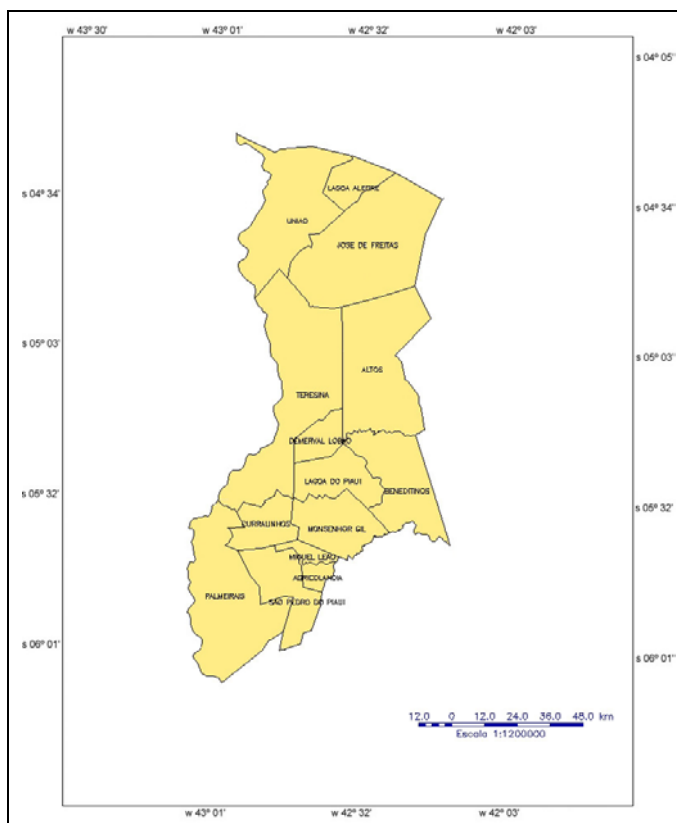


Figura 1. Mapa mostrando os limites da área de estudo e dos municípios abrangidos.

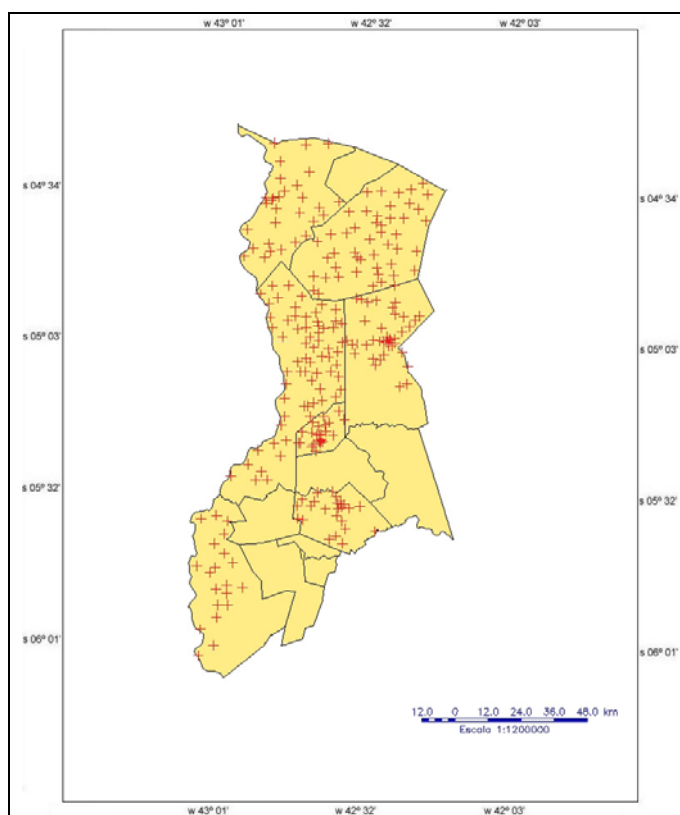


Figura 2. Distribuição espacial dos poços na área em estudo.

Foram realizadas duas amostragens, uma no período seco de 2004 (E1) e outra no período seco de 2005 (E2).

Para avaliar a qualidade das águas para irrigação, foram determinados os seguintes parâmetros: pH, amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), condutividade elétrica (CE), razão de adsorção de sódio (RAS), sódio (Na^+), cloretos (Cl^-), bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{-2}). Todas as determinações foram realizadas no Laboratório de Água e Solo da Embrapa Meio-Norte, localizado no município de Teresina, (PI), conforme metodologia proposta em Embrapa (1997), exceto para os parâmetros NH_4^+ e NO_3^- , que foram determinados diretamente no campo, através da utilização de uma Sonda de Qualidade de Água modelo YSI-6600.

Os resultados obtidos nas análises foram tabulados e a partir das coordenadas dos poços foram incorporados a um sistema de informações geográficas (SPRING, 1996).

O SPRING constitui um programa de geoprocessamento que permite a construção de mapas temáticos a partir de pontos amostrais georreferenciados. Para cada parâmetro é criada uma grade retangular, obtida através da aplicação de ferramentas de análises estatísticas que utilizam diversos tipos de interpoladores.

As grades retangulares foram geradas, onde se utilizou a média ponderada como interpolador. Para o refinamento de cada grade, foi aplicado o interpolador bicúbico.

Os mapas temáticos foram constituídos através do fatiamento em classes de restrição de uso para irrigação, conforme as recomendações de Ayers & Westcot (1991) (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de restrição de uso da água na irrigação.

Problema Potencial	Graus de restrição de uso		
	Nenhuma	Moderada	Severa
Salinidade			
CEa (dS m^{-1})	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Infiltração (RAS x CE)			
RAS ¹ ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) =		CE	
0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
12 - 20	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
20 - 40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidade (irrigação por aspersão)			
Na^+ ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	< 3,0	> 3,0	
Cl^- ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	< 3,0	> 3,0	
Outros (afetam culturas sensíveis)			
NO_3^- (mg L^{-1})	< 5,0	5 - 30	> 30
HCO_3^- ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
NH_4^+ (mg L^{-1})	Faixa normal: 0 - 5		
CO_3^{-2} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)	Faixa normal: 0 - 0,1		
pH	Faixa normal: 6,5 a 8,4		

Fonte: Ayers & Westcot (1991).

¹: Razão de Adsorção de sódio, obtida através da equação:

$$\text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{1/2} \quad (\text{Richards, 1954});$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de CE revelaram a ocorrência de baixos níveis de salinidade na maioria dos municípios. Cabe ressaltar que apenas em parte dos municípios de União (épocas E1 e E2) e Teresina (época E2), foram obtidos valores de CE acima do limite que restringe moderadamente a prática de irrigação nessas regiões.

Os mapas da Figura 3 apresentam a distribuição das classes de restrição em função da CE nas duas épocas de coleta.

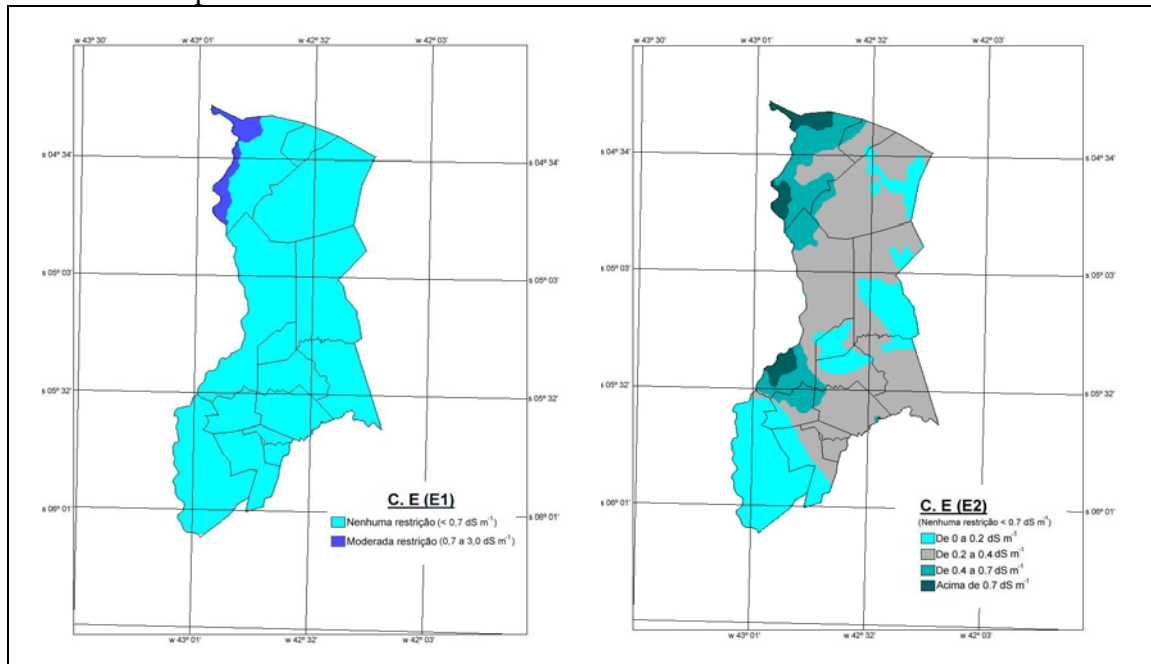


Figura 3. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro Condutividade Elétrica, nas duas épocas de coleta.

De acordo com os mapas resultantes da análise conjunta da RAS e da CE (Figura 4) foi diagnosticado o risco quanto a problemas de infiltração da água no solo na maior parte da área de estudo (93,57%), em ambas as épocas. Considerando que, o risco de sodicidade será menor quanto maior for nível de salinidade para um mesmo valor de RAS (Ayers e Westcot, 1991), os baixos níveis de salinidade verificados na grande maioria dos municípios, não favoreceram uma diminuição na possibilidade de ocorrência de problemas de permeabilidade do solo, ou seja, segundo os autores, o efeito dispersante do sódio é amenizado pela ação floculante da presença de sais na água de irrigação. Os resultados obtidos nas porções norte, central e sul, regiões com valores inferiores de CE, corroboram com tais observações. O município de Palmeirais foi o mais afetado com severas restrições de uso da água na irrigação, apresentando níveis ínfimos de CE ($< 0,1 \text{ dS m}^{-1}$).

Quanto ao pH, houve predominância de águas neutras a alcalinas na porção centro-norte da região, com variações entre 6,5 e 8,0, na época E1 e de 6,5 a 8,4 na época E2 (Figura 5). Porém, os municípios de Palmeirais, São Pedro e Curralinhas apresentaram valores ácidos de pH, que variaram entre 3,0 e 6,5 na época E1, e de 3,8 a 6,5 na época E2. Nesses municípios também foram constatados baixos níveis de CE. Tal fato corrobora com as observações de Ayers & Westcot (1991), quando citam que águas de baixa salinidade podem

apresentar valores de pH fora do normal, podendo essa acidez provocar desequilíbrios nutricionais para as culturas e corrosão de equipamentos de irrigação.

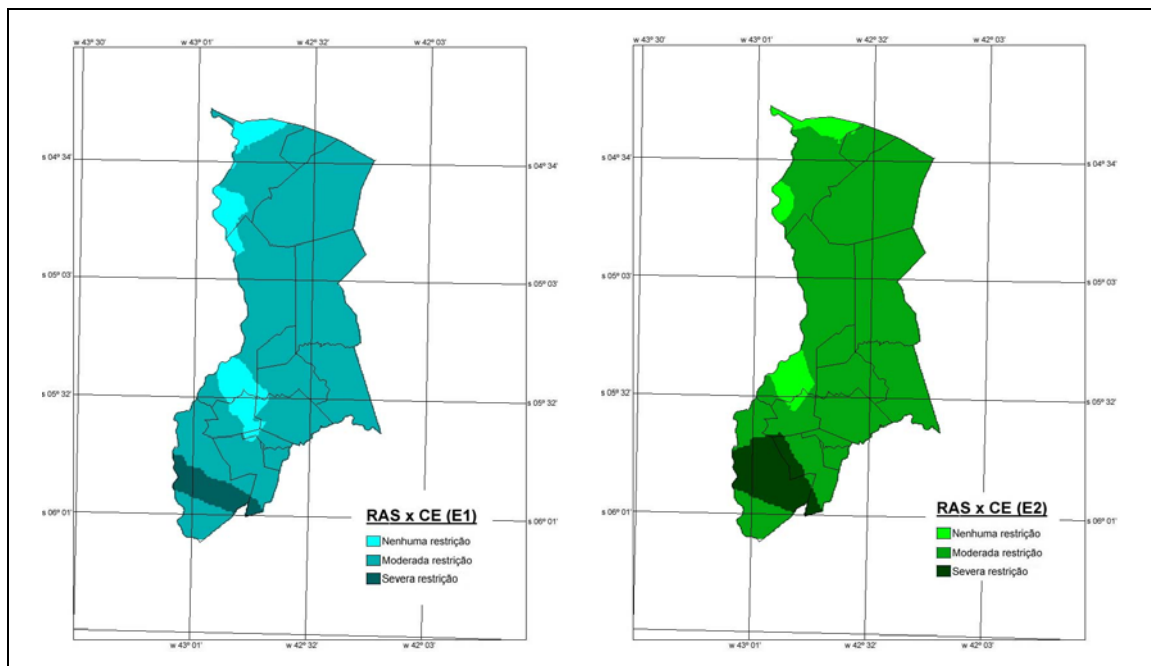


Figura 4. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função dos parâmetros Razão de Adsorção de Sódio versus Condutividade Elétrica, nas duas épocas de coleta.

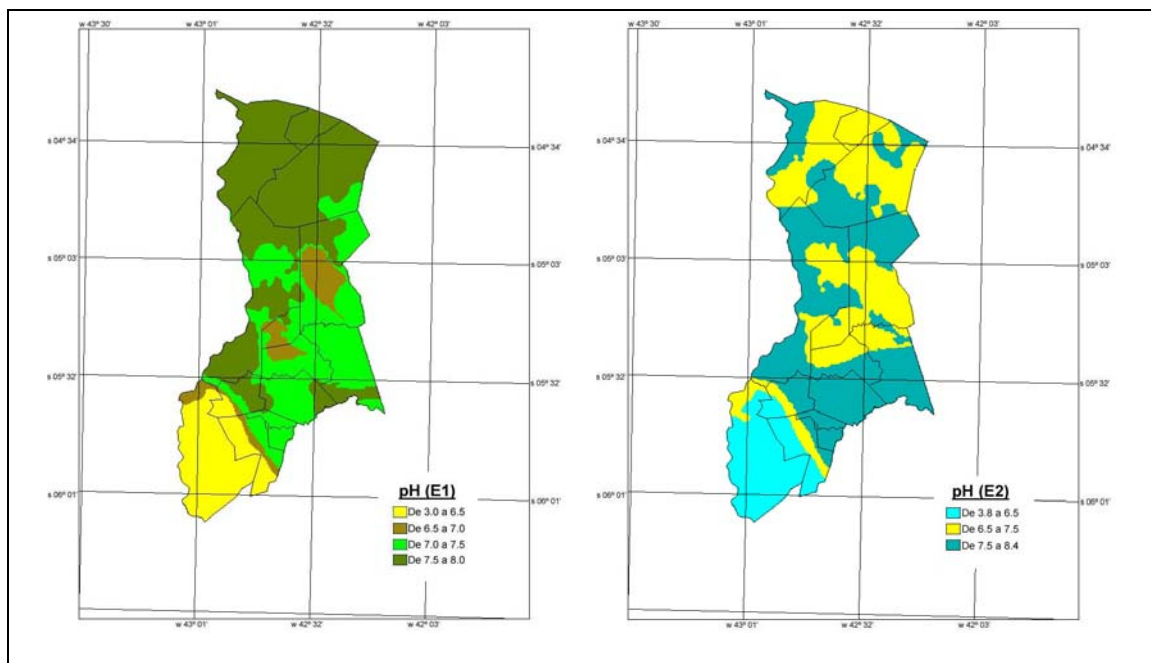


Figura 5. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro pH, nas duas épocas de coleta.

Em ambas as épocas foram obtidas moderadas restrições relacionadas aos íons Na^+ e Cl^- , ao norte da microrregião, principalmente nos municípios de União e Teresina, confirmando os elevados resultados de CE obtidos nestes municípios. Uma pequena porção do município de Lagoa Alegre apresentou valores de Cl acima do limite permitido durante a época E2 (Figuras 6 e 7).

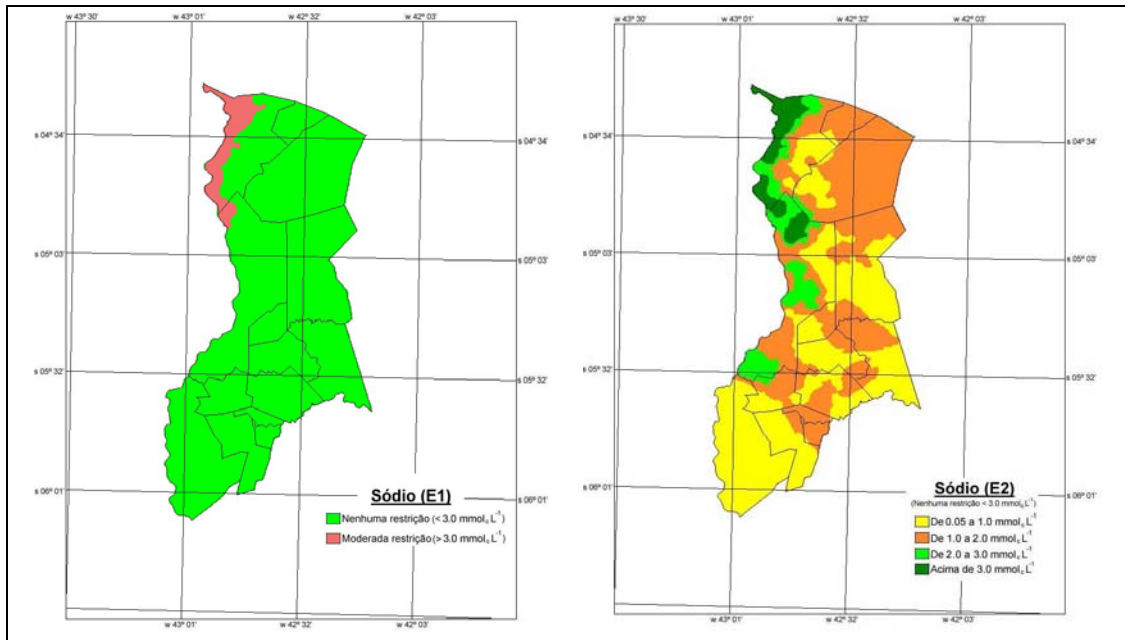


Figura 6. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro Sódio, nas duas épocas de coleta.

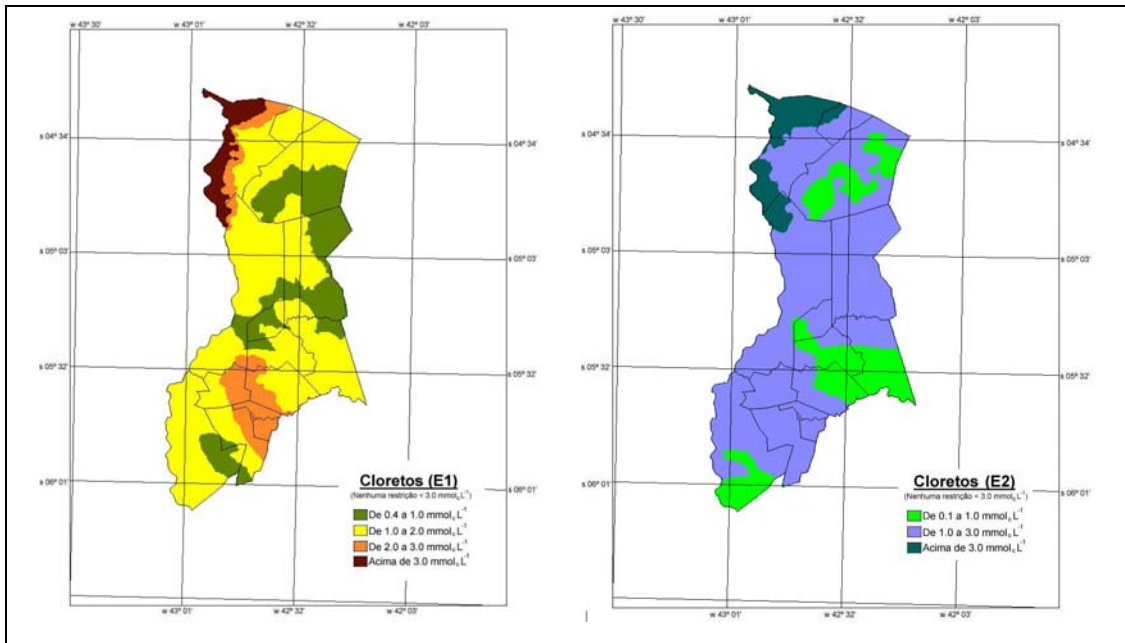


Figura 7. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro Cloreto, nas duas épocas de coleta.

De acordo com Ayers & Westcot (1991), elevados teores de Cl^- e Na^+ podem ser tóxicos para diversas culturas, podendo a irrigação por aspersão ocasionar problemas de queimaduras das folhas e conseqüentes perdas na produtividade. É necessário, pois, analisar que tais problemas poderão ser agravados pelas elevadas temperaturas e baixa umidade do ar durante o período seco, quando a elevada taxa de evapotranspiração das plantas concentra mais rapidamente estes elementos nas superfícies foliares. A presença abundante do íon Na^+ poderá acarretar, além dos citados problemas de toxicidade, a redução na permeabilidade do solo devido ao efeito dispersante deste elemento quando se encontra em maiores proporções em relação aos níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Níveis elevados de HCO_3^- ($> 1,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), foram encontrados em mais da metade das amostras coletadas na microrregião de estudo em ambas as épocas, sendo, as porções norte e central as de maior ocorrência, o que define o uso moderado da água na irrigação por aspersão nestas áreas, uma vez que apesar da não toxicidade do elemento HCO_3^- , este ânion em excesso poderá formar depósitos brancos nas folhas e frutos, reduzindo o valor comercial dos produtos (Ayers & Westcot, 1991). Apenas no município de Palmeirais, durante a época E1 e nos municípios localizados a sudeste de Teresina, na época E2, foram registrados valores mais baixos de HCO_3^- (entre 0,06 e $1,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$).

Os elevados índices de HCO_3^- foram acompanhados de ligeiros aumentos dos níveis de CO_3^- entre 0,1 e $0,85 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, principalmente durante a época E1.

As Figuras 8 e 9 apresentam os mapas temáticos de restrição de uso das águas para irrigação em função dos níveis de Bicarbonato e Carbonato, respectivamente, para as duas épocas de amostragem.

Tal fato corrobora com os resultados das análises de pH encontrados nestas regiões, indicando a ocorrência de águas ligeiramente alcalinas. A presença demasiada dos íons HCO_3^- e CO_3^- pode provocar a precipitação do cálcio, elevando o risco de sodicidade (Ayers & Westcot, 1991).

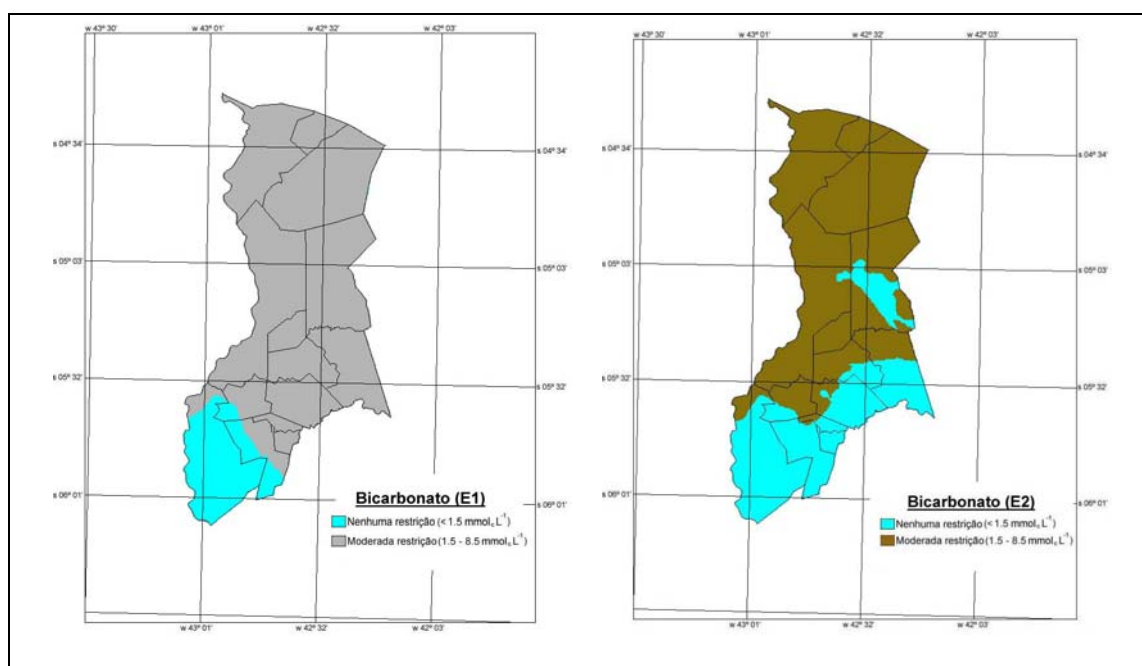


Figura 8. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro Bicarbonato, nas duas épocas de coleta.

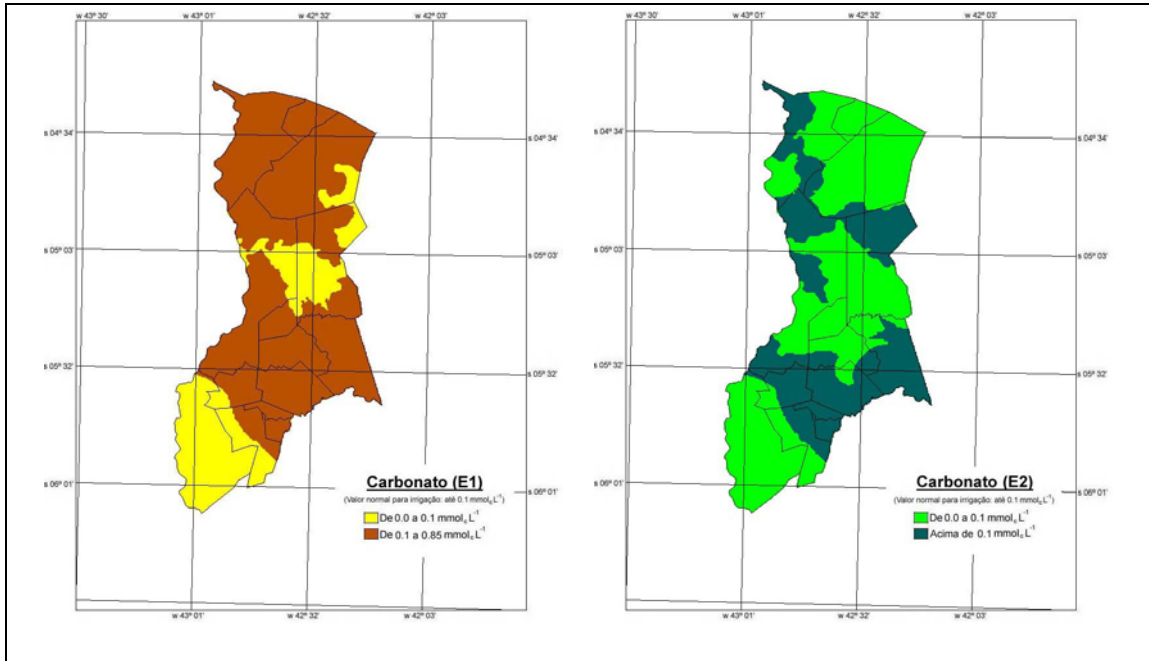


Figura 9. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro Carbonato, nas duas épocas de coleta.

As análises dos compostos de nitrogênio, NO_3^- e NH_4^+ , demonstraram que houve variação dentro da faixa da normalidade para irrigação em toda a região de estudo, com exceção apenas dos municípios de União e Lagoa Alegre (época E1), Teresina, Altos, União, Demerval Lobão e Beneditinos (época E2), que apresentaram moderada restrição de uso da água com relação ao NO_3^- , como mostram as Figuras 10 e 11.

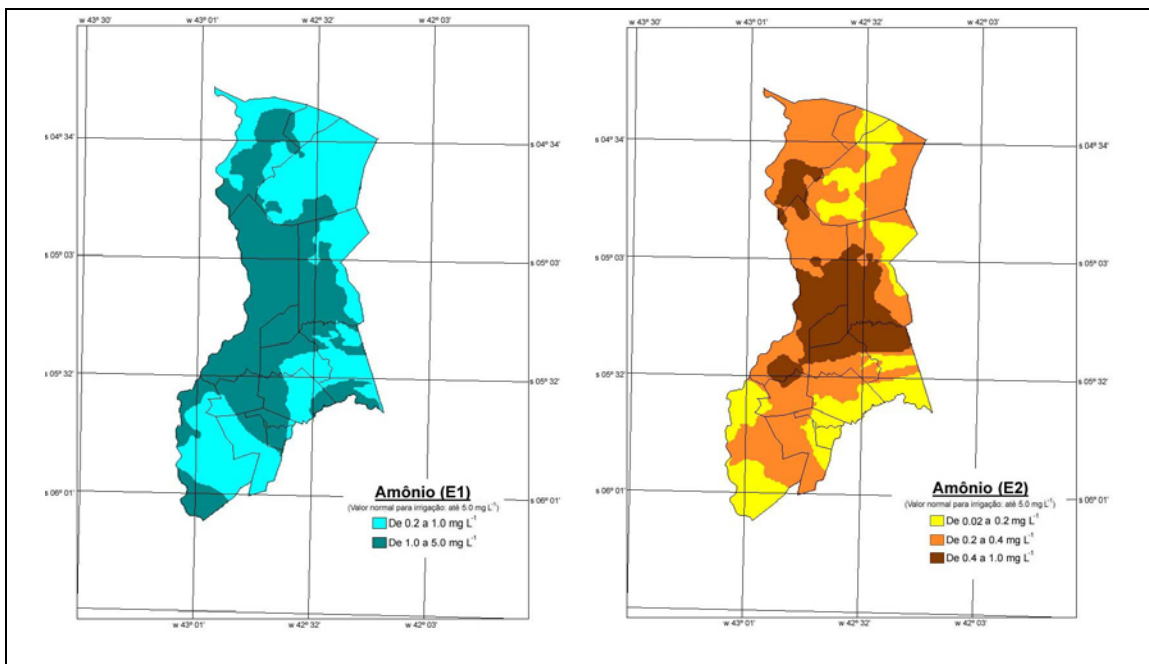


Figura 10. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro Amônio, nas duas épocas de coleta.

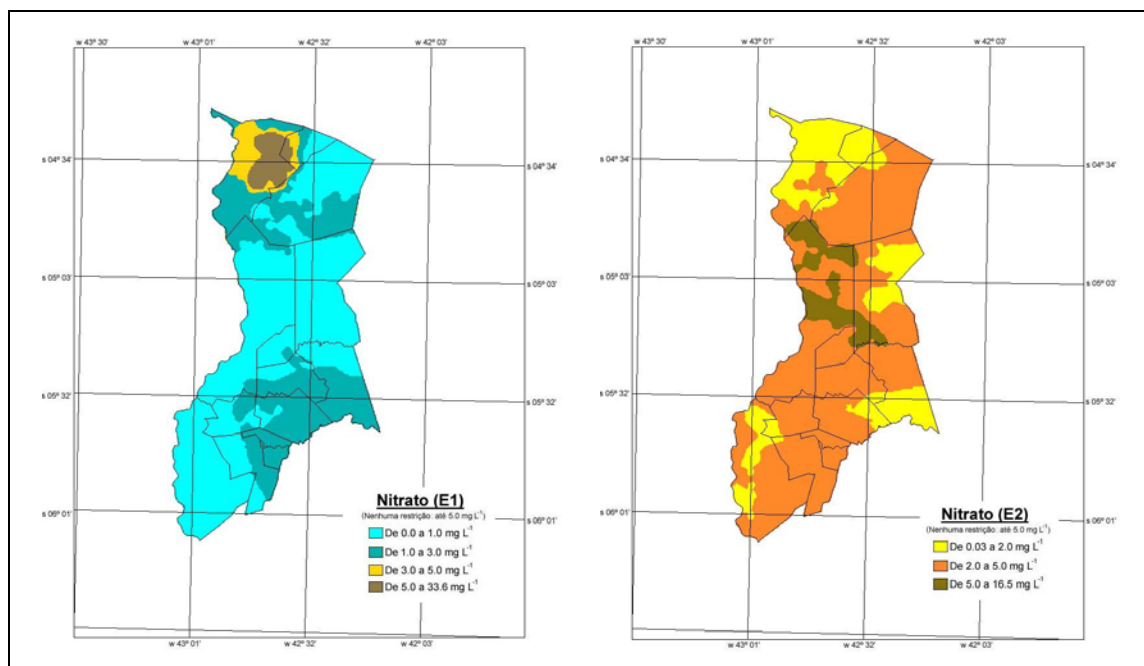


Figura 11. Mapas mostrando as classes de restrição das águas para irrigação em função do parâmetro Nitrato, nas duas épocas de coleta.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que:

- A água subterrânea da microrregião de Teresina, Piauí, apresenta boa qualidade para a prática da irrigação, não apresentando elevados riscos de salinidade e toxicidade.
- A análise conjunta da RAS e da CE permitiu verificar que a utilização de águas com baixas concentrações de sais verificadas na maior parte dos municípios, agrava o risco sodicidade do solo.
- A ocorrência dos elevados níveis dos íons Bicarbonato e Carbonato, na maior parte da região estudada, podem intensificar os problemas de permeabilidade do solo, com o aumento do risco de sodicidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO irrigação e drenagem, 29).

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Agricolândia**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/002.pdf>. Acesso em: 6 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Altos.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/007.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Beneditinos.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/025.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Curralinhos.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/070.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Demerval Lobão.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/071.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de José de Freitas.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/107.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Lagoa Alegre.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/111.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Lagoa do Piauí.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/114.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Miguel Leão.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/127.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Monsenhor Gil.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/129.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de Palmeirais.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/147.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de São Pedro do Piauí.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/202.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

_____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea - Piauí: Diagnóstico do Município de União.** Disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/piaui/relatorios/214.pdf>. Acesso em: 06 Jun. 2007.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

OLIVEIRA, M. de O.; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 17-21, 1998.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Revista do Instituto Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.

RICHARDS, L. A. (ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA Agriculture Handbook, 60).

SILVA JÚNIOR, L.G. de A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 11-17, 1999.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, v. 3, n. 20, p. 395-403, 1996.

VIDAL, C. L. R. **Disponibilidade e gerenciamento do aquífero Serra Grande no município de Picos, PI**. 2003. 194 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, E.; DANFORS, E.; VAADID, Y. (eds.). **Arid zone irrigation**, Berlin: Springer-Verlag, 1973, p. 71-85. (Ecological Studies, 5).