

USO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA IRRIGAÇÃO NO SUDESTE PIAUIENSE E O RISCO DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO DO SOLO

Aderson Soares de Andrade Júnior¹; Ênio Farias de França e Silva²; Edson Alves Bastos³;
Clarice Maria Leal⁴ & Marcos Vinícius Folegatti⁵

RESUMO

A região sudeste do estado do Piauí, localizada no semi-árido do nordeste do Brasil, é caracterizada por baixa intensidade pluviométrica e elevadas taxas de evapotranspiração; entretanto, a reserva de água subterrânea torna possível o desenvolvimento de atividades antrópicas, potencializadas, na maioria dos casos, pelas características hidrogeológicas do subsolo, que permitem explorações de alta vazão de água com boa qualidade. Todavia, alguns poços atingem formações que possuem baixa vazão e qualidade de água com concentração elevada de sais, que se utilizada para irrigação, podem ocasionar a salinização e a sodificação dos solos. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar a qualidade das águas subterrâneas na região sudeste do Piauí, visando o uso para irrigação. Foram coletadas amostras em 225 poços distribuídos espacialmente, nas quais, foram analisadas as seguintes variáveis: condutividade elétrica, sódio, cálcio, magnésio, relação de adsorção de sódio, carbonato, bicarbonato, cloreto e sulfato. Em relação ao uso da água, predominou o uso doméstico (53,61%), seguido pela irrigação (21,17%), com os seguintes métodos: gotejamento (14,03%); microaspersão (3,83%); aspersão convencional (16,11%); canhão e autopropelido (13,66%); superfície (16,76%) e outros métodos artesanais (35,52%). Os mapas de classes de risco de uso para irrigação, gerados a partir da qualidade da água subterrânea, permitiram verificar a ocorrência de subáreas com as seguintes classes de restrição de uso para irrigação: nenhuma restrição, moderada restrição e severa restrição.

¹ Embrapa Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, 5650. CP 01. 64006-220. Teresina, PI. Fone: (86) 225-1141. Fax: (86) 225-1142 e-mail: aderson@cpamn.embrapa.br.

² Embrapa Meio-Norte. e-mail: enio@cpamn.embrapa.br.

³ Embrapa Meio-Norte: e-mail: edson@cpamn.embrapa.br.

⁴ Embrapa Meio-Norte. e-mail: clarice@cpamn.embrapa.br.

⁵ ESALQ/USP, Av Pádua Dias, 11 Piracicaba, SP. e-mail: mvfolega@esalq.usp.br

ABSTRACT

The Piauí State southeast at semi-arid of Brazilian northeast is characterized by low rain intensity and high evapotranspiration rates. However, the groundwater reservation turns possible the economic development by underground characteristic hydrogeology, that it allows extractions of high water flow with good quality, in most of the cases. Though, some wells reach formations that possess low flow and quality of water with elevated salts concentration, that if used for irrigation they can cause soil salinization and sodification. The aim of this work was characterizing to groundwater quality in the Piauí State southeast to the use for irrigation. Samples were collected in 225 wells distributed spatially in the area that, the following variables were analyzed: electric conductivity, Na^+ , Ca^+ , Mg^+ , CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- and SAR. In relation for water use, domestic use (53,61%), proceeded by irrigation (21,17%), where observed irrigation methods were: drip irrigation (14,03%); microsprinkler (3,83%); sprinkler system (16,11%); big gun sprinkler and traveler irrigation machine (13,66%); surface irrigation (16,76%) and other handmade methods (35,52%). The classes maps to use risk for irrigation, generated starting from groundwater quality, with the following classes of use restriction for irrigation: any restriction, moderate restriction and severe restriction.

Palavras-Chave: salinidade, hidrogeologia, Aquífero Serra Grande.

INTRODUÇÃO

A região sudeste do Piauí é caracterizada como de clima semi-árido, onde a quantidade de chuvas é escassa e de forma concentrada. Neste cenário, a agricultura irrigada surge como uma das alternativas que torna possível a sustentabilidade econômica da atividade agrícola. Em função das características climáticas e geológicas da região (de origem sedimentar), a água subterrânea torna-se a única forma de reserva hídrica.

O conhecimento da qualidade da água subterrânea, relativa à concentração salina, torna-se uma ferramenta necessária ao planejamento da exploração desse recurso e ao manejo empregado, caso essa água destine-se à irrigação. A água utilizada na irrigação, mesmo que com baixos níveis de salinidade, pode acarretar um processo de salinização, caso não seja manejada corretamente (Ayres e Wescott, 1985). Cerca de 30 milhões de hectares irrigados no mundo encontram-se severamente afetados por sais (Oliveira, 1997).

Os principais fatores que interferem no potencial de salinização causada por águas subterrâneas do nordeste são: o clima (pluviometria), características no armazenamento das águas (aqüíferos livres, confinados ou fraturas) e natureza geológica (influência litológica na composição química da água) (Cruz e Melo, 1969).

No sudeste do estado do Piauí predominam basicamente três formações sedimentares, denominadas de Cabeça, Pimenteira e Serra Grande, ambas dispostas nessa ordem sob o embasamento cristalino. Para cada formação ocorre diferenciação das propriedades hidrogeológicas. Aspectos químicos, relacionados à qualidade de água para irrigação, possibilitam encontrar águas com baixíssimas concentrações iônicas até águas extremamente salinas, variando de acordo com a formação que o poço explora (CPRM, 1999). Por exemplo, poços que atingem a formação Serra Grande possibilitam a extração de água com condutividade elétrica abaixo de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto que poços que exploram águas armazenadas em fraturas do cristalino podem apresentar água com condutividade elétrica acima de 15 dS m^{-1} .

Torna-se difícil definir uma classificação para a água de irrigação que possa ser utilizada em qualquer condição ou em qualquer localização geográfica. Os riscos a serem considerados quando se avalia a adequabilidade de uma determinada água para irrigação são, principalmente, os riscos de salinização, sodificação, alcalinização por carbonatos para o solo; aspectos tóxicos em relação a cloretos e sódio, além de prejuízos ao sistema de irrigação pela alta concentração de sais de baixa solubilidade (FAO/UNESCO, 1990).

O aumento da Porcentagem de Sódio Trocável (PST) do solo pela adsorção do sódio presente na água de irrigação é um importante fator a ser considerado. A PST é a propriedade do solo que melhor se correlaciona com os efeitos do sódio na permeabilidade do solo e efeitos tóxicos deste íon nas plantas. Porém, visto que a relação de adsorção de sódio (RAS) do solo é uma boa estimativa da PST, esta tem sido utilizada para se avaliar os riscos de sodicidade (Richards, 1954). A RAS da água de irrigação pode ser utilizada como uma medida do risco de sodicidade, visto que esta pode ser correlacionada com a RAS do solo após atingido o equilíbrio dinâmico. Entretanto, a classificação da água de irrigação de acordo com o risco de problemas de infiltração de água no solo, deve estar baseada na RAS e na condutividade elétrica (CEa) da água de irrigação, levando-se em conta que quanto maior a salinidade da água, menor será o efeito dispersante do sódio, uma vez que os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito floculante, aumentando a infiltração (Ayers e Westcot, 1985).

O teor de sais em águas subterrâneas depende de sua origem, do curso sobre o qual ela flui e da composição e facilidade de dissolução do substrato em que se encontra em contato (Yaron, 1973), ou seja, da geologia da região (Shalhevet e Kamburov, 1976). Os valores de pH tendem a serem mais altos quando ocorre a presença de bicarbonatos na água (Hermes e Silva, 2002).

Elevados teores de carbonato e bicarbonato na água, quando utilizada para irrigação, podem promover a precipitação de cálcio, na forma de carbonato de cálcio, facilitando um suposto processo de sodificação do solo (Ayers e Westcot, 1985).

Os objetivos deste trabalho foram determinar as características qualitativas das águas subterrâneas na região Sudeste Piauiense, avaliar a possibilidade do uso para irrigação, determinar a porcentagem de poços onde o uso de água para irrigação é prioritário e destacar os métodos utilizados.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na região sudeste do estado do Piauí, localizada entre as latitudes 06°30'00''S e 07°58'00''S e as longitudes 40°22'00'' W e 41°48'00''W. A Figura 1 ilustra a área do levantamento, destacando-se os 29 municípios integrantes, correspondendo a um total de 13.856,31 km² (IBGE, 2002). Em parte da área estudada ocorre a maior zona de influência na recarga do aquífero Serra Grande que destaca-se pela elevada exploração para os mais diferentes fins, dentre eles a irrigação.

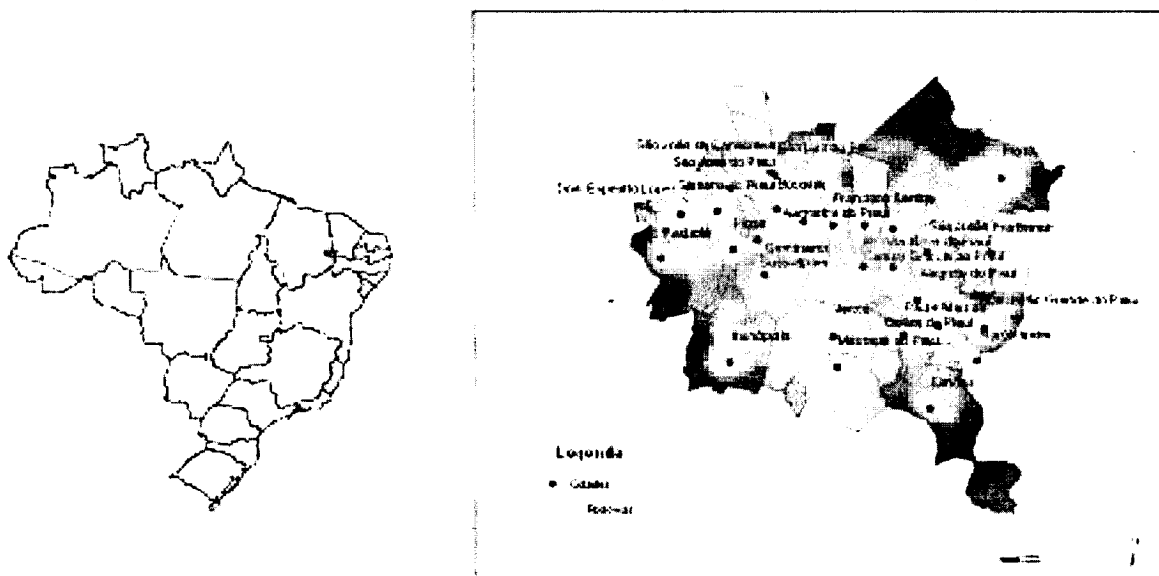


Figura 1 - Localização da área de estudo e divisão política dos municípios inseridos na região sudeste do estado do Piauí.

Os poços existentes na área do estudo foram cadastrados, inventariados e georeferenciados por intermédio de GPS de navegação, sendo verificado a presença de 2165 poços. As informações levantadas estão dispostas no questionário aplicado e apresentado na Figura 2. Além das posições

geográficas dos poços, informações referentes às características construtivas, hidrogeológicas, de uso atual e ambientais das fontes de água e de seu entorno também foram observadas. Dentre as informações levantadas nos poços, com uso prioritário à irrigação, inventariou-se o método de irrigação utilizado, apresentando-se o resultado posteriormente de forma descritiva em gráficos, com os percentuais correspondentes.

Com base nas informações dos poços e por meio de análise de agrupamento, 225 poços foram selecionados para serem avaliados em relação à qualidade físico-química da água, sendo 45 poços para cada grupo homogêneo, distribuídos espacialmente de modo a cobrir toda a área do estudo.

INFORMAÇÕES GERAIS DO POÇO	
IDENTIFICAÇÃO	...
LOCALIZAÇÃO	...
PROFUNDIDADE	...
TIPO DE POÇO	...
USO	...
...	...

INFORMAÇÕES DO USUÁRIO	
NOME DO USUÁRIO	...
ENDEREÇO	...
MUNICÍPIO	...
ESTADO	...
...	...

Figura 2 - Inventário de poços tubulares e cadastro de usuário aplicados em todas as fontes de água subterrânea da área do estudo.

Os 225 poços avaliados foram visitados na estação seca do ano de 2003, em aproximadamente duas semanas. A água de cada poço foi analisada no local por meio de sondas para determinação da qualidade de água e uma amostra de água de cada poço foi coletada para posterior análise em laboratório. As amostras coletadas corresponderam a um volume de 1 L, sendo acondicionadas em recipientes plásticos, observando-se o detalhe de preencher todo o recipiente, não possibilitando alterações na relação carbonato/bicarbonato e enviadas ao final de cada semana ao laboratório.

As seguintes variáveis foram determinadas em nível de campo: condutividade elétrica (CE) e pH por intermédio de uma sonda YSI modelo 6600; em laboratório foram determinados os seguintes íons: sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloreto (Cl), carbonato (CO_3), bicarbonato (HCO_3) e sulfato (SO_4) de acordo com os métodos propostos pela EMBRAPA (1997).

Com base na concentração desses íons foram estimados os valores de carbonato de sódio residual (CSR) proposto por Eaton (1949) e a relação de adsorção de sódio (RAS) apresentada por Yaron (1973), modelos apresentados nas equações 1 e 2, respectivamente.

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) (\text{Ca} + \text{Mg}) \quad (1)$$

sendo, as concentrações de CO_3 , HCO_3 , Ca, Mg na água expressas em $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad (2)$$

sendo, as concentrações de Na, Ca e Mg na água expressas em $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$.

Em um sistema de informações geográficas (SIG), os mapas temáticos das variáveis analisadas foram gerados, sendo utilizada a krigagem como interpolador. Foram determinadas áreas com três classes de restrição de uso de água, denominadas de nenhuma restrição, moderada restrição e severa restrição. Os limites das classes estão explícitos na Tabela 1. Na Tabela 2 estão as classes de restrição de uso para irrigação com risco de sodificação do solo, combinando a RAS e a CE da água de irrigação, visando-se evitar problemas de infiltração da água com posterior processo de sodificação do solo. Os limites das classes de restrição de uso para irrigação foram baseados nos valores determinados por Ayers e Westcot (1985). Por meio de tabulação cruzada foi gerado um mapa para indicar as áreas que possuem águas subterrâneas com características combinadas de CE e RAS possíveis de serem utilizadas.

Tabela 1 - Classes de restrição de uso da água para irrigação de acordo com a qualidade, segundo Ayers e Westcot (1985).

Variáveis	Classes de restrição de uso da água para irrigação		
	Nenhuma	Moderada	Severa
CE (dS m ⁻¹)	<0,7	0,7 a 3,0	>3,0
Na (mmol _c L ⁻¹)	<3,0	>3,0	-
Ca + Mg (mmol _c L ⁻¹)	<5,0	5,0 a 15,0	>15,0
CO ₃ (mmol _c L ⁻¹)	<0,1	0,1 a 0,2	>0,2
HCO ₃ (mmol _c L ⁻¹)	<1,5	1,5 a 8,5	>8,5
Cl (mmol _c L ⁻¹)	<3,0	>3,0	-
SO ₄ (mmol _c L ⁻¹)	<10	10 a 30	>30
CSR (mmol _c L ⁻¹)	<1,25	1,25 a 2,5	>2,5

Tabela 2 - Classes de restrição de uso da água para irrigação de acordo com a qualidade, segundo Ayers e Westcot (1985), visando-se evitar problemas de infiltração de água no solo e posterior processo de sodificação.

RAS	Classes de restrição de uso da água para irrigação		
	Nenhuma	Moderada	Severa
Conductividade elétrica (dS m ⁻¹)			
0 a 3	>0,7	0,7 a 2,0	<2,0
3 a 6	>1,2	1,2 a 0,3	<0,3
6 a 12	>1,9	1,9 a 0,5	<0,5
12 a 20	>2,9	2,9 a 1,3	<1,3
20 a 40	>5,0	5,0 a 2,9	<2,9

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em mais da metade dos poços (53,61%), a água retirada tem como uso atividades de subsistência, de caráter doméstico, ou seja, são poços particulares ou explorados por pequenas comunidades, na maioria dos casos, por intermédio de chafarizes (Figura 3). Em seqüência, com 21,17% dos poços, o uso primordial é a irrigação. O abastecimento de zonas urbanas é responsável por 16,57% dos poços e apenas 7,53% do total dos poços destina-se a uso na atividade pecuária, visando-se principalmente a dessedentação de animais. Outras atividades também são referenciadas,

correspondendo a 1,11% dos poços, salientando-se o uso com finalidade industrial com 0,10%, representando apenas duas unidades com uso primordial para atividades industriais.

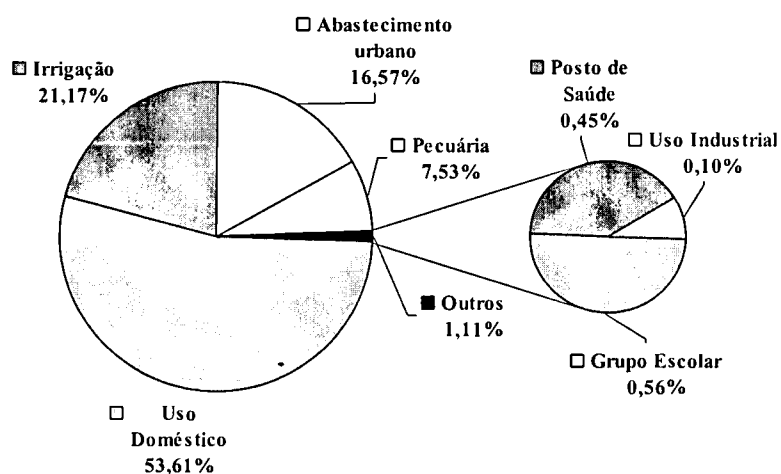


Figura 3 - Múltiplos usos das águas exploradas do Aquífero Serra Grande na microrregião de Picos.

Nos poços cadastrados, os métodos de irrigação observados foram: o gotejamento, com 14,03%; a microaspersão, com 3,83%; a aspersão convencional, com 16,11%; canhão e autopropelido, com 13,66%; irrigação por superfície, com 16,76% e outros métodos artesanais com 35,52% (Figura 4). Dentre o grupo de outros métodos artesanais, foram identificados regadores manuais, mangueiras, tubos de bambu perfurado, etc. Pode-se verificar que em mais da metade dos poços utilizados para irrigação, os métodos utilizados (por superfície + artesanais) na maioria dos casos apresentaram baixa eficiência de aplicação. Conforme relatado por Bernardo (1996), a implementação de métodos mais eficientes e de um manejo adequado podem ser considerados como ferramenta eficiente na economia de água, além de tornar possível um controle maior do processo de salinização.

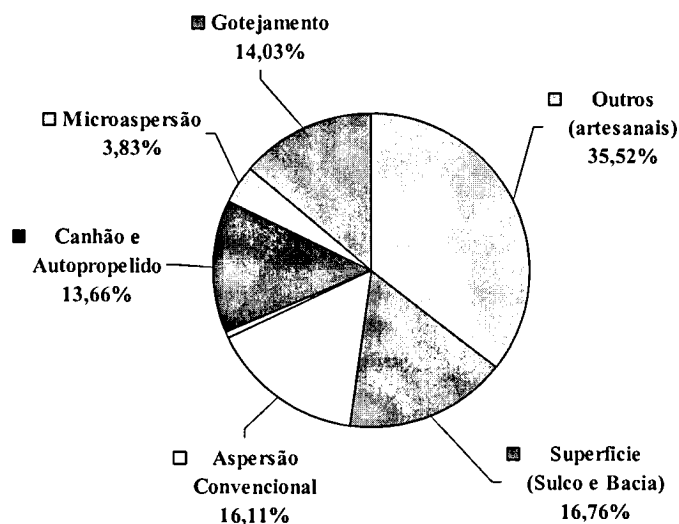


Figura 4 - Métodos de Irrigação utilizados na microrregião de Picos com água proveniente dos poços cadastrados.

A região enquadrada na classe com severa restrição para o uso de irrigação, com condutividade elétrica (CE) acima de 3 dS m^{-1} , encontra-se ao sul da área do estudo, e corresponde ao município de Simões (Figura 5). Geologicamente, a região encontra-se sobre o embasamento cristalino e a pequena quantidade de poços existentes retiram água reservada em raras fraturas. Portanto, além da qualidade inapropriada para irrigação, o potencial de vazão inviabiliza a irrigação sob qualquer aspecto.

Nas áreas classificadas com de moderada restrição, com CE entre $0,7$ e 3 dS m^{-1} , o uso da água para irrigação é dependente de técnicas específicas de manejo da irrigação, apresentadas por Medeiros e Gheyi (1997), que possibilitem um balanço de sais desejado na zona radicular, a partir de aplicações de lâminas de lixiviação. Na Figura 5, pode-se verificar que as regiões correspondentes à moderada restrição, correspondem a aproximadamente metade da área de estudo e encontra-se parte a leste, onde os poços atingem fraturas do embasamento cristalino, ou de formações sedimentares que sofrem influência do cristalino e parte sudoeste, nos municípios de Itainópolis, Paquetá e Picos, onde a maioria dos poços analisados atinge a Formação Pimenteira, na qual a água apresenta uma certa concentração de sais, como descrito pelo CPRM (1999).

A área de cor amarela representa a área onde a água subterrânea possui valores de CE abaixo de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 5), ou seja, onde não existe nenhuma restrição do uso para irrigação. Nessa região, os poços analisados extraem água da Formação Serra Grande, a qual possui excelentes características de baixa concentração de sais e de alta vazão.

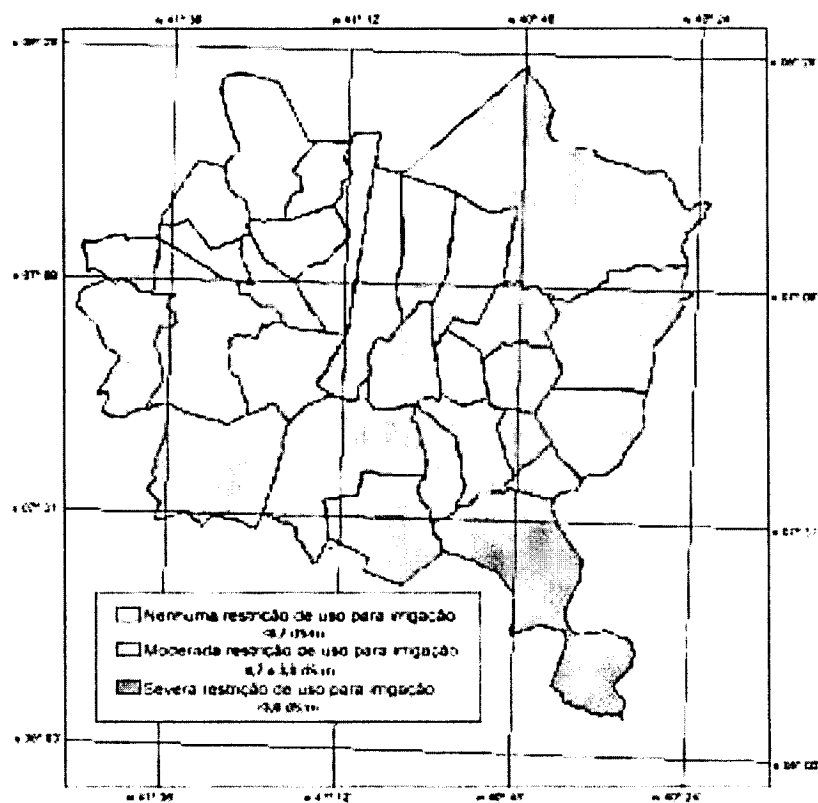


Figura 5 - Classes de restrição do uso da água para irrigação visando-se evitar a salinização do solo com base na condutividade elétrica da água subterrânea.

Observou-se que os maiores valores de condutividade elétrica (CE) estão presentes na porção leste da área estudada. Tal fato condiz com a formação geológica da região, ou seja, os valores de CE maiores que $1,20 \text{ dS m}^{-1}$ estão representados na mesma porção onde se encontra o afloramento do cristalino, mostrando uma forte interferência da geologia sobre a qualidade da água subterrânea (Shalhevet e Kamburov, 1976). Corroborando com esses resultados, Santiago et al. (1999), em estudo realizado em Picos, encontraram valores de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , evidenciando que essas águas têm alguma restrição para as atividades agrícolas, por causa do risco de salinização dos solos. Entretanto, os mesmos autores descrevem que ocorre uma progressiva redução na salinidade das águas, quando se desloca em direção ao interior da bacia, ou seja, nas porções confinadas do aquífero Serra Grande. Na região a leste de Picos, composta pelos municípios de Pio IX, Caldeirão do Piauí, Fronteiras, Marcolândia, Simões, São Julião, Alegrete, Francisco Macedo, Padre Marcos, Belém do Piauí, Vila Nova do Piauí e parte dos municípios de Campo Grande e Alagoinhas, as águas analisadas apresentaram valores de CE superiores a $1,2 \text{ dS m}^{-1}$, sugerindo que sua utilização para irrigação seja acompanhada de técnicas de controle do processo de salinização. Algumas áreas, como a parte mais a sudeste de Pio IX e o município de São Julião, valores acima de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ são encontrados restringindo o seu uso para irrigação.

As áreas com pH variando de 6,4 a 8 são apresentadas na Figura 6. Para essa variável, os valores determinados não restringem o uso da água subterrânea da área de estudo para irrigação. Ayers e Westcot (1985) citam que uma faixa normal de pH está compreendida entre valores de 6,5 a 8,4. Todavia, Nakayama (1982) cita que não existe restrição para águas com pH abaixo de 7, com restrição moderada para águas com pH entre 7 e 8 e com severa restrição para pH acima de 8, em relação à obstrução de emissores para irrigação localizada.

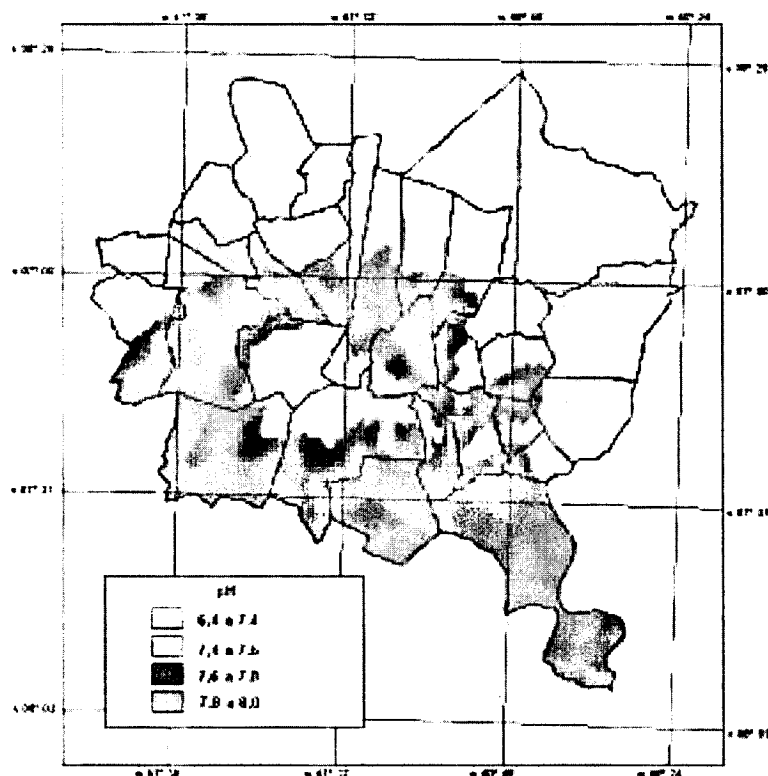


Figura 6 - Isolinhas de potencial hidrogeniônico para água subterrânea na região sudeste do Piauí.

Em relação à concentração de sódio na água subterrânea, os valores determinados e geoespacializados estão ilustrados na Figura 7. As regiões representadas pela coloração mais escura possuem concentrações que apresentam moderada restrição ao uso da água subterrânea para irrigação, em relação à toxidez das plantas, principalmente de culturas com maior sensibilidade. Os limites utilizados e sugeridos por Ayers e Westcot (1985) de $3,0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ são referentes a irrigação por aspersão, nesse caso, a toxidez passa a ser potencializada pela oportunidade do aumento na absorção via foliar.

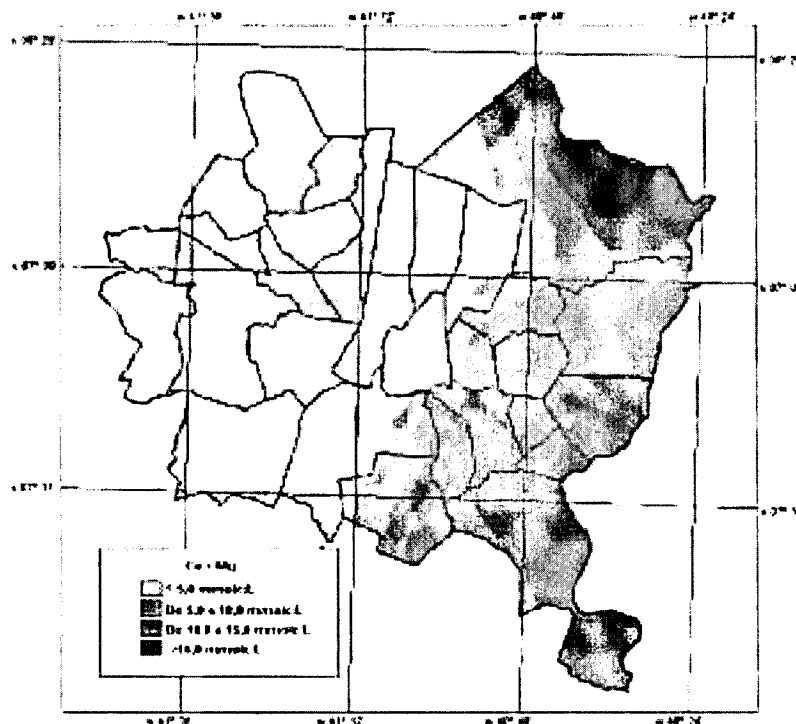


Figura 8 - Isolinhas de concentração de cálcio + magnésio para água subterrânea na região sudeste do Piauí.

As áreas com as classes de restrição ao uso da água para irrigação, em relação à concentração de carbonato (CO_3) e bicarbonato (HCO_3) na água subterrânea, estão apresentadas na Figura 9 e 10, respectivamente. A concentração de CO_3 e de HCO_3 na água subterrânea utilizada para irrigação são parâmetros importantes na avaliação do risco de sodificação do solo, visto que, estes ânions quando combinados com o cátion cálcio formam o carbonato de cálcio, sal de baixa solubilidade (Yaron, 1973). Dessa forma, a precipitação do carbonato de cálcio retira da solução parte do cálcio interferindo assim na relação de adsorção de sódio.

Na área estudada, apenas uma pequena região localizada ao sul, compreendendo os municípios de Simões e Massapê do Piauí e parte dos municípios de Jaicós e Belém do Piauí, enquadra-se dentro das classes com moderada e severa restrição de uso da água para irrigação, onde a concentração de carbonato apresenta valores superiores a $0,1 \text{ mmol/L}$.

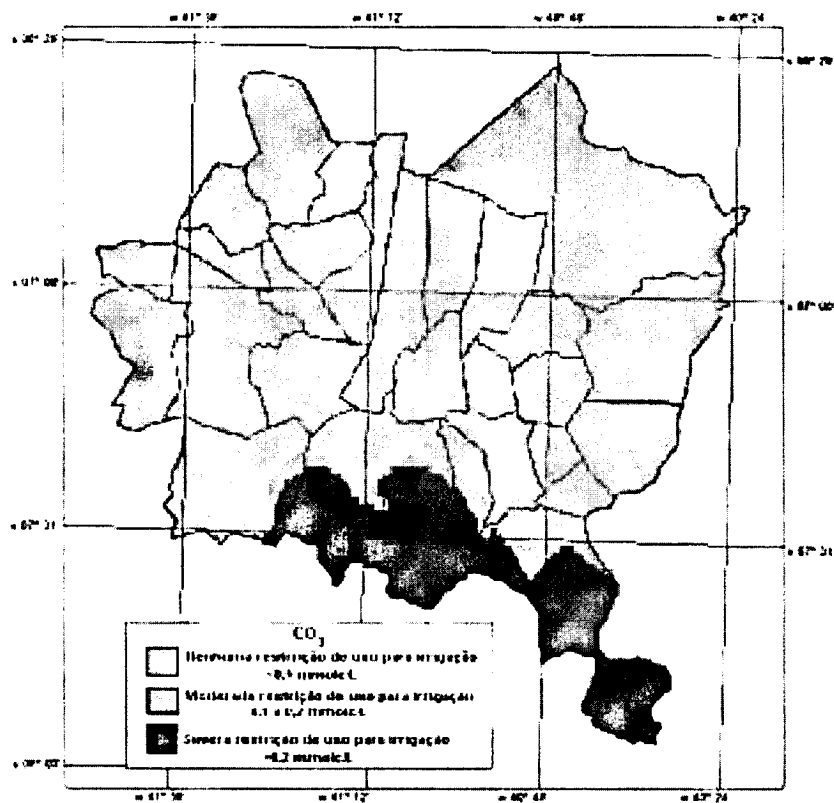


Figura 9 - Classes de restrição do uso da água para irrigação visando evitar a sodificação do solo com base na concentração de carbonato na água subterrânea.

Em relação ao íon bicarbonato, 72,3 % da área de estudo possui concentração acima de $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$, ou seja, com moderada restrição ao uso da água para irrigação. Entretanto, em grande parte dessa área, a concentração de cálcio na água subterrânea apresenta valores acima de $3,0 \text{ mmol L}^{-1}$. Nas cidades onde os valores de cálcio presentes na água não apresentam concentrações mais baixas (Itainópolis, Picos, Sussuapara e Geminiano) indica-se o monitoramento da relação de adsorção de sódio na solução do solo, utilizando corretivos sempre que necessário, como sugerido por Holanda e Amorim (1997).

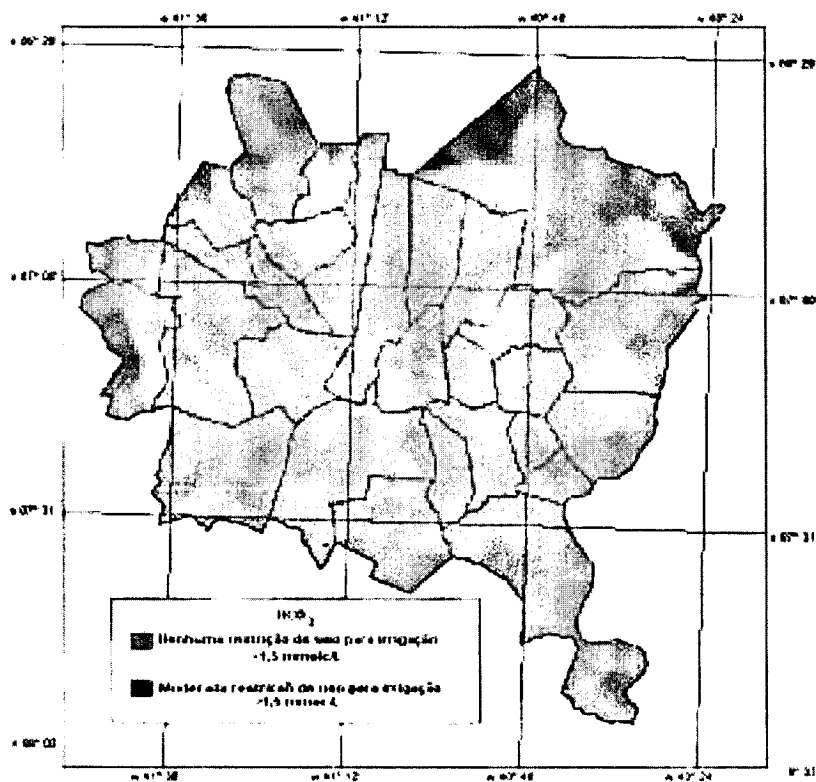


Figura 10 - Classes de restrição do uso da água para irrigação visando-se evitar a sodificação do solo com base na concentração de bicarbonato na água subterrânea.

As determinações de sulfato na água subterrânea encontram-se espacializadas na Figura 11. Segundo Ayers e Westcot (1985), os valores medidos nas águas provenientes dos poços não atingiram a concentrações que possam ser prejudiciais ao solo ou planta, mostrando-se inferiores ao limite de $20 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ como preconiza os autores. As regiões com maiores concentrações de sulfato correspondem às mesmas regiões onde a concentração de sódio mostrou-se mais elevada, todavia os valores de cálcio e de magnésio compensam o sódio encontrado, estabilizando a relação de adsorção de sódio. As concentrações de sulfato encontradas não são suficientes para promover a precipitação do cálcio na forma de sulfato de cálcio.

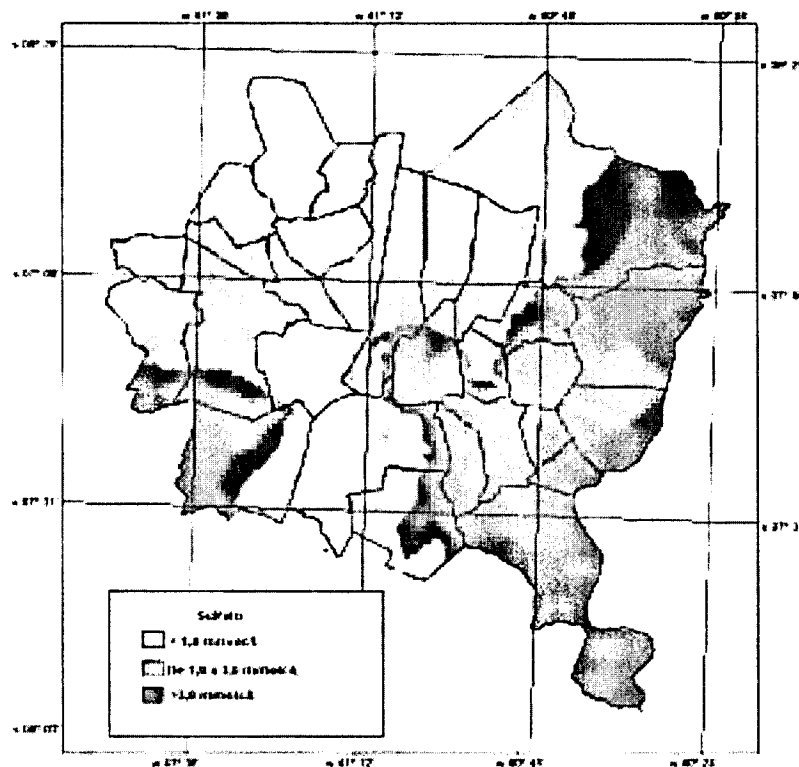


Figura 11 - Isolinhas de concentração de sulfato para água subterrânea na região sudeste do Piauí.

As áreas com diferentes classes de restrição do uso da água subterrânea para irrigação, utilizando-se sistemas de aspersão são apresentadas na Figura 11. A região representada pela cor amarela não mostra nenhuma restrição de uso, já na região mais escura, a concentração de cloreto é suficiente para possibilitar a toxidez em culturas mais sensíveis. De acordo com Ayers e Westcot (1985), a irrigação por aspersão aumenta a absorção de cloreto pela folhas, potencializando o problema.

Os valores de CSR variaram de $-17,39 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ a $4,14 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Figura 13). Os valores mais elevados ($\geq 2,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) foram encontrados nos municípios de Monsenhor Hipólito, Picos, Padre Marcos e Campo Grande. Na maioria dos municípios, os valores encontrados ficaram abaixo de $1,25 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, demonstrando que a qualidade da água é adequada para a prática da irrigação, sendo baixo o risco de impermeabilização do solo. Nas áreas em que as concentrações estão acima de $2,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, a qualidade de água é classificada como imprópria para irrigação. Nesse caso, devem ser adotadas medidas no sentido de viabilizar seu uso na irrigação, tais como a aplicação de corretivos aliados a um manejo de água adequado. Nas áreas com valores de CSR intermediários (valores entre $1,25$ e $2,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), o uso da água subterrânea, na região estudada, para fins de irrigação deve ser efetuado com cautela e mediante um monitoramento constante das conseqüências do seu uso sobre o solo.

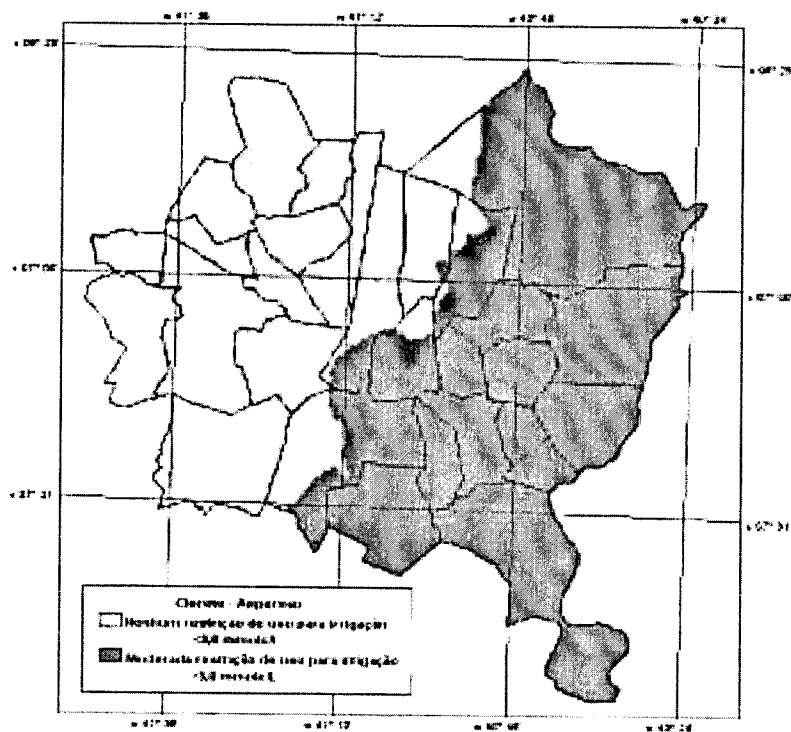


Figura 12 - Classes de restrição do uso da água para irrigação visando-se evitar a toxidez às plantas com base na concentração de cloreto na água subterrânea com sistemas de irrigação por aspersão convencional.

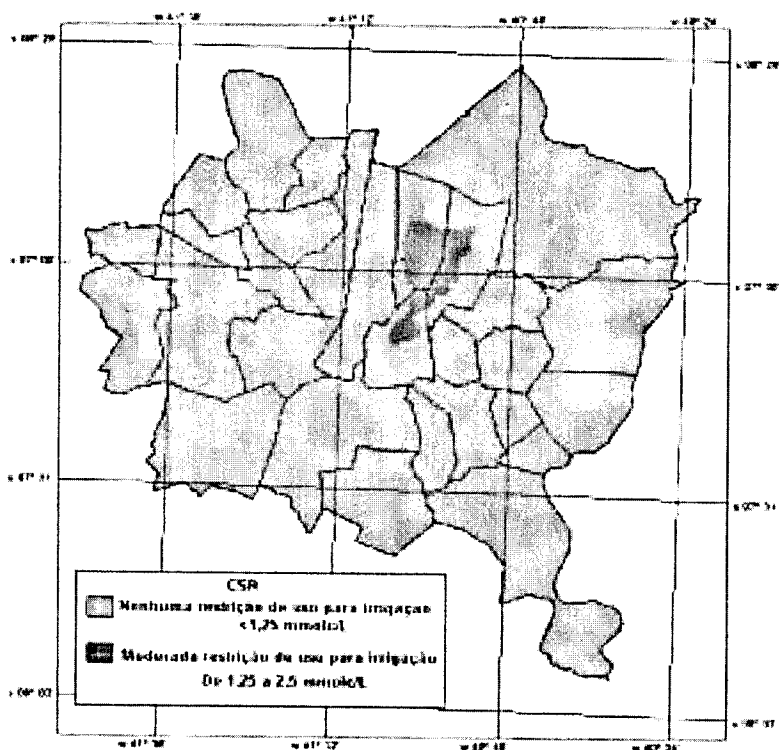


Figura 13 - Classes de restrição do uso da água para irrigação visando-se evitar a sodificação do solo com base no carbonato de sódio residual na água subterrânea.

O risco de sodificação não pode ser avaliado apenas pela concentração de sódio presente na água, tem-se de observar a relação entre este parâmetro e a concentração de cálcio e magnésio, representado pela relação de adsorção de sódio (RAS). Além disso, outros fatores podem interferir no processo como a concentração de ânions capazes de reagir com o cálcio, formando sais de baixa solubilidade, precipitando o cálcio e alterado a RAS. Outro aspecto importante é que quanto maior a salinidade da água, menor será o efeito dispersante do sódio, uma vez que os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito floculante, aumentando a infiltração e reduzindo o risco de sodificação. Na Figura 14 pode-se visualizar as áreas com as classes de restrição do uso da água para irrigação, visando evitar a sodificação do solo, com base na relação de adsorção de sódio e condutividade elétrica da água subterrânea.

Em relação a esses parâmetros de forma combinada, a parte da área representada pela coloração mais clara não apresenta nenhuma restrição de uso para irrigação, sendo de moderada restrição na área sobre o embasamento cristalino, onde deve-se utilizar técnicas que venham a reduzir o processo de sodificação. A área em preto delimita locais onde não recomenda-se o uso de água subterrânea para irrigação. As manchas estão localizadas nos municípios de Itainópolis, Picos, Alagoinha, Campo Grande e São Julião.

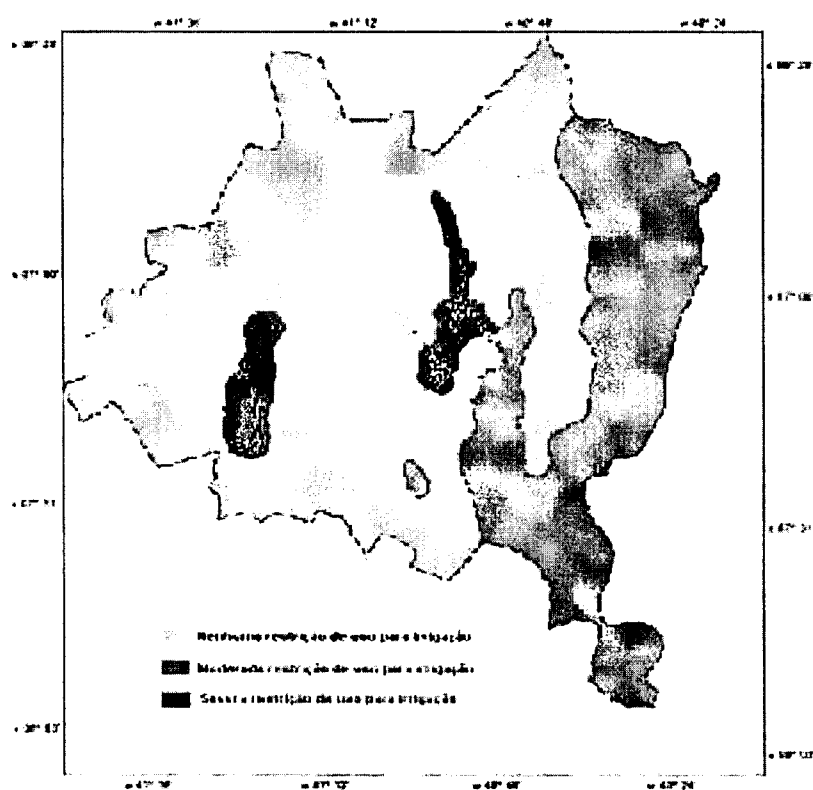


Figura 14 - Classes de restrição do uso da água para irrigação visando-se evitar a sodificação do solo com base na relação de adsorção de sódio e condutividade elétrica da água subterrânea.

CONCLUSÕES

A irrigação corresponde a uma parcela preponderante do uso da água subterrânea na região, sendo os métodos de irrigação artesanais os que mais se destacam, em relação aos métodos com técnicas mais aprimoradas, que na maioria dos casos, apresentam baixa eficiência de aplicação de água. Os mapas temáticos para os diferentes parâmetros permitem distinguir a heterogeneidade na qualidade da água subterrânea, gerando informações para futuras políticas públicas que visem incentivar o uso da água subterrânea na região sudeste do Piauí. De maneira geral, a porção leste da área de estudo apresenta um maior número de parâmetros que restringem severamente o uso de água subterrânea para irrigação, locais onde os poços exploram água de fraturas presentes no embasamento cristalino. Na parte mais central a ótima qualidade de água, extraída por poços que atingem a Formação Serra Grande permitem o uso da água subterrânea para irrigação sem maiores conseqüências sobre a salinização e sodificação do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *Water quality for agriculture*. Roma: FAO, 1985. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1)
- [2] BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6 ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 1996. 657p.
- [3] CPRM. *Projeto hidrogeológico do Piauí II – bases municipais/perfil hidrogeológico do município de Picos*. Série Hidrogeologia - informações básicas, v. 24. Teresina, 1999. 32p.
- [4] CRUZ, W. B.; MELO, F. A. C. F. de. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. In: *Boletim de Recursos Naturais – SUDENE*. v. 7., n. 1/4, p. 7-40, jan./dez., 1969.
- [5] FAO/UNESCO. *Irrigation, drainage and salinity: an international source book*. Paris: UNESCO/Hutchinson, 1973. cap. 7, p. 177-205: Quality of irrigation water.
- [6] EATON, F.M. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science*, v. 60, p. 123-133, 1949.
- [7] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- [8] HERMES, L.C.; SILVA, A.S. *Parâmetros básicos para avaliação da qualidade das águas: análise e seu significado ambiental*. Jaguariúna, 2002. 32p.

- [9] HOLANDA, J.S.; AMORIM, J.R.A. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ; J.E.; MEDEIROS, J.F. *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande:UFPB, 1997. p. 137-169.
- [10] IBGE. *Base de informações municipais*.(CD-ROM). 3.ed. Rio de Janeiro, 2002.
- [11] MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ; J.E.; MEDEIROS, J.F. *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande:UFPB, 1997. p. 239-287.
- [12] NAKAYAMA, F.S. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. In: *Proceedings Irrigation Association Conference*. Portland, 1982, p.21-24.
- [13] OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ; J.E.; MEDEIROS, J.F. *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande:UFPB, 1997. p. 1-35.
- [14] RICHARDS, L.A. (Ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60)
- [15] SANTIAGO, M. M. F.; BATISTA, J. R; FRISCHKORN, H; BATISTA, J. R. X, J; MENDES FILHO, J., SANTIAGO, R. S. Mudanças na composição química das águas subterrâneas do município de Picos-PI. In: *XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS*, 1999, Belo Horizonte/MG. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (CD-ROM). ABRH, 1999.
- [16] SHALHEVET, J.; KAMBUROV, J. *Irrigation and salinity: a worldwide survey*. New Delhi: International Commission on Irrigation and Drainage, 1976. 106p.
- [17] YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, E.; DANFORS, E.; VAADID, Y. (eds.) *Arid zone irrigation*. Berlin: Springer-Verlag, 1973. cap. 4, p. 71-85. (Ecological Studies, 5)