

# ATLAS DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SERGIPE COM FINS DE IRRIGAÇÃO

Ronaldo Souza Resende  
Marcus Aurélio Soares Cruz  
Julio Roberto Araujo de Amorim

Outubro/2009



Exemplares desta publicação podem ser encontrados na:

Embrapa Tabuleiros Costeiros

AV. Beira-mar, 3250, Caixa Postal 44, CEP 49001-970, Aracaju, SE

Tel (0\*\*79) 4009-1300 | Fax (0\*\*79) 4009-1369

E\_mail: sac@cpatc.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Ronaldo Souza Resende

Secretária-Executiva: Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues

Membros: Ana da Silva Lédo, Ana Veruska Cruz da Silva Muniz, Flávia Karine Nunes Pithan, Hymerson Costa Azevedo, Julio Roberto Araujo de Amorim, Semíramis Ralbe Ramalho Ramos.

Supervisão Editorial: Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues

Editoração eletrônica : Sandra Helena dos Santos

Ficha catalográfica: Josete Cunha Melo

Criação da capa: Sandra Helena dos Santos

Fotos da capa: Embrapa Tabuleiros Costeiros e DNOCS

1ª Edição

1ª Impressão (2009): 200 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Resende, Ronaldo Souza

Atlas de qualidade da água subterrânea no estado de Sergipe com fins de irrigação / Ronaldo de Souza Resende, Marcus Aurélio Soares Cruz, Julio Roberto Araujo de Amorim. – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.

46 p. : il. color.

ISBN 978-8585809-36-2

1. Água. 2. Potencial hídrico. 3. Recurso hídrico. 4. Irrigação. 5. Sergipe. I. Cruz, Marcus Aurélio Soares. II. Amorim, Julio Roberto Araujo. III. Título.

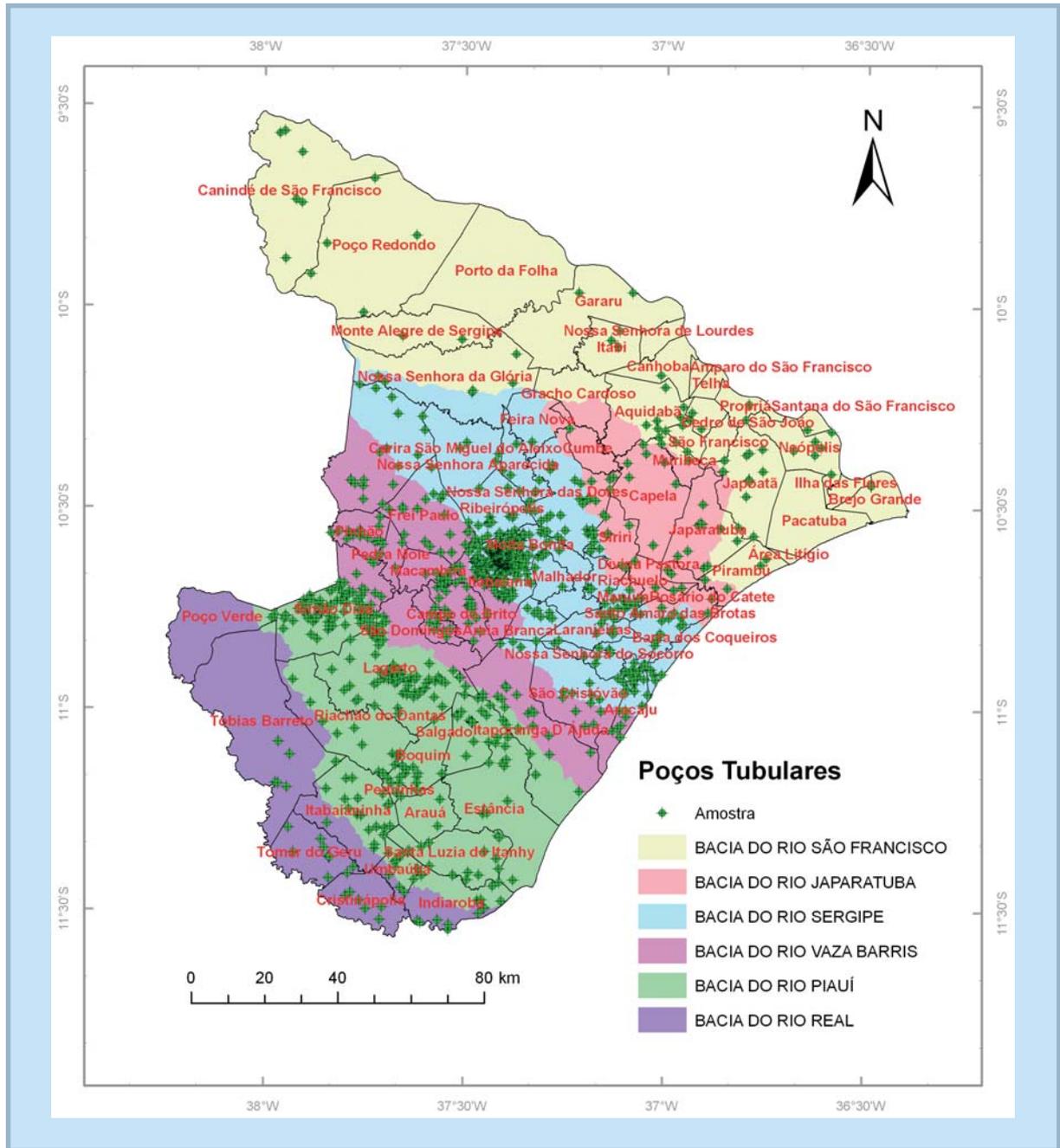
CDD 631.4

# Apresentação

A água subterrânea constitui-se hoje na reserva hídrica mais valiosa do planeta, haja vista os impactos ambientais correntes característicos dos mananciais superficiais, que restringem os seus usos múltiplos. No entanto, a importância desse recurso não tem sido acompanhada por uma preocupação com a gestão da sua exploração, principalmente no que se refere às vazões exploradas e à qualidade das águas utilizadas.

O papel do gestor dos recursos hídricos concentra-se na tomada de decisão sobre prioridades de uso da água e adequação das suas características físicas, químicas e biológicas aos diversos usos outorgados. Esse processo demanda um conhecimento especializado de parâmetros qualitativos e quantitativos relacionados à água que permitam ao decisor determinar usos e distribuir investimentos.

A irrigação de culturas é um dos diversos usos dados à água subterrânea no estado de Sergipe, aspecto dentro do qual se concentra este trabalho. O estado de Sergipe situa-se parcialmente na região denominada de Polígono das Secas, que se caracteriza pela escassez hídrica resultante da má distribuição anual das precipitações, intensificando as buscas pelas águas subterrâneas para suprir as necessidades de água para irrigação. Assim, este estudo contempla a consolidação de um banco de dados georreferenciado para parâmetros físico-químicos de qualidade das águas subterrâneas a partir da utilização de um Sistema de Informações Geográficas.



# Sumário

<b>Por que um atlas de águas subterrâneas em Sergipe?</b> .....	06
<b>Variáveis quali-quantitativas das águas subterrâneas</b> .....	07
pH.....	08
Condutividade elétrica.....	10
Cloreto.....	12
Bicarbonato e sulfato.....	14
Cálcio e magnésio.....	16
Sódio e razão de adsorção de sódio.....	18
Índice de saturação de cálcio.....	20
Ferro total.....	22
Vazão, profundidade, nível estático e nível dinâmico.....	24
<b>Mapas de restrição de uso das águas subterrâneas para irrigação</b> .....	27
Salinidade - condutividade elétrica.....	28
Toxicidade às culturas - cloreto.....	30
Toxicidade às culturas - bicarbonato.....	32
Toxicidade às culturas - sódio.....	34
Sodicidade - condutividade elétrica e RAS .....	36
Obstrução de sistemas de irrigação - ferro total.....	38
Obstrução de sistemas de irrigação - Índice de saturação de cálcio.....	40
Graus de restrição de uso das águas subterrâneas em irrigação.....	42
<b>Conclusões</b> .....	44
<b>Referências</b> .....	45

## Por que um atlas de águas subterrâneas em Sergipe?

A água subterrânea no estado de Sergipe representa uma reserva hídrica de grande potencial e em crescente exploração. Cadastros realizados recentemente pelo Serviço Geológico do Brasil contabilizam cerca de 3900 poços tubulares no estado de Sergipe, sendo que destes cerca de 1800 encontram-se em funcionamento.

Avaliando-se as densidades médias verifica-se que existem aproximadamente 0,18 poços por km<sup>2</sup> considerando todo o estado, no entanto esta densidade aumenta para 0,90 poços por km<sup>2</sup> ao se considerar os municípios da região central, como Itabaiana, Moita Bonita, Ribeirópolis e Campo do Brito. Somente em Itabaiana, por exemplo, existem 688 poços cadastrados, resultando em cerca de 2,0 poços por km<sup>2</sup>.

Associada a uma distribuição irregular, existe uma grande variabilidade de usos para as águas provenientes de poços no estado, destacando-se abastecimento doméstico, dessedentação de animais e irrigação, que apresentam intensidades de uso variáveis segundo as atividades predominantes e as características físico-químicas das águas em cada região. Observa-se que apenas cerca de 16% dos poços tubulares em funcionamento no estado fornecem água que tem entre os seus usos a irrigação, embora a sua grande maioria, se restrinja a pequenas hortas. Isto pode ser resultado também da ausência de estudos de avaliação dos potenciais de exploração dos aquíferos existentes. Neste sentido, a análise espacial da informação possibilita a caracterização quali-quantitativa distribuída do recurso hídrico de uma região, gerando subsídio para a tomada de decisão quanto aos potenciais usos da água.

A utilização de um sistema de informações geográficas para a caracterização de parâmetros de qualidade da água subterrânea em bacias hidrográficas produz elementos de apoio ao processo de tomada de decisão com relação aos usos diversos deste recurso.

A água utilizada para fins de irrigação deve possuir características físico-químicas que permitam a sua adequada aplicação pelos sistemas de irrigação, evitando a ocorrência gradual da obstrução dos sistemas, por exemplo, e que não provoquem impactos nas culturas e no solo, tais como toxicidade para as plantas, sodificação e salinização dos solos. Assim o trabalho buscará caracterizar e classificar regiões do estado de Sergipe segundo os riscos envolvidos com o uso das águas subterrâneas, considerando as variáveis medidas e gerando índices comparativos a partir da distribuição espacial destas variáveis.

A espacialização das informações de interesse foi realizada através da geração de mapas interpolados segundo funções matemáticas de melhor ajuste, considerando a dependência espacial da informação amostrada. Neste caso foram avaliadas as funções disponíveis e selecionadas aquelas que melhor representam o comportamento do atributo avaliado na região com a minimização de erros.

Adicionalmente, embora com direcionamento para o uso na irrigação, o presente trabalho de estruturação do banco de dados pode servir de suporte para realização de estudos posteriores direcionados para qualidade de água para consumo humano, dessedentação animal e industrial. Neste estudo foram avaliadas espacialmente as características das águas subterrâneas diretamente relacionadas ao uso para irrigação, com fins ao desenvolvimento de políticas de incentivo ao crescimento sustentável do agronegócio no estado.

## Variáveis quali-quantitativas das águas subterrâneas

O Atlas de Qualidade da Água Subterrânea no Estado de Sergipe com fins de Irrigação consiste da apresentação de mapas temáticos produzidos a partir da consolidação das informações das bases de dados secundários, sintetizados em um banco de dados único e submetidos a tratamento estatístico e geoestatístico. Foram utilizados os bancos de dados existentes na Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe – COHIDRO, vinculada à Secretaria de Desenvolvimento da Agricultura e Pesca do Estado de Sergipe - SEAGRI e da Superintendência de Recursos Hídricos – SRH, órgão vinculado à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Os bancos de dados da COHIDRO e da SRH somam, aproximadamente, 1.200 análises físico-químicas de água de poços tubulares profundos, sendo estruturados em planilha de dados do software Excel®.

A base de dados foi composta pelas informações de georrefenciamento, dados cadastrais disponíveis além das variáveis de trabalho que foram utilizadas para a confecção dos mapas temáticos. Estas variáveis são aquelas componentes das análises físico-químicas de rotina: sólidos totais ( $105^{\circ}\text{C}$ ), dureza total (EDTA) (expressa em  $\text{CaCO}_3$ ), amônia livre (expressa em N), bicarbonatos (expresso em  $\text{HCO}_3^-$ ), cálcio (expresso em  $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio (expresso em  $\text{Mg}^{2+}$ ), ferro total (expresso em  $\text{Fe}^{3+}$ ), sulfatos (expressos em  $\text{SO}_4^{2-}$ ), sódio (expresso em  $\text{Na}^+$ ), cloro (expresso em Cl), pH e condutividade elétrica. Uma vez que as análises que compõem os bancos de dados base foram obtidas em diferentes épocas, a variabilidade temporal de qualidade da água não se constituirá em restrição aos objetivos do trabalho. Foi considerada a hipótese de não-tendenciosidade dos dados em relação às épocas de amostragem, devendo as diferenças nos resultados serem atribuídas somente à variabilidade espacial. Constituíram também variáveis de trabalho, além daquelas qualitativas, as características físicas do poço (vazão, profundidade, nível estático e nível dinâmico).

## pH

O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou de alcalinidade de um determinado ambiente (Ayers & Westcot, 1994). É medido em uma escala adimensional que varia de 0 a 14, sendo 7 considerado o valor correspondente à neutralidade e valores abaixo e acima desse valor correspondendo ao caráter ácido e básico, respectivamente.

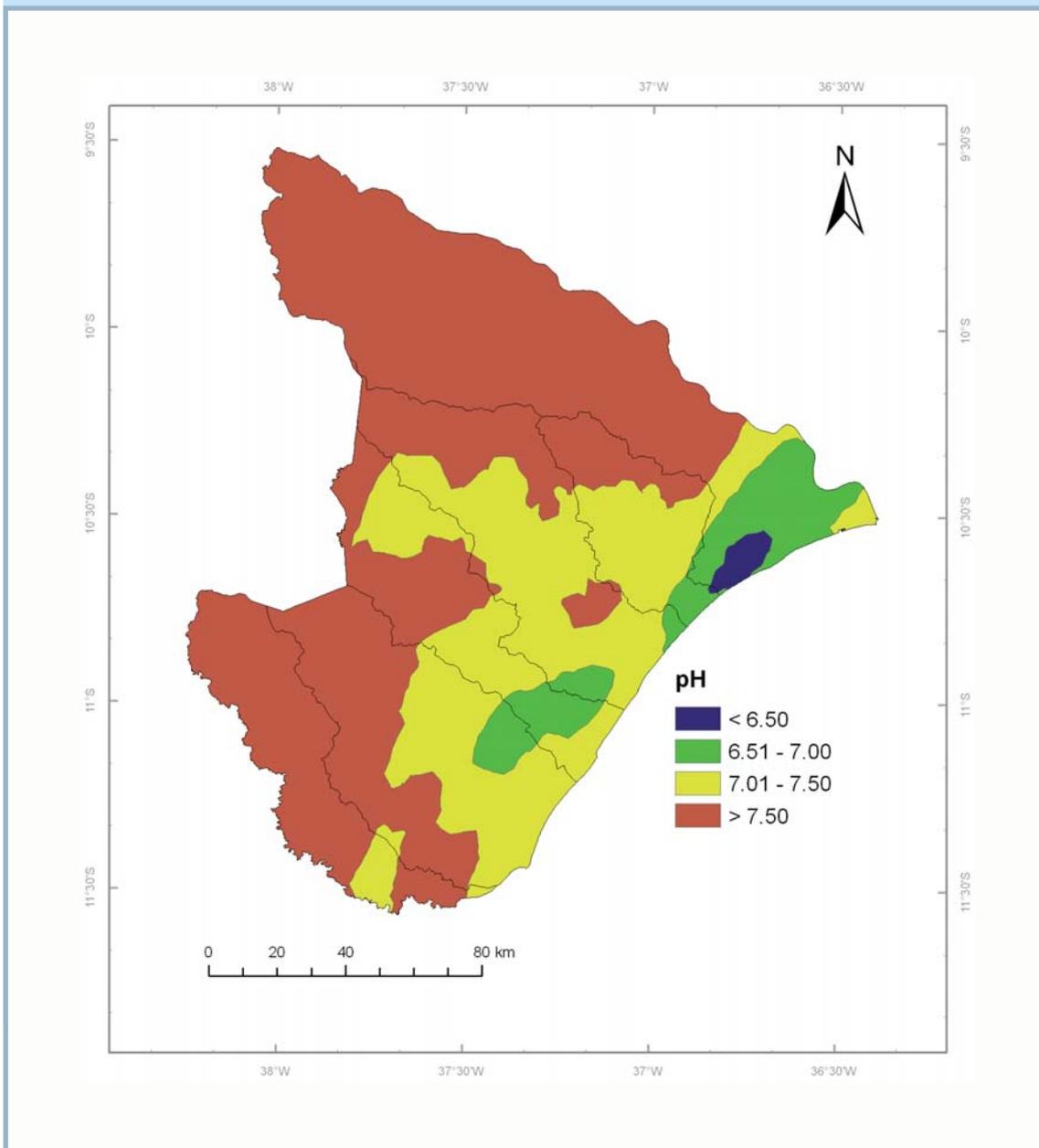
Os valores médios de pH para as bacias do Estado variam de 7,3 a 7,8, sendo que a bacia do rio Real apresenta águas com valor médio mais elevado. Embora a variabilidade do valor médio entre as bacias se mostre baixa, ela é elevada quando se leva em conta cada bacia em particular, mesmo considerando que os dados são naturalmente normalizados, em função da escala logarítmica do pH. Os menores valores são observados nas bacias dos rios São Francisco e Sergipe enquanto os maiores valores estão nas bacias dos rios Vaza-Barris, Piauí e Real.

A análise de frequência evidencia que o caráter levemente alcalino predomina na água subterrânea do Estado, dado que, de modo geral, 75% dos poços apresentam pH acima de 7,0.

A análise espacial mostra que esse caráter alcalino corresponde a aproximadamente 91% da área do Estado sendo mais evidente na região oeste, onde os valores de pH se encontram na faixa de 7,5 a 8,0. Um caráter levemente ácido se apresenta apenas 9% da área do estado, abrangendo parte dos municípios de Neópolis, Brejo Grande, Japoatã, Pacatuba, Japaratuba, Ilha das Flores, Pirambu, Santo Amaro da Brotas, São Cristóvão, Itaporanga D'Ajuda e Estância, onde o pH varia de 6,0 a 7,0. Verifica-se um crescimento de valores à medida que se desloca do litoral para o interior. A existência de águas com maior pH na região semi-árida pode ser reflexo da presença de rochas cársticas em determinados locais e predominância de aquíferos fraturados, com maior potencial de elevação da alcalinidade. Os valores mais baixos situaram-se na bacia do rio São Francisco próximo ao litoral e na porção intermediária da bacia do rio Vaza-Barris.

De um modo geral a águas subterrâneas se apresentam muito próximas da neutralidade, não constituindo problemas para a maioria das culturas, como também com baixa probabilidade de causar problemas relacionados à corrosão, principalmente em tubulações ou estruturas hidráulicas de concreto.

# pH



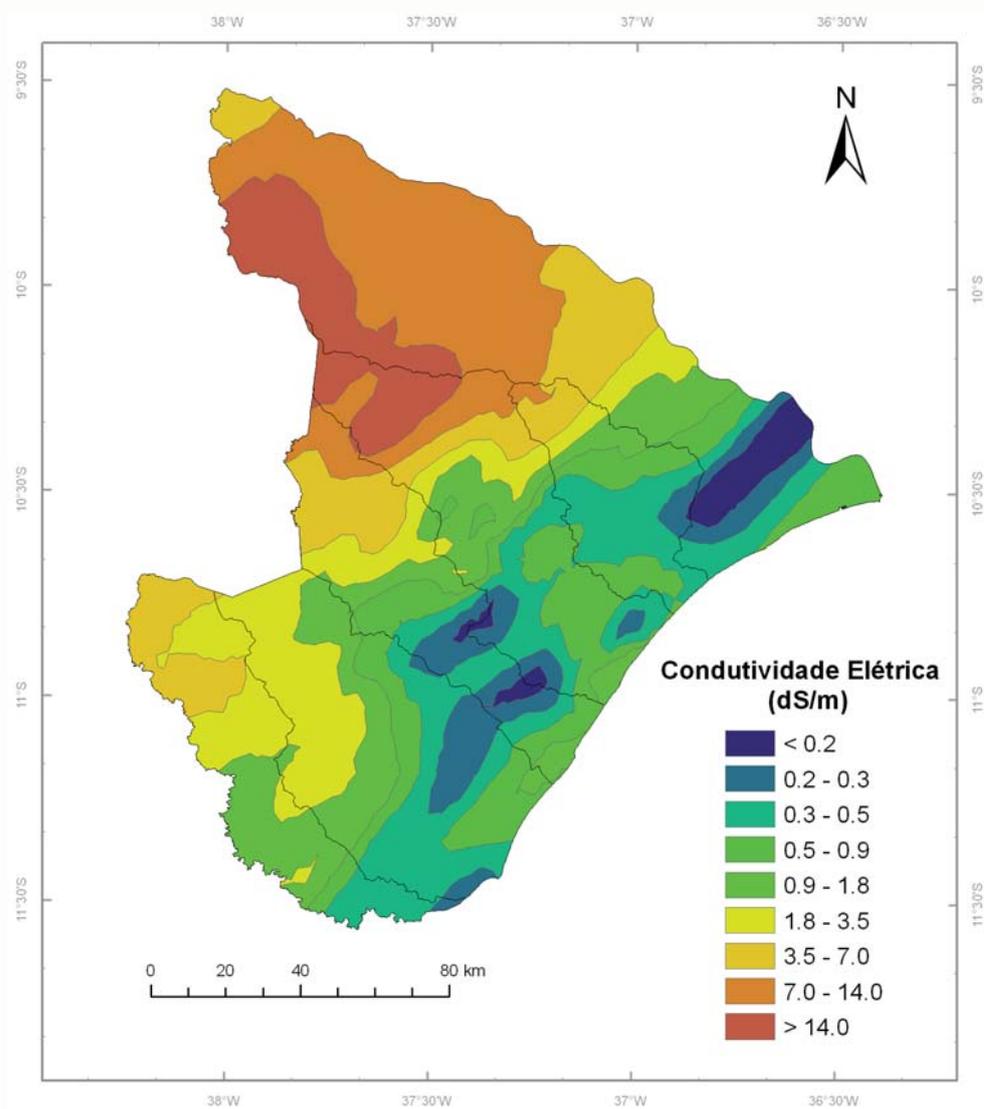
## Condutividade elétrica

A condutividade elétrica está relacionada à facilidade que uma determinada água apresenta em conduzir uma corrente elétrica. Essa facilidade está diretamente vinculada tanto ao quantitativo de sais dissolvidos na água como à espécie salina predominante, sendo então a medida mais utilizada para estimar o teor total de sais contido nas águas. É medida em deciSiemens por metro ( $\text{dS m}^{-1}$ ) a  $25^\circ\text{C}$ , sendo essa unidade o padrão atualmente adotado. Em termos de valores médios, a bacia do rio Japarutuba apresenta águas subterrâneas com os menores valores de salinidade, com valor médio de  $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a do rio São Francisco e a do rio Vaza-Barris apresentam os valores mais elevados de salinidade. A variabilidade dos valores de CE é elevada tanto entre as bacias como dentro de cada bacia, sendo que a variabilidade se apresenta notadamente no sentido Leste-Oeste (aumentando à medida que se afasta do litoral para o interior do Estado).

Considerando em termos de valores médios, apenas a bacia do rio Japarutuba apresenta água subterrânea sem qualquer restrição de uso para irrigação de culturas sensíveis, como o tomate, o repolho e os citros (águas com valores de CE menor que  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ ). No entanto, em função da elevada variabilidade dos dados, uma visão mais realística é dada quando se observa os valores correspondentes a cada Quartil dos dados. Nesse caso, observa-se que em todas as bacias, com exceção da do rio Vaza-Barris, 50% dos poços (mediana) apresentam valores de CE menores que  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ .

A distribuição espacial da variável CE mostrou-se de acordo com a tendência predominante de aumento no sentido litoral-interior do Estado. Segundo as regiões delimitadas, apenas 31% da área do Estado podem ser consideradas livres de restrições à irrigação, principalmente na porção intermediária chegando ao litoral. Observa-se que as principais concentrações localizaram-se nas bacias dos rios Sergipe, Japarutuba e São Francisco, em suas porções norte-noroeste. A transição entre os domínios hidrogeológicos está bem caracterizada nesta variável, com mudança gradual de valores de CE ao passar da predominância de aquíferos granulares para fissurais e fissurais-cársticos. Observa-se neste caso também a influência de uma região intermediária, nas bacias dos rios Sergipe e Japarutuba, composta por aquífero do tipo fissural-cárstico, nos valores de CE mais altos na porção anterior à faixa litorânea destas bacias.

## Condutividade elétrica

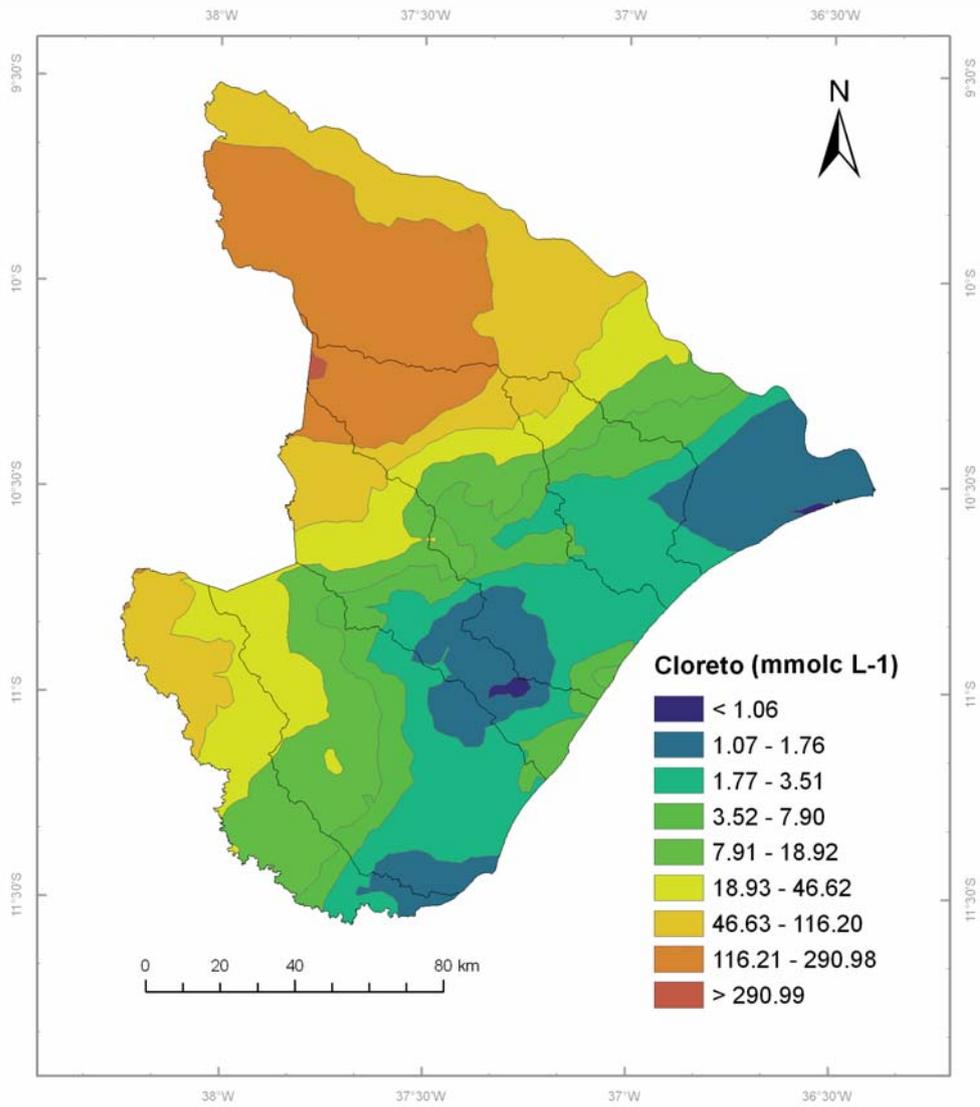


## Cloreto

Em termos médios, a concentração do íon cloreto se mostra elevada, situando-se acima do limite de restrição severa de acordo com a classificação FAO, tanto para uso da água em sistemas de irrigação em que a água molhe toda a folhagem (irrigação por aspersão) como naqueles em que a água não tenha contato com a superfície foliar (irrigação por sulco ou gotejamento, p. ex.). Com exceção da bacia do rio Japaratuba, nas demais bacias 75% dos valores observados encontram-se acima de  $10 \text{ mmol L}^{-1}$ , ou seja, com grau de restrição severa, mesmo para sistemas por gotejamento. Os valores mais elevados são observados nas bacias dos rios São Francisco e Vaza-Barris.

As concentrações do íon cloreto seguiram a tendência das variáveis anteriores, aumentando no sentido litoral-interior. Os valores mais altos situaram-se na região noroeste e centro-noroeste das bacias dos rios Sergipe e São Francisco respectivamente. Assim como nos casos anteriores a região das bacias inserida no Polígono Semi-árido, sendo composta em sua grande maioria por aquífero fissural, confirma a sua maior suscetibilidade à elevação da concentração de sais na água subterrânea. Já as menores concentrações localizaram-se próximo aos limites das bacias dos rios São Francisco, Piauí e Japaratuba com o oceano e na região intermediária entre o Semi-árido e o litoral, nas bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris. Verificou-se a ocorrência de valores médios a altos junto ao litoral nas bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris. Tal ocorrência pode ser justificada pela presença de contaminação de alguns poços por água marinha.

# Cloreto



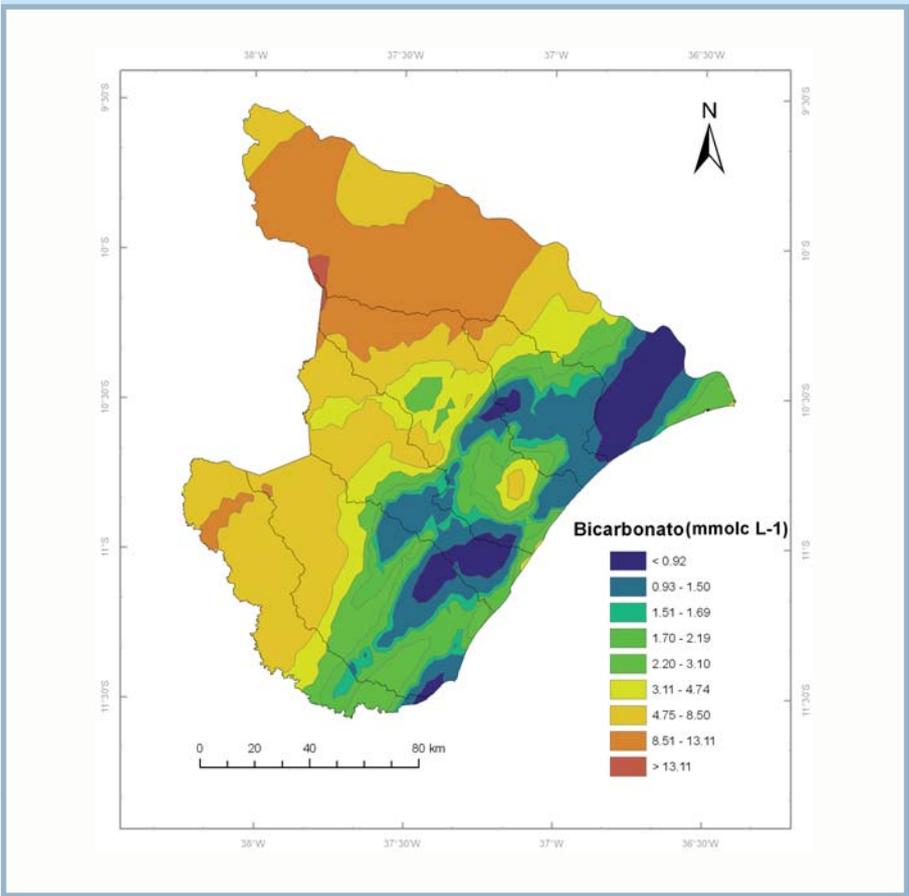
## Bicarbonato e sulfato

Os maiores teores de bicarbonato e sulfato são encontrados na bacia do rio São Francisco, com valor médio de 4,2 e 3,4  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ , respectivamente. Para o Estado de Sergipe, com exceção das águas da bacia do rio Japarutuba, apenas 25% dos poços, aproximadamente, apresentam teores de bicarbonato que podem ser considerados como de Nenhum Risco de causar fitotoxicidade, quando utilizando sistemas de irrigação por aspersão, conforme classificação da FAO.

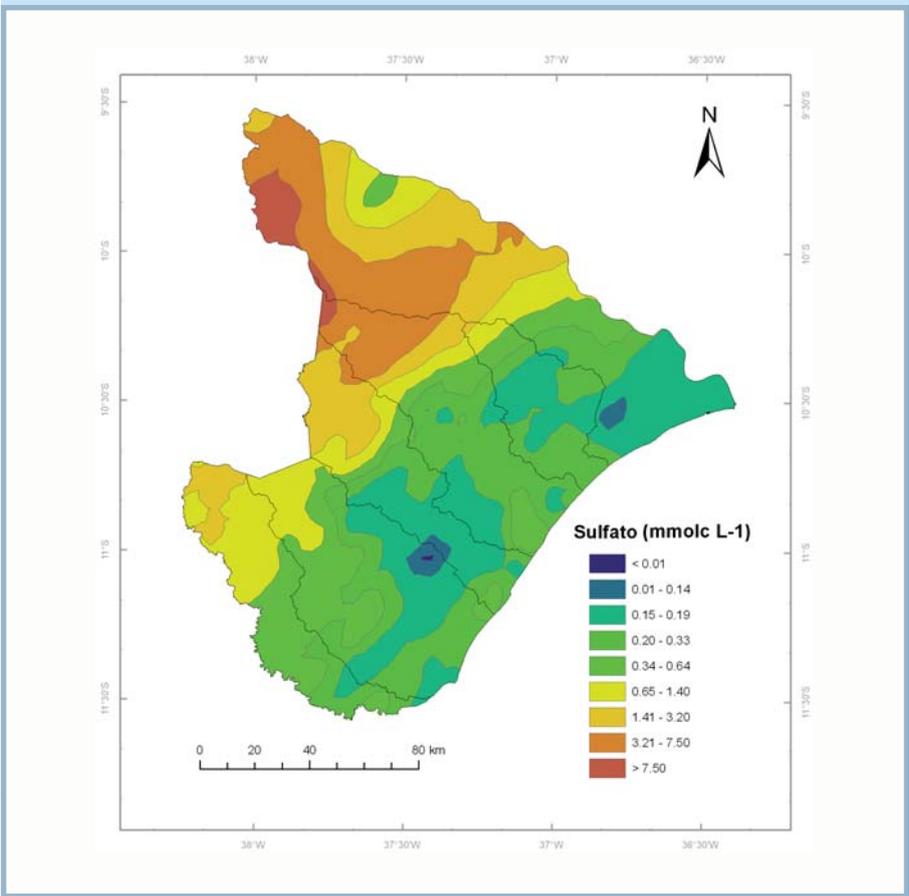
Assim como para cálcio, verifica-se que as concentrações de bicarbonato apresentam crescimento gradual do litoral para o interior do Estado, com valores mais altos na região Semi-árida. As bacias dos rios São Francisco e Sergipe apresentam em suas porções norte-noroeste as concentrações mais críticas. Os menores valores situaram-se junto ao litoral em praticamente todas as bacias. Ressalte-se a existência de uma região de valor intermediário-alto de concentração de bicarbonato próximo ao litoral na bacia do rio Sergipe. Esta região coincide com o aquífero cárstico ali predominante, isolado dentro do grande aquífero granular da região litorânea.

As concentrações de sulfato apresentaram aumentos significativos no sentido do litoral para o interior do Estado. Os maiores valores ficaram localizados na porção noroeste extrema da bacia do rio São Francisco, com registro dos menores valores junto ao litoral, avançando bastante para o interior até aproximadamente o limite da região semi-árida.

# Bicarbonato



# Sulfato



## Cálcio e magnésio

Os íons cálcio e magnésio são analisados conjuntamente dados os mesmos constituírem um efeito balanceador em relação ao do íon sódio no solo e sua relação com os íons bicarbonato e sulfato no potencial de formação de precipitados na água que podem redundar em entupimento de tubulações, gotejadores e microaspersores.

A bacia do rio São Francisco apresenta águas com os níveis médios mais elevados tanto de cálcio como de magnésio. Da mesma forma que para os demais íons, a variabilidade do íon cálcio e magnésio é elevada nas bacias, com a principal direção da variação ocorrendo no sentido leste-oeste.

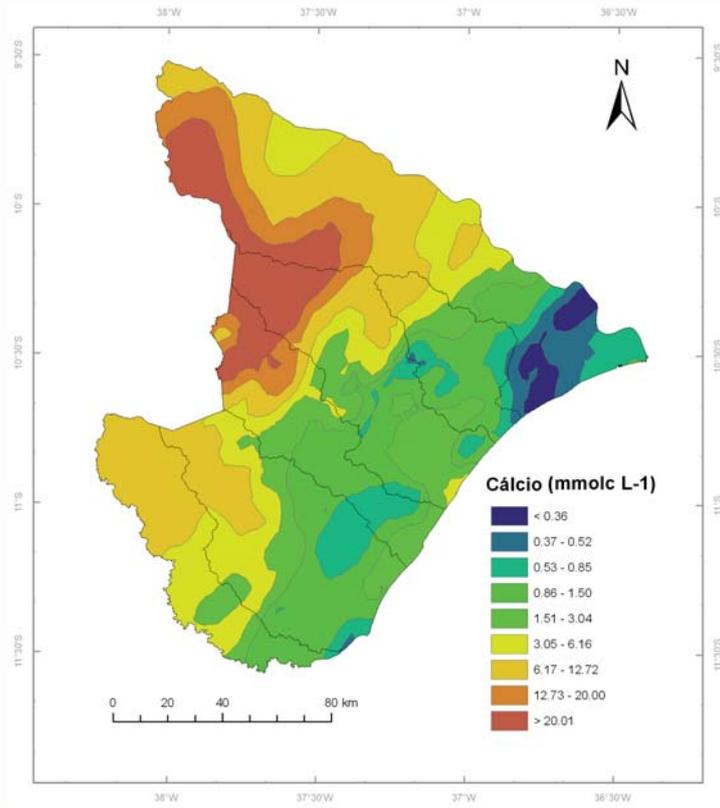
A relação entre os valores de cálcio e magnésio é considerada como de elevada influencia nos problemas de infiltração da água no solo causados pelo íon sódio. Em termos de valores médios, essa relação é 0,49; 0,80; 0,61; 1,18; 1,10; 0,75 e 0,79, para as bacias dos rios S. Francisco, Japaratuba, Sergipe, Vaza-barris, Piauí, Real e para o Estado de Sergipe, como um todo. Considera-se que uma determinada RAS pode ser mais prejudicial ao solo se a relação Ca/Mg for menor que a unidade (Ayers e Westcott, 1994); nesse sentido, Szabolcs & Darab (1964), citado por Kovda et al. (1973), consideram que um elevado nível de dano ocorre quando essa relação atinge 0,5. Sintomas de deficiência de cálcio podem também ocorrer em plantas, dado a mais alta adsorção preferencial do magnésio em relação ao cálcio. Vê-se que apenas nas bacias dos rios Vaza-barris e Piauí a relação supera a unidade, devendo-se monitorar com mais atenção a nutrição da planta com relação ao cálcio, quando do uso da água subterrânea para irrigação nas bacias onde a relação Ca/Mg se apresenta menor que a unidade. Essa atenção deve ser redobrada no caso da bacia do rio São Francisco.

Em regiões áridas, o cálcio constitui o principal responsável por entupimento de emissores (em irrigação localizada) e tubulações. A precipitação de carbonato de cálcio mostra-se freqüente em águas ricas em cálcio e bicarbonato (Gilbert & Ford, 1986).

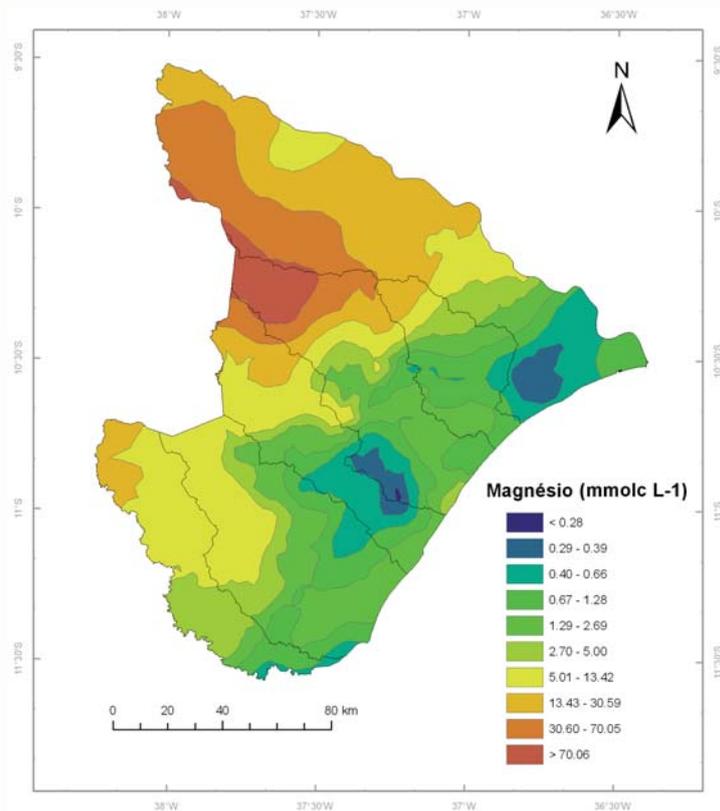
Observa-se uma tendência clara de aumento nas concentrações do íon cálcio no sentido litoral-interior do Estado, com os valores mais altos ocorrendo na região Semi-árida. As concentrações mais críticas ocorrem nas porções de extremo noroeste nas bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris e centro-noroeste da bacia do rio São Francisco. As menores concentrações situaram-se na região próxima à foz do rio São Francisco. Percebe-se claramente uma correlação entre o mapa de distribuição espacial das concentrações de cálcio e a formação hidrogeológica do estado, uma vez que ocorre um aumento gradual nos valores das concentrações à medida que ocorre a transição do aquífero tipo granular, predominante no litoral, para o fissural e fissural-cárstico, dominante no interior.

O íon magnésio apresenta comportamento semelhante ao cálcio, apenas com valores menores por ser originado de minerais de mais difícil intemperismo que o cálcio. As maiores concentrações localizam-se nas porções noroeste da bacia do rio Sergipe e oeste da bacia do rio São Francisco. Os menores valores de concentração de Magnésio ocorreram na porção próxima ao litoral da bacia do rio São Francisco e na porção intermediária das bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris. Observa-se que ocorre também para Magnésio a elevação das concentrações em uma região próxima ao litoral nas bacias Japaratuba e Sergipe, provavelmente resultado da existência de um aquífero fissural-cárstico neste local e também por intrusão salina nos poços amostrados.

# Cálcio



# Magnésio



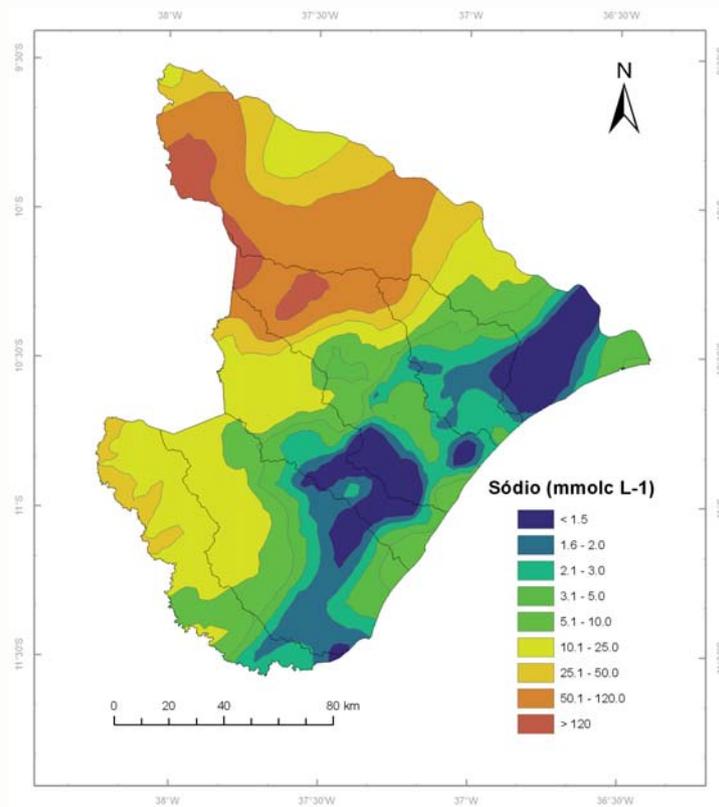
## Sódio e Razão de adsorção de sódio (RAS)

Devido ao seu efeito no solo e na planta, o sódio é considerado como um dos principais fatores determinantes da qualidade de água para irrigação (Kovda et al., 1973). No solo, o efeito do sódio se dá principalmente como dispersante das partículas coloidais, afetando sua estrutura e, em consequência, a capacidade de infiltração da água. Na planta, os sintomas de toxicidade aparecem nas folhas em forma de queimaduras ou necroses ao longo das bordas, aparecendo primeiro nas camadas mais velhas, progredindo até o centro da folha (Ayers e Westcott, 1979).

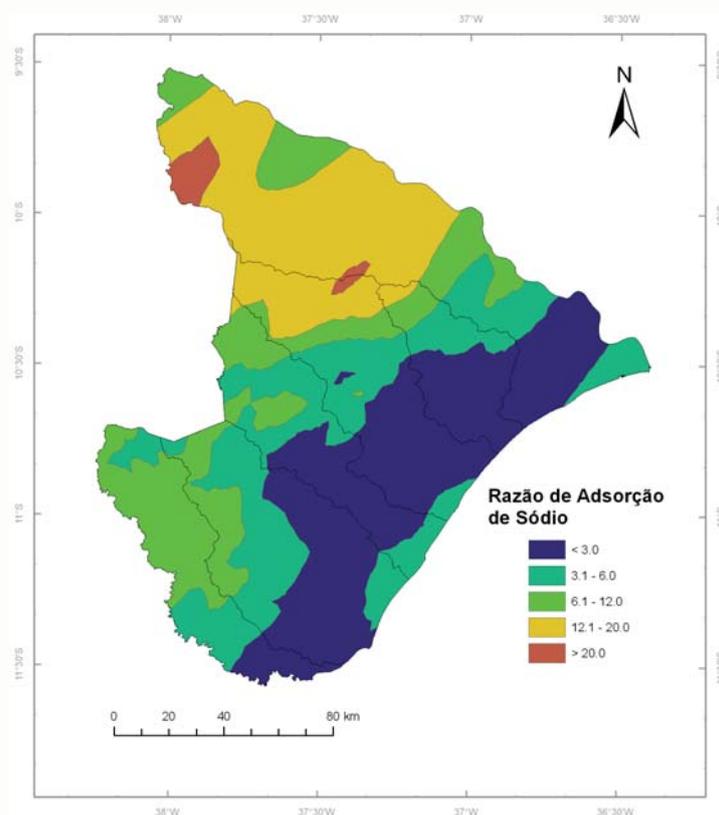
O comportamento espacial do íon sódio acompanha o de cálcio e magnésio, com concentrações mais altas na região do Semi-árido sergipano que no litoral. As maiores concentrações localizaram-se nas regiões noroeste das bacias dos rios São Francisco e Sergipe e as mais baixas junto ao litoral nas bacias dos rios São Francisco, Japaratinga e Real. Nesta variável repete-se o aumento de concentração na porção intermediária das bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris, decorrência da formação fissural-cárstica localizada e junto à faixa litorânea destas bacias, com provável contaminação de poços por água marinha.

Por refletir a relação entre sódio, cálcio e magnésio, a RAS apresenta comportamento compatível com o destas variáveis, com crescimento no sentido do litoral para o interior do Estado. Os maiores valores para RAS ocorreram na porção noroeste das bacias do rio São Francisco e Sergipe, e os menores junto ao litoral nas bacias dos rios Japaratinga, São Francisco, Real e Piauí e na porção intermediária das bacias dos rios Sergipe e Vaza-Barris. Próximo à foz destas duas bacias ocorre uma elevação dos valores de RAS que pode ser devida à presença de água marinha em alguns poços amostrados.

# Sódio



# Razão de adsorção de sódio

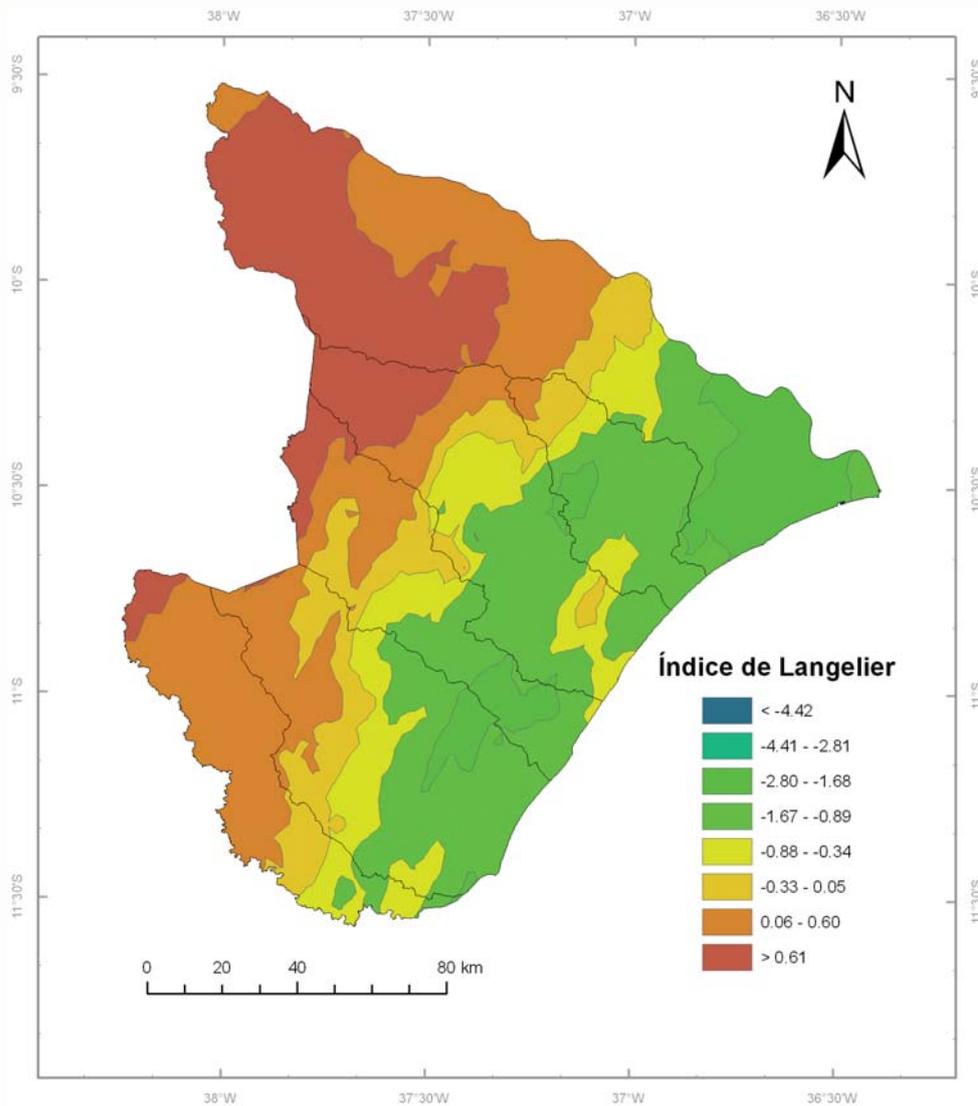


## Índice de saturação de cálcio

Com relação ao risco de obstrução de emissores e tubulações devido ao teor de cálcio na água de irrigação, Nakayama(1986) sugere a utilização do Índice de Saturação de Cálcio, também conhecido como Índice de Langelier, no sentido de prover uma aproximação sistemática para a determinação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Esse Índice é baseado na diferença entre o pH medido e o pH calculado da água utilizada, este último relacionado com os teores de carbonato ( $\text{CO}_3$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ), cálcio( $\text{Ca}^{2+}$ ), concentração total de sais dissolvidos (SDT) e temperatura da água. Valores positivos indicam a possibilidade de ocorrência de formação de precipitados e a conseqüente obstrução de emissores (ESTADOS UNIDOS, 1965).

Para todas as bacias do Estado de Sergipe, em termos de valores médios o Índice de Langelier mostra não haver tendência de ocorrência de precipitação de carbonato de cálcio. Contudo, foi observado um aumento no seu valor, ou seja crescimento da probabilidade de ocorrência da precipitação de  $\text{CaCO}_3$  no sentido do litoral para o interior do Estado. Observa-se assim que os maiores valores do índice ocorrem nas porções noroeste das bacias do rio São Francisco, Sergipe e Vaza-Barris e que o crescimento está relacionado à transição do litoral para o semi-árido. Observa-se também o reflexo da ocorrência da zona de alta concentração de sais na região intermediária das bacias dos rios Sergipe e Japarutuba resultado da presença de uma região confinada de aquífero fissural-cárstico.

## Índice de saturação de cálcio



## Ferro total

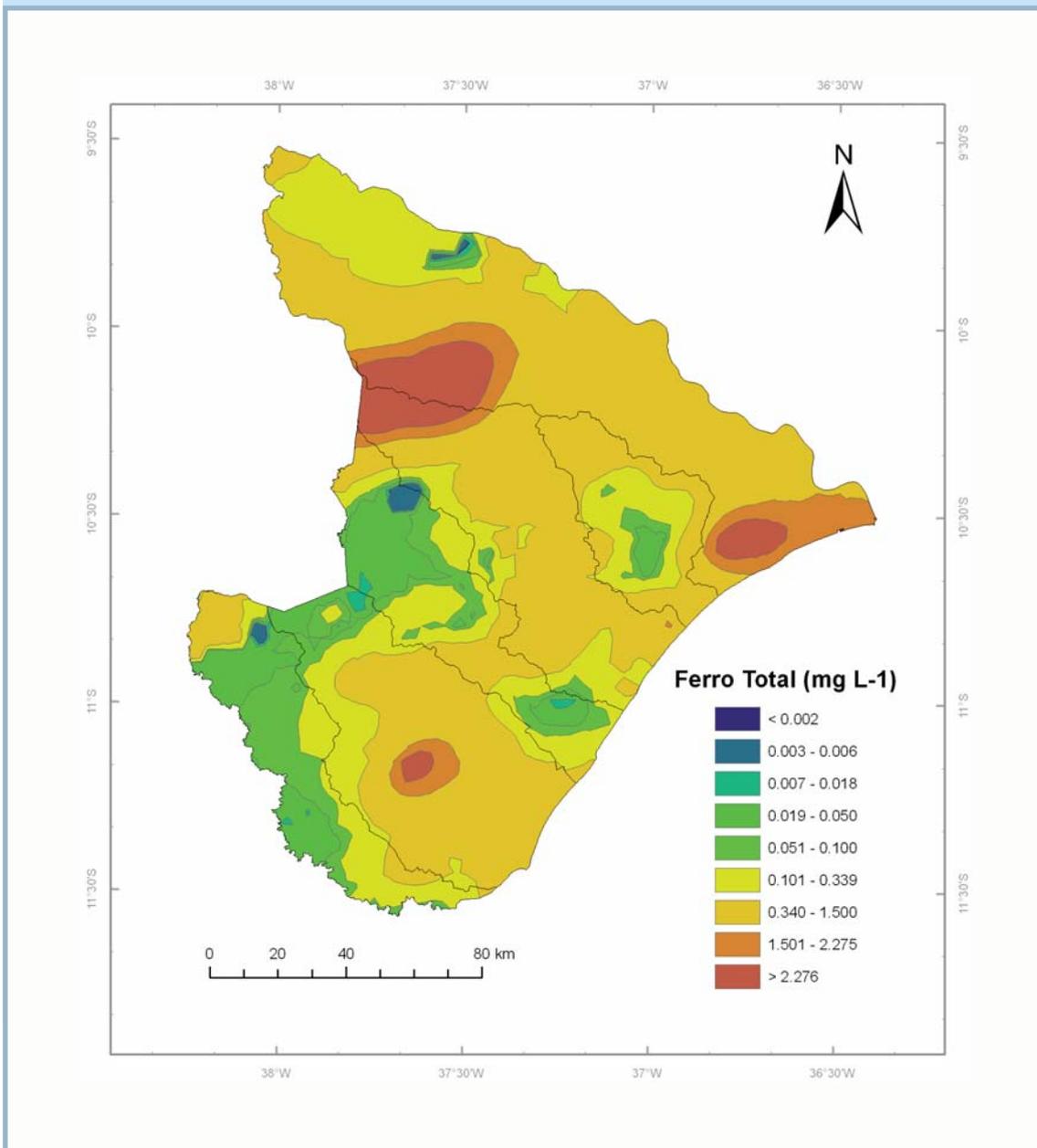
O ferro se apresenta na água de irrigação predominantemente na forma de  $Fe^{+2}$  e  $Fe^{+3}$ . Na primeira forma o mesmo se encontra solúvel na água; quando sofre um processo de oxidação passa à segunda forma, precipitando-se.

De modo geral, o ferro não apresenta risco de toxicidade às plantas ou danos ao solo, uma vez que logo após sua aplicação via água oxida-se, passando ao estado de  $Fe^{+3}$ . No entanto, esse íon se constitui em um dos principais causadores de entupimento em sistemas de irrigação localizada. Pela classificação da FAO, observa-se que concentrações acima de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  já se constituem em grau de risco moderado de causar entupimento. O ferro precipitado forma uma incrustação vermelha, a qual pode aderir ao PVC ou nos tubos de polietileno como também entupir completamente emissores.

Observa-se que, em termos de valores médios, apenas as bacias dos rios Japaratuba, Vaza-barris e Real se apresentam com grau de risco “Nenhum” de entupimento, com base nas diretrizes da FAO.

Ao contrário dos demais íons apresentados anteriormente, o ferro não apresentou uma tendência de crescimento gradual em suas concentrações do litoral para o interior do Estado, mas sim uma distribuição quase aleatória de regiões com maior concentração, ocorrendo na porção central da bacia do rio Piauí, noroeste da bacia do rio Sergipe e centro-noroeste e leste da bacia do rio São Francisco. As regiões com menores concentrações ficaram localizadas nas porções noroeste das bacias dos rios Piauí e Vaza-Barris, além de em grande parte da bacia do rio Real.

# Ferro total



## Vazão, profundidade, nível estático, nível dinâmico

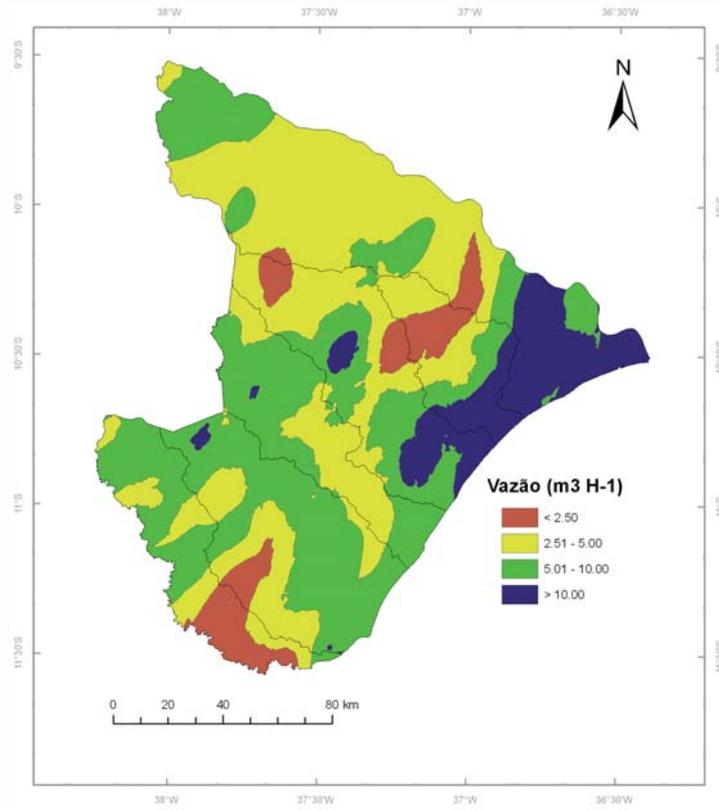
As regiões com maiores vazões exploradas situam-se, principalmente, em zonas de aquíferos granulares em direção ao litoral das bacias do rio São Francisco, Japarutuba e Sergipe. Os valores mais baixos de vazão foram localizados na porção intermediária da bacia São Francisco, limite noroeste das bacias Japarutuba e Sergipe além da porção sul da bacia do rio Real. Em geral estas áreas se localizaram sobre formações cristalinas com predominância de aquíferos do tipo fissural. Ressalte-se, no entanto, que alguns poços localizados no cristalino apresentaram vazões elevadas, como pode ser observado nas bacias dos rios Sergipe, Vaza-Barris e Piauí.

Para a variável profundidade observa-se uma predominância dos valores em torno da mediana no Estado (60,0 m) apenas com registro dos menores valores mais próximos ao litoral das bacias dos rios Sergipe, Vaza-Barris e Piauí e das máximas profundidades na parte intermediária-litoral da bacia do rio São Francisco.

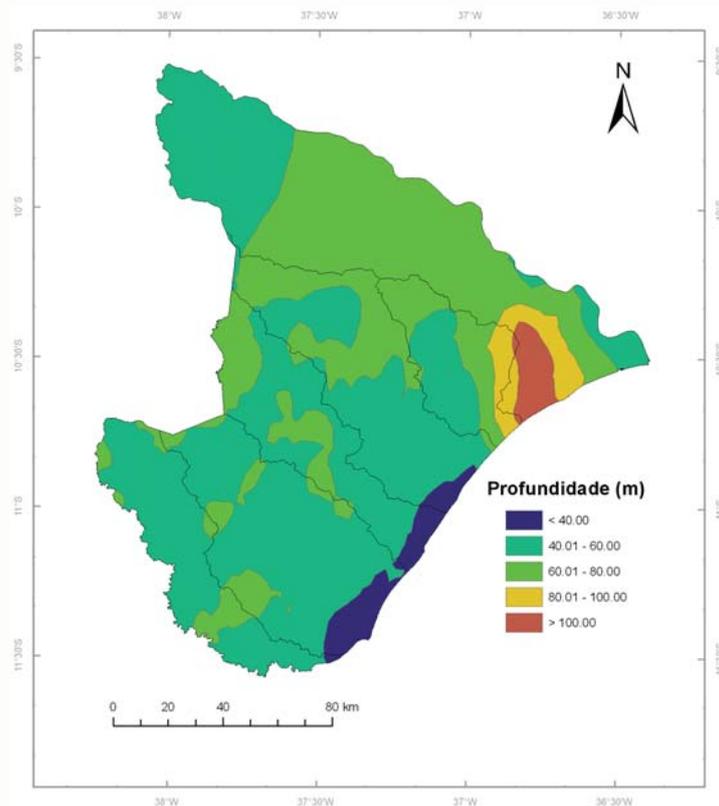
A variável nível estático mostrou-se também predominante em valores abaixo da média para o Estado, registrando-se apenas pequenas áreas com valores elevados na bacia do São Francisco e noroeste do Vaza-barris.

Com relação à variável nível dinâmico verificou-se que existe pouca variabilidade para o Estado, pois apresentou apenas algumas regiões junto ao litoral das bacias Sergipe, Vaza-Barris e Piauí, com picos ocorrendo na porção intermediária da bacia do São Francisco.

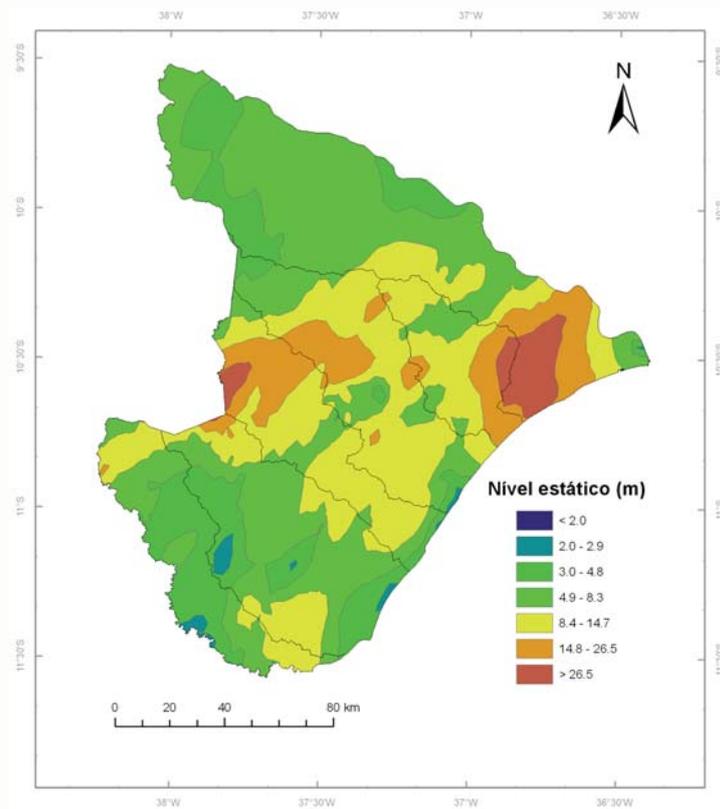
# Vazão



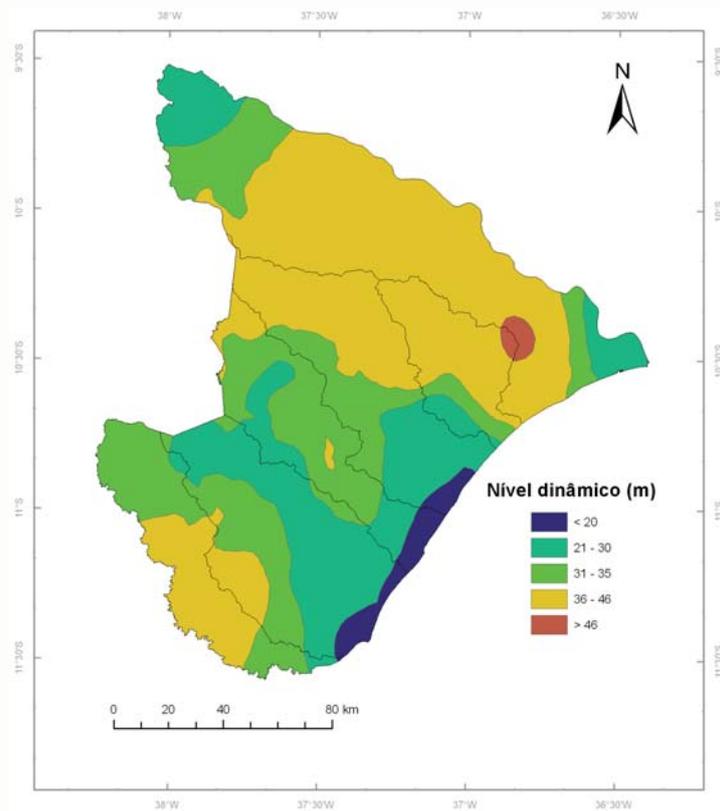
# Profundidade



## Nível Estático



## Nível Dinâmico



## Mapas de restrição de uso das águas subterrâneas para irrigação

Os mapas de risco ou de restrição de uso das águas subterrâneas para fins de irrigação foram gerados a partir da classificação dos mapas de variáveis apresentados anteriormente, com base nos limites de uso com restrição para irrigação recomendados pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), constante de Ayers e Westcot (1994).

Foram avaliados os riscos relacionados à aplicação da água proveniente de poços tubulares na irrigação de culturas que envolvam alterações nas propriedades dos solos, como salinização e sodificação; redução de produtividade de culturas sensíveis à presença de sais, por meio da toxicidade em sistemas de irrigação por aspersão e por superfície; além de problemas relacionados a obstruções dos sistemas de irrigação localizada. A Tabela 1 apresenta os limites considerados para a confecção dos mapas temáticos de risco desta publicação.

Deve ser ressaltado que os mapas apresentados são indicativos da necessidade de medidas de controle ou de manejo adequado no uso das águas subterrâneas de determinada região do Estado para a irrigação de culturas, não indicando a impossibilidade de aproveitamento das águas provenientes de poços nestas regiões.

Tabela 1 - Classes de restrição de uso da água para irrigação de acordo com a qualidade

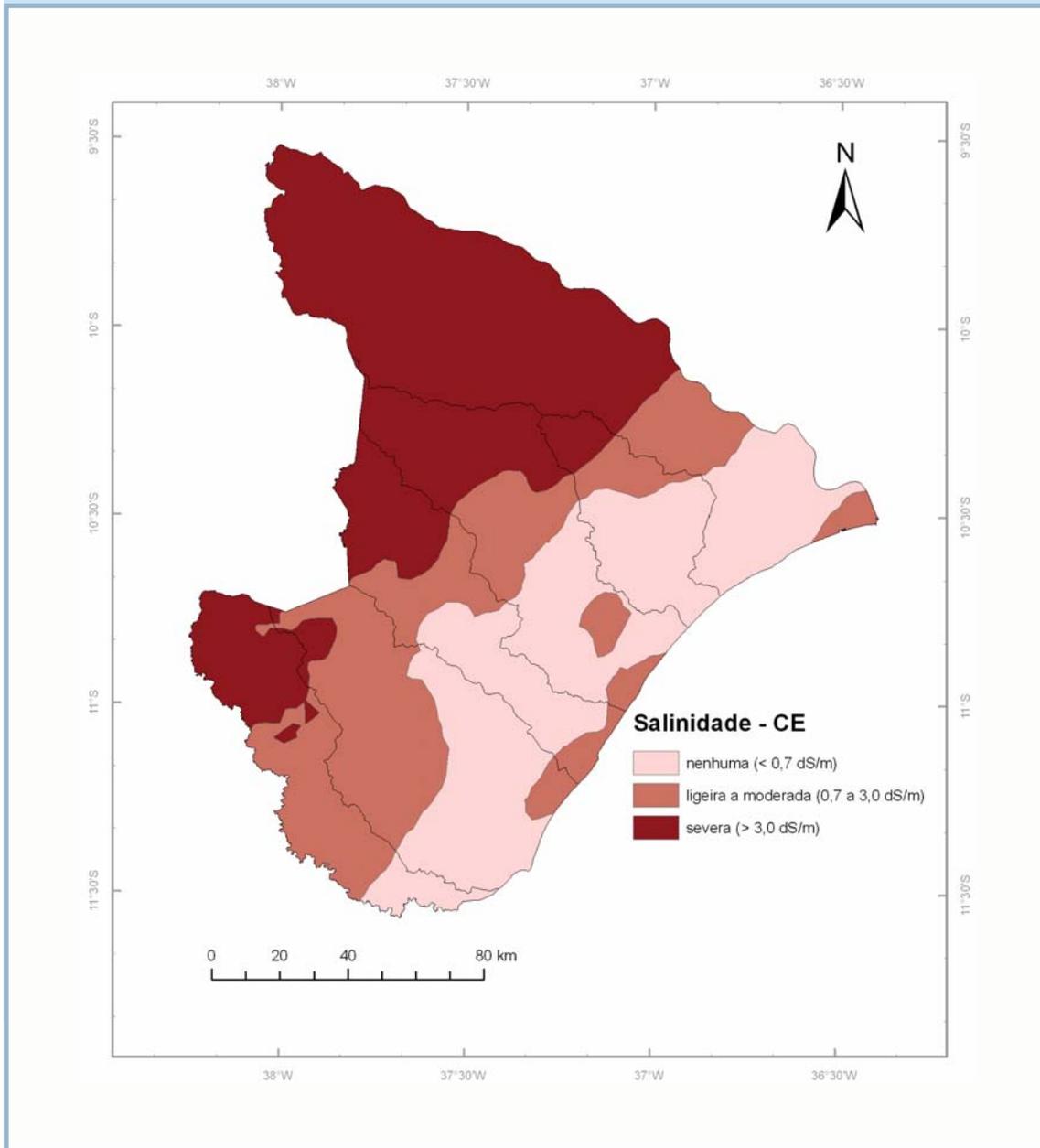
Risco	Variáveis	Classes de restrição		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinização	CE (dS m <sup>-1</sup> )	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
	RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )		
Sodificação	0 a 3	> 0,7	0,7 a 0,2	< 0,2
	3 a 6	> 1,2	1,2 a 0,3	< 0,3
	6 a 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
Toxicidade às culturas para irrigação por aspersão	Na (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	< 3,0	> 3,0	
	Cl (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	< 3,0	> 3,0	
Obstrução de sistemas de irrigação localizada	pH	< 7,0	7,0 a 8,0	> 8,0
	Fe (mg/l)	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1994)

## Salinidade

Por estimar a quantidade total de sais dissolvidos na água de irrigação e por sua simplicidade de determinação, a CE se constitui em um dos principais indicadores de qualidade para irrigação. Comumente se observa uma relação direta entre o teor de sais na água de irrigação com o da água na zona radicular e no extrato de saturação do solo. Os efeitos dos sais na planta estão relacionados a elevação do potencial osmótico da solução do solo, o que redundará em um maior gasto de energia por parte da planta para o processo de absorção de água e nutrientes, em detrimento da sua produção. A FAO determina para CE três níveis de restrição ao uso da água devido à salinidade: sem restrição, para CE menor que  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ ; com restrição moderada, para CE com valores entre  $0,7$  e  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  e restrição severa para CE superior a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Com estes limites, verifica-se que as porções noroeste das bacias hidrográficas do Estado situam-se nas classes de moderada e severa, coincidindo com o Polígono das Secas do Estado. Esta classe é verificada ainda em algumas regiões próximas ao litoral das bacias dos rios Piauí, Vaza-Barris, Sergipe e São Francisco. Observa-se que para o Estado como um todo, cerca de 40% de sua área encontra-se classificada como severa restrição de uso para irrigação, e aproximadamente 32% sem restrição nenhuma. Nas áreas com indicação de restrição severa, os maiores valores encontram-se nos municípios de Nossa Senhora da Glória, Poço Redondo, Canindé do São Francisco, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora Aparecida e Carira. Os valores mais baixos situaram-se em áreas dos municípios de Neópolis, Japoatã, Japaratuba, Areia Branca e São Cristóvão.

# Salinidade



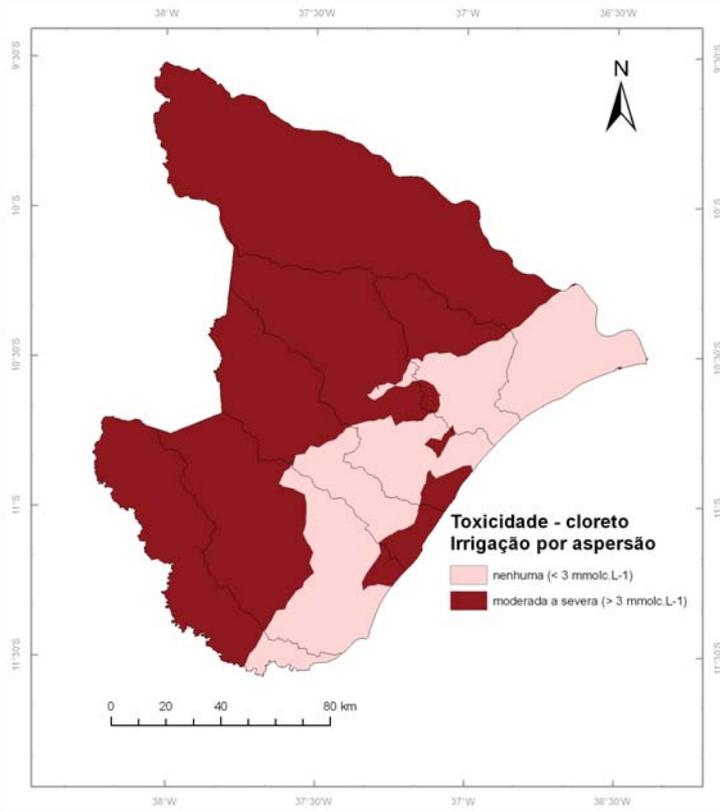
## Toxicidade às culturas - cloreto

O íon cloreto não apresenta efeito significativo nas propriedades físicas do solo e não é adsorvido no complexo do solo (Kovda et al., 1973), sendo seu efeito mais relacionado com o potencial de causar toxidez em plantas mais sensíveis. Tal toxidez se apresenta como queimaduras nas bordas das folhas e valores limites se situam em torno de 3-5 mmolc L<sup>-1</sup> para plantas mais sensíveis, como o morangueiro e de 10 mmolc L<sup>-1</sup> para os porta-enxertos de citros.

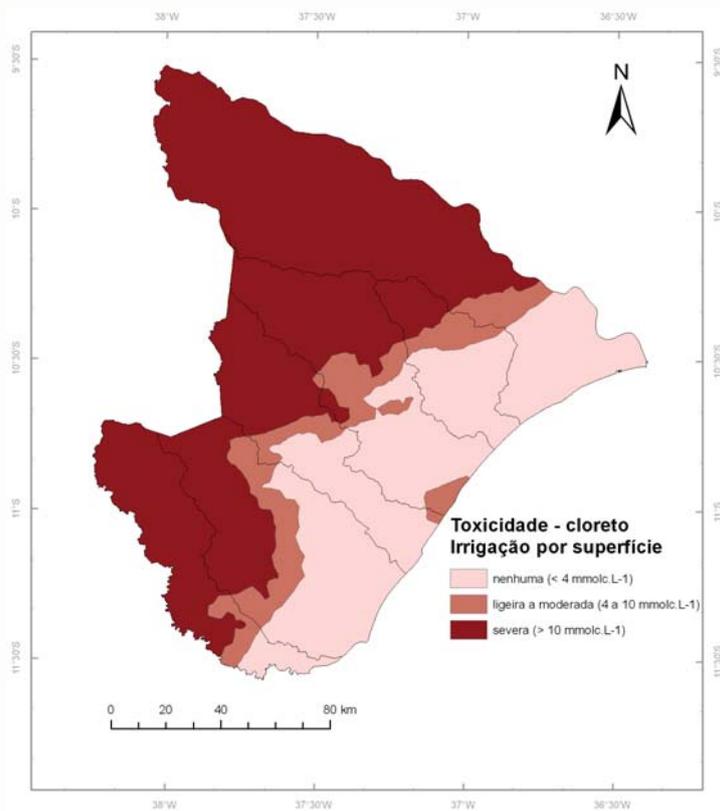
Esse íon é avaliado pela FAO considerando as duas principais formas de irrigação: por aspersão e superficial. Tal diferenciação se deve ao risco de toxicidade às plantas associado ao excesso deste sal, considerando também as folhas ou apenas as raízes. Para irrigação por aspersão, o limite de restrição de uso da água é de 3 mmolc/L. Assim verifica-se que a região semi-árida do estado está toda situada na classe de restrição moderada a severa, em todas as bacias hidrográficas do estado, incluindo ainda toda parte litorânea da bacia do rio Vaza-Barris, e parte do litoral dos rios Piauí e Sergipe. Neste caso, apenas cerca de 27% da área do Estado não apresenta restrição para o uso da água subterrânea para irrigação por aspersão. Considerando a irrigação do tipo superficial, FAO sugere três classes de restrição de uso por toxicidade: nenhuma restrição, para valores de Cloreto inferiores a 4 mmolc/L; restrição ligeira a moderada, no intervalo entre 4 e 10 mmolc/L e severa acima de 10 mmolc/L.

Observa-se pequena diferença entre os mapas, uma vez que o limite para nenhuma restrição de uso sofre um pequeno aumento. A principal diferença se observa no litoral das bacias Vaza-Barris e Piauí, que neste caso passam a estar classificadas como sem restrição de uso. Para irrigação superficial, cerca de 33% da área do estado apresenta-se sem restrição de uso da água subterrânea por cloretos. Os municípios de Carira, Nossa Senhora da Glória e Monte alegre de Sergipe, Poço Redondo, Porto da Folha e Canindé do São Francisco, apresentaram as áreas com maiores concentrações de cloreto. As regiões de menores concentrações situaram-se nos municípios de São Cristóvão, Itaporanga da Ajuda, Pacatuba, Neópolis e Japoatã.

## Toxidade - cloreto Irrigação por aspersão



## Toxidade - cloreto Irrigação por superfície



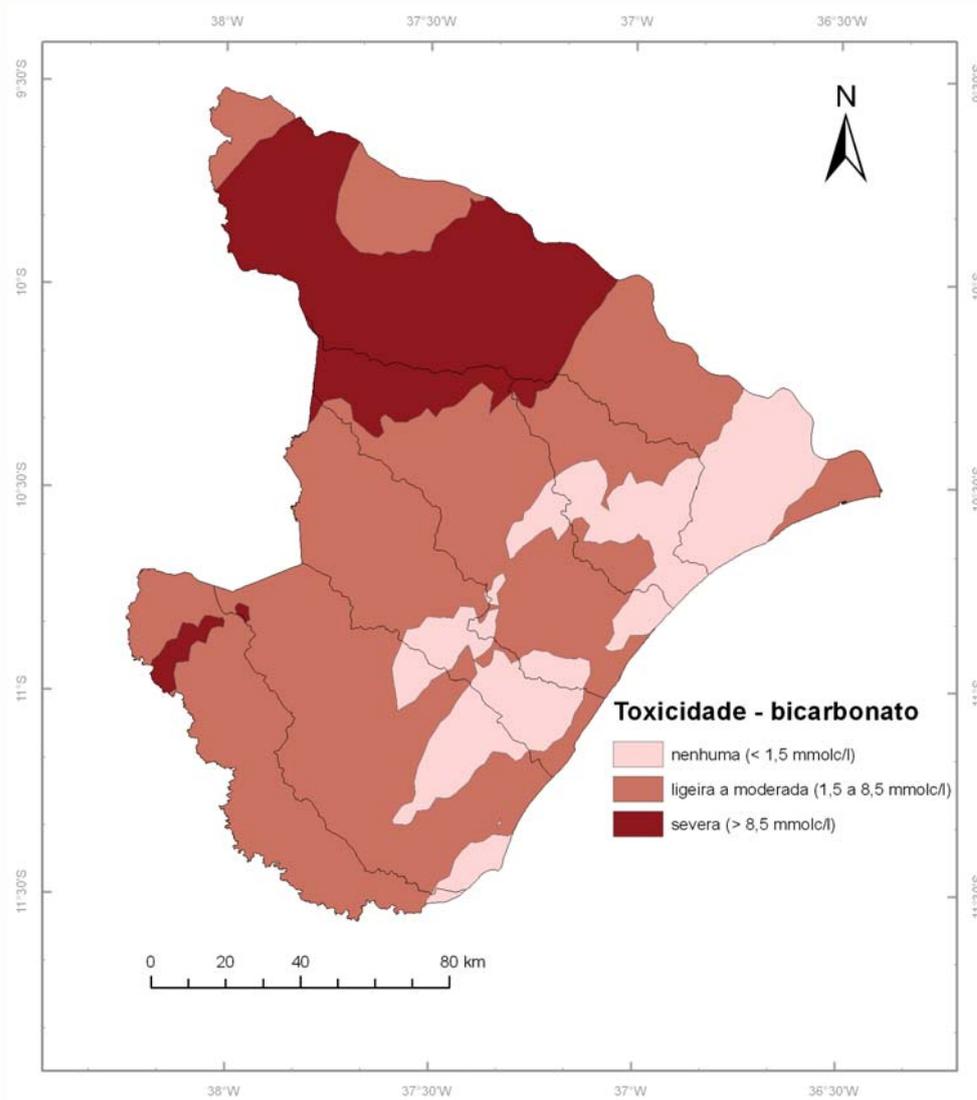
## Toxicidade às culturas – bicarbonato

No caso do íon bicarbonato, mais que um efeito fitotóxico, sua presença em teores elevados nas águas de irrigação aumentam o risco de formação de incrustações brancas na folhagem e frutos, que podem comprometer o valor comercial dos mesmos. Essas incrustações são formadas pela reação do bicarbonato com os íons de cálcio, resultando em precipitados de carbonato de cálcio. Esse risco está mais relacionado a sistemas de irrigação que molhem toda a folhagem da cultura (irrigação por aspersão convencional, pivô-central, etc.).

Para os sistemas de irrigação, a importância do íon bicarbonato na água está relacionada à sua influência no potencial de precipitação de cálcio e, em menor grau, de magnésio (Kovda et al., 1973), sendo esse fator particularmente importante em sistemas de irrigação localizada, devido à sua capacidade de causar entupimento de tubulações, gotejadores e microaspersores.

Para bicarbonato a FAO estabelece a seguinte classificação, considerando as restrições associadas a toxicidade de culturas: nenhuma, para concentrações inferiores a 1,5 mmolc/L; ligeira a moderada, entre 1,5 e 8,5 mmolc/L e severa acima de 8,5 mmolc/L. O estudo realizado mostrou que as regiões mais próximas ao litoral nas bacias dos rios Japarutuba, São Francisco e Sergipe, além de áreas intermediárias nas bacias Vaza-Barris e Piauí apresentam-se como sem restrição de uso para suas águas subterrâneas, totalizando cerca de 18% da área do Estado. A maior parte da área do estado classifica-se com derestrição moderada (61%) e áreas de restrição do tipo severa restringem-se à porção extremo noroeste da bacia do rio Sergipe, centro-noroeste no rio São Francisco e pequena área no limite noroeste da bacia do rio Real. As maiores concentrações de bicarbonato foram detectadas nas áreas dos municípios de Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Porto da Folha, Poço Redondo, Gararu, Canindé do São Francisco, Laranjeiras e Maruim. As concentrações mais baixas foram obtidas em regiões dos municípios de São Cristóvão, Itaporanga da Ajuda, Nossa Senhora das Dores, Siriri, Neópolis, Japoatã e Pacatuba.

## Toxicidade - bicarbonato

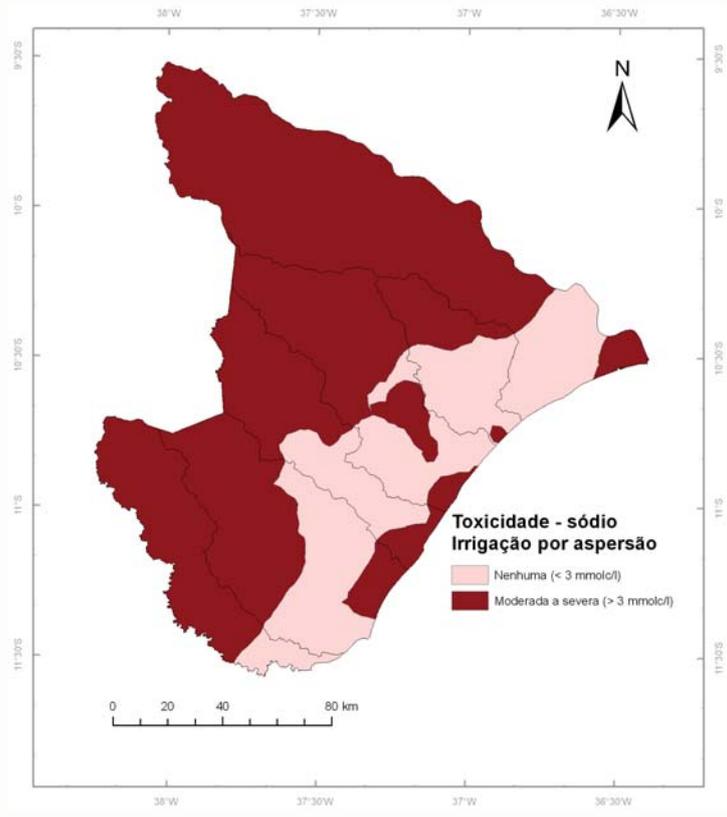


## Toxicidade às culturas - sódio

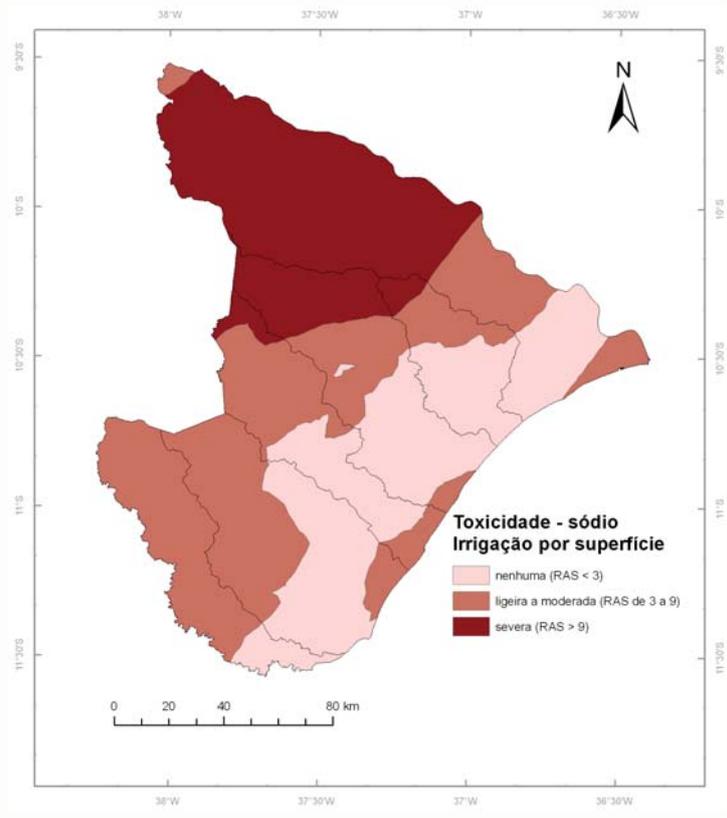
Para toxicidade de Sódio, assim como para cloretos, a FAO distingue a restrição de uso da água subterrânea segundo os métodos de irrigação por aspersão e superficial. Para aspersão, são estabelecidas duas classes: para concentrações de Sódio inferiores a 3 mmol/L não há restrição e acima deste patamar passa a ser moderada a severa. Com isso, observa-se que toda a região do estado correspondente ao clima semi-árido apresenta restrição de uso, além de uma parcela litorânea nas bacias dos rios Piauí, Vaza-Barris, Sergipe e Japaratuba, contabilizando, aproximadamente, 73% da área do estado com restrição de uso da água subterrânea. Para sistemas de irrigação do tipo superficial a FAO utiliza limites de restrição baseados na RAS (Razão de Adsorção de Sódio) calculada para a água subterrânea, tais como seguem: para valores de RAS inferiores a 3,0 não há restrição de uso; valores entre 3,0 e 9,0 apresentam restrição de uso moderada e superiores a 9,0, severa.

Observa-se bastante similaridade entre os mapas para sistemas de irrigação por aspersão e superficial, neste último caso existe um pequeno aumento em área sem restrição de uso, localizada na porção intermediária das bacias hidrográficas do Estado. Esta região contabiliza cerca de 31% de toda a superfície do Estado. Destaque-se a concentração da região com classificação como severa no limite noroeste das bacias dos rios Sergipe e Japaratuba e centro-noroeste na bacia do rio São Francisco. Com relação aos municípios observou-se que as áreas de maior concentração de sódio localizaram-se nos municípios de Canindé do São Francisco, Poço Redondo, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Carira e Nossa Senhora Aparecida. As menores concentrações situaram-se nos municípios de Neópolis, Japoatã, Pacatuba, Japaratuba, Pirambú, Santo Amaro das Brotas, São Cristóvão, Areia Branca e Itaporanga da Ajuda.

## Toxicidade - sódio Irrigação por aspersão



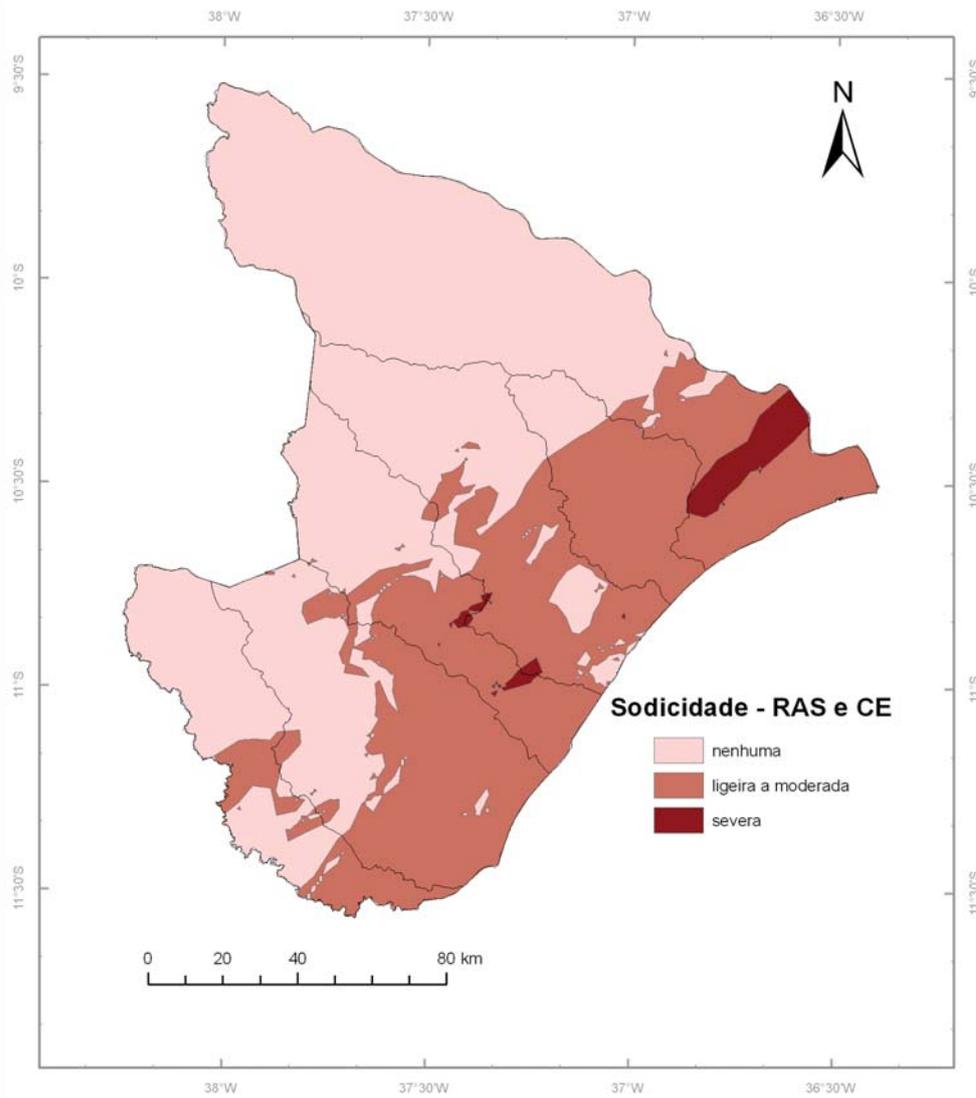
## Toxicidade - sódio Irrigação por superfície



## Sodicidade - condutividade elétrica e RAS

A Razão de Adsorção do Sódio (RAS) exprime a relação entre os íons sódio, cálcio e magnésio da água de irrigação. Dada sua elevada correlação com a Porcentagem de Sódio Trocável no solo (PST), nas diretrizes da FAO a RAS é utilizada, juntamente com a condutividade elétrica, como indicador do potencial do sódio em causar problemas de infiltração da água no solo. A RAS se constitui em um parâmetro que integra o efeito dispersante das partículas do solo promovido pelo íon sódio, com o efeito flocculante dos demais sais, notadamente do cálcio e do magnésio. A dispersão das partículas de argila e matéria orgânica constituintes do solo ocasiona a perda da estrutura do solo, resultando em uma maior dificuldade de infiltração da água da chuva e ou irrigação. Assim, a presença de sais na solução do solo constitui um fator que contrabalança o efeito dispersante do íon sódio. Para avaliação da restrição de uso da água subterrânea para irrigação considerando a possibilidade de alteração da capacidade de infiltração do solo por ação de sais depositados, a FAO estabelece um critério de classificação baseado na relação entre RAS e condutividade elétrica. Segundo os limites de classes de restrição definidos pela FAO, observa-se que o mapa gerado mostra-se com características bem diversas das apresentadas até o momento. Pode-se verificar que a região contida no Semi-árido sergipano é apresentada como sem restrição de uso, com concentração das regiões de restrição moderada a severa na porção intermediária-litorânea das bacias hidrográficas. Isto se justifica pela capacidade de ação inversa de alguns sais com relação à ação de sodificação do solo, agindo como flocculantes e promovendo o aumento da infiltração do solo. Assim, quanto maior a salinidade da água, maior a ação de outros sais neutralizando a capacidade dispersante do sódio. Ressalte-se que esta análise é válida apenas para a restrição de uso da água considerando os efeitos sobre a infiltração do solo, uma vez que outras restrições estão presentes no uso de águas com elevada salinidade, como foram apresentadas anteriormente. Regiões dos municípios de Japoatã, Neópolis, Pacatuba, Japarutuba, São Cristóvão e Areia Branca mostram-se com severa restrição de uso.

## Sodicidade - RAS e CE

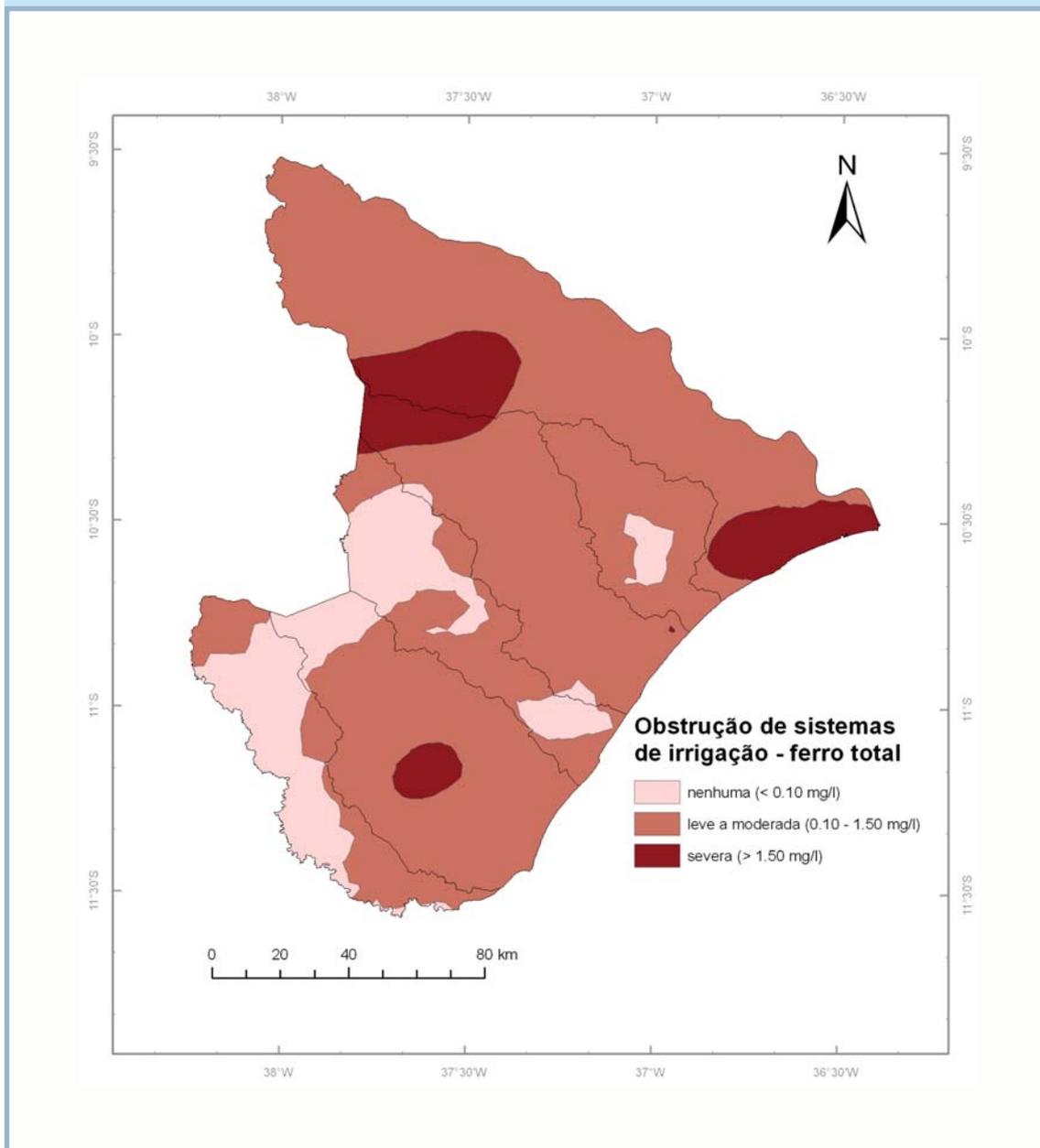


## Obstrução de sistemas de irrigação - ferro total

A restrição de uso de água para irrigação com teores de ferro elevados está relacionada principalmente ao processo de obstrução dos sistemas de irrigação. Da mesma forma que nas precipitações de cálcio, as de ferro afetam, principalmente métodos de irrigação localizados (gotejamento e microaspersão), ocasionando entupimentos nos orifícios de saída de água dos gotejadores e microaspersores. Em casos mais graves, podem afetar, também, as tubulações de PVC, reduzindo drasticamente a capacidade de condução de água das mesmas. Nesses casos, um rígido programa de monitoramento e controle deve ser associado ao manejo da irrigação. Tal controle é feito, usualmente, utilizando medidas que oxidam o ferro, transformando-o da sua forma solúvel ( $Fe^{2+}$ ) para a precipitável ( $Fe^{3+}$ ), antes que ele entre no sistema de irrigação.

Para FAO, as classes de restrição para ferro estão assim definidas: concentrações inferiores a 0,10mg/l não apresentam restrição de uso; existe restrição leve a moderada para concentrações entre 0,10 e 1,50 mg/l e acima deste valor a restrição é severa. Para o mapa gerado para o estado de Sergipe verificou-se que áreas na porção oeste da bacia do rio Real e noroeste dos rios Piauí e Vaza-Barris, além de pequenas áreas isoladas na bacia do Japaratuba e Vaza-Barris não apresentam restrição de uso. Áreas de restrição severa por ferro foram identificadas próximas ao litoral e no extremo noroeste na bacia do rio São Francisco, centro da bacia do rio Piauí e próximo ao limite noroeste da bacia do rio Sergipe. Pelos mapas gerados verifica-se que apenas 15% da área do Estado estaria classificada como sem restrição para uso da água subterrânea considerando o risco de obstrução de sistemas por ferro. Verifica-se pela distribuição espacial obtida que as maiores concentrações de ferro localizaram-se nos municípios de Boquim, Pedrinhas, Arauá, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Pacatuba e Japoatã. Os municípios de Frei Paulo, Macambira, Pinhão, Pedra Mole, Capela e São Cristóvão, apresentaram as áreas com menores concentrações de ferro.

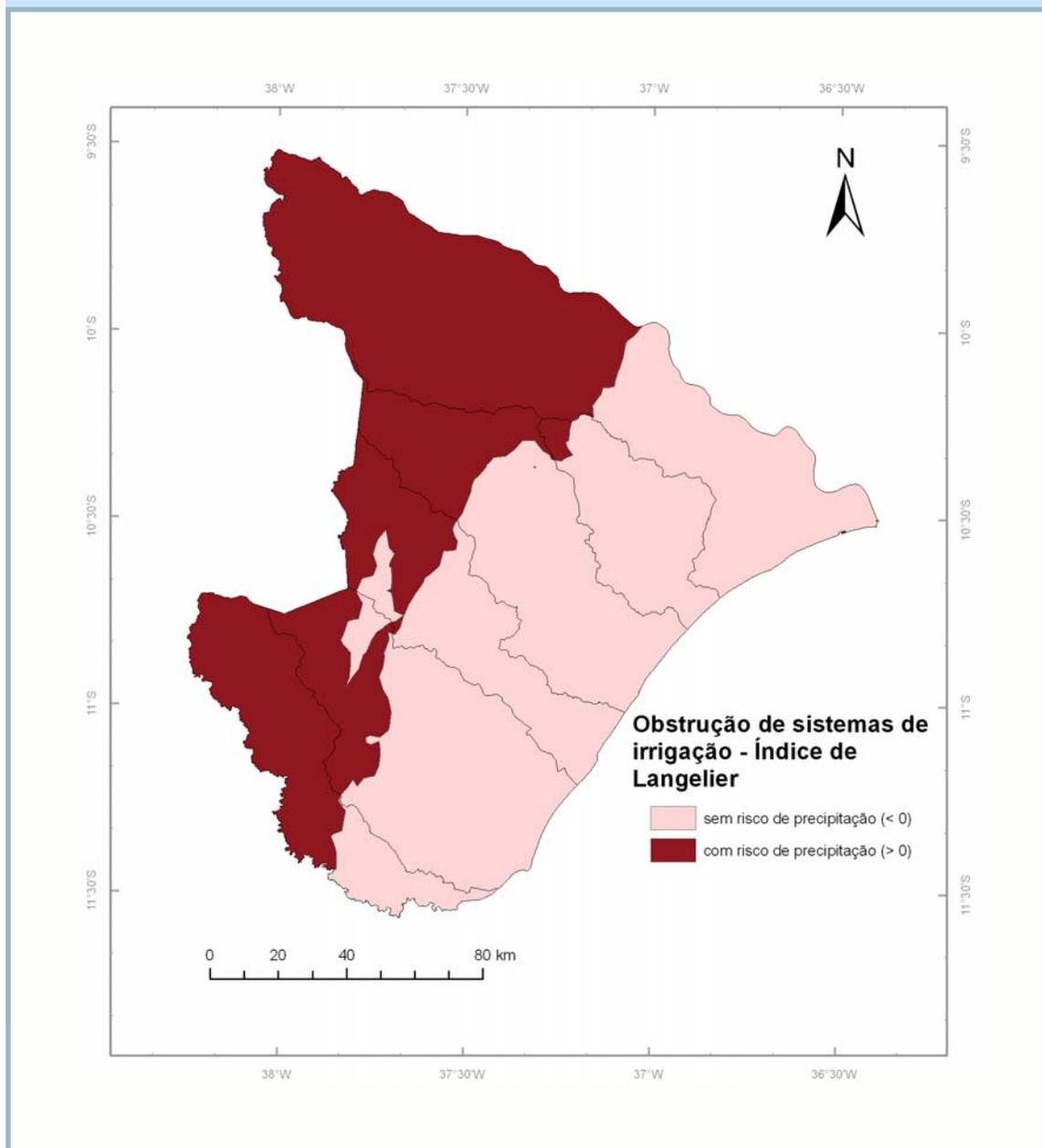
## Obstrução de sistemas de irrigação ferro total



## Obstrução de sistemas de irrigação Índice de saturação de cálcio

A consideração da restrição de uso das águas subterrâneas por riscos de obstrução dos sistemas de irrigação resultante da precipitação de  $\text{CaCO}_3$ , é realizada pela FAO através do Índice de Langelier. Este determina que apresentando valores negativos não há risco de precipitação e valores positivos indicam a existência de tal risco. Assim, o mapa gerado mostra que a maior parte da área das bacias hidrográficas, excetuando-se as bacias dos rios São Francisco e Real, não apresentam restrição de uso das águas de seus poços. Esta região situa-se na porção intermediária das bacias até o litoral do Estado, contabilizando cerca de 55% da área do Estado. Dentro desta região sem restrição, destacam-se áreas nos municípios de Pacatuba, Neópolis, Própria, Japoatã, Siriri, Itaporanga da Ajuda, São Cristóvão e Estância. Para os municípios de Canindé do São Francisco, Poço Redondo, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Carira e Nossa Senhora Aparecida os valores de Langelier apresentaram valores positivos mais elevados.

## Obstrução de sistemas de irrigação índice de Langelier



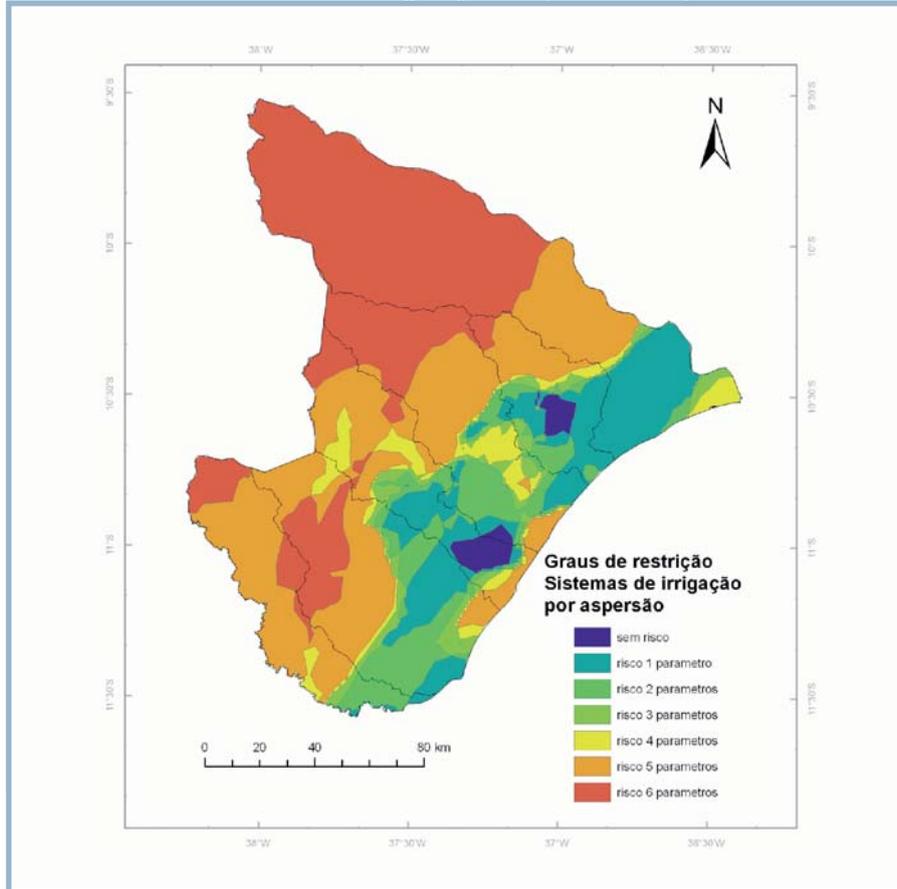
## Graus de restrição de uso das águas subterrâneas em irrigação

A partir dos mapas gerados anteriormente, considerando as restrições relacionadas às variáveis Condutividade Elétrica, Cloretos, Ferro, Carbonatos, Sódio e Índice de Langelier, foram gerados dois mapas de graus de restrição, levando em conta as diferenças que a FAO estabelece entre os sistemas de irrigação por aspersão e superficial. Os mapas apresentam a classificação das áreas nas bacias hidrográficas de acordo com o número de variáveis que apresentem restrição, variando de não existir restrição relacionada a alguma das variáveis até a ocorrência de restrição às seis variáveis selecionadas. Ressalte-se que estes mapas não estabelecem a qual variável está relacionada à restrição de uso, chamada também de risco aqui, apenas se a área em questão apresenta alguma restrição e o número de variáveis desta. Para conhecer a quais variáveis se referem, deve ser consultado o mapa referente a cada uma delas.

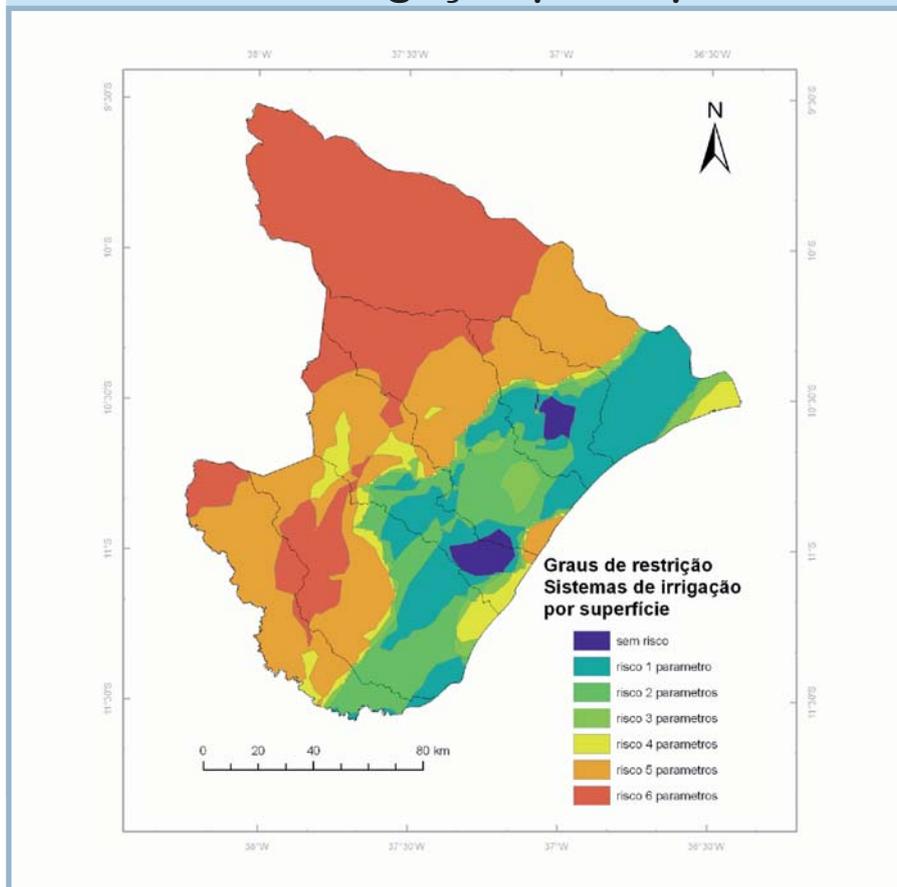
Para irrigação por aspersão observa-se que as áreas sem risco de uso da água subterrânea localizam-se na parte central da bacia do rio Japaratuba e próximo ao litoral na bacia do rio Vaza-Barris. As regiões com grau de risco 6, ou seja, que todas as variáveis representam restrição de uso localizam-se na porção extremo-noroeste das bacias dos rios Real, Vaza-Barris, Sergipe e Japaratuba e centro-noroeste das bacias dos rios Piauí e São Francisco. Os resultados são bastante semelhantes ao considerar o mapa para irrigação superficial, apenas observa-se uma redução no grau de risco na parte intermediária-litoral na bacia do rio Sergipe, passando de grau 5 para grau 3. Verifica-se também uma redução de risco no litoral da bacia do rio Vaza-Barris, passando de grau 5 para grau 4. Estas mudanças devem-se aos limites que a FAO considera para restrição devida a Cloretos, avaliando sistemas de irrigação por aspersão e superficial.

As regiões onde não foram detectadas restrições localizaram-se nos municípios de São Cristóvão, Itaporanga da Ajuda, Capela e Japaratuba, para os dois sistemas de irrigação, com pouca diferença entre ambos.

## Graus de restrição sistema de irrigação por aspersão



## Graus de restrição sistema de irrigação por superfície



## Conclusões

O estudo desenvolvido a partir de dados secundários de parâmetros de qualidade da água subterrânea para o estado de Sergipe mostrou o potencial do uso de ferramentas de geoestatística para a obtenção de informações com grau de confiabilidade mensurável em regiões não amostradas. Logicamente, deve-se ressaltar a aplicação dos resultados obtidos neste estudo por conta das deficiências da própria amostra, tais como cobertura insuficiente em algumas bacias hidrográficas, como dos rios Real e São Francisco; variação temporal das análises, com variação dos anos de 1984 a 2000; localização das amostras, com grandes coberturas em algumas direções de análise e pouca cobertura em outras, o que dificultou a avaliação dos semivariogramas e os ajustes das funções matemáticas.

O estudo apontou para uma elevada correlação entre as características físico-químicas da água subterrânea no estado e as formações hidrogeológicas dominantes, com predominância, por exemplo, de alta salinização nas regiões de cristalino (fissurada) e de águas de melhor qualidade nas formações granulares.

A geração de mapas de restrição ao uso da água subterrânea para fins de irrigação, também chamados neste estudo de mapas de risco, permite a visualização de regiões com maiores e menores riscos, relacionados aos processos de salinização e sodificação do solo, toxicidade de culturas e problemas de funcionamento em sistemas de irrigação, mostrando-se como uma ferramenta acessível e de muita utilidade no processo de decisão de investimentos agrícolas para o estado.

Recomenda-se a realização de uma nova amostragem com análise de qualidade da água nos poços do estado de Sergipe, precedida de um planejamento de visitas ao campo, buscando aperfeiçoar o processo de análise espacial e posterior krigagem. Tal levantamento deve buscar atualizar as informações utilizadas neste estudo e promover a cobertura de áreas deficientes de informação confiável.

## Bibliografia Consultada

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A. et al. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29, revisado 1).

BHATTI, A. U.; MULLA, D. J.; KOEHLER, F. E. et al. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 6, p.1523-1528, 1991.

BOMFIM, L. F. C. **Projeto Cadastro da Infra-Estrutura Hídrica do Nordeste: estado de Sergipe**. Aracaju: CPRM, 2002.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. 1997. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 1997.

CRUZ, W. B.; MELO, F. A. C. F. de. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. **Boletim de Recursos Naturais**, Recife. v. 7, n. 1/4, p. 7-40, 1969.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. An index of the tendency of  $\text{CaCO}_3$  to precipitate from irrigation waters. U. S. Salinity Laboratories. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 29, p. 91-92, 1965.

FAO/UNESCO. **Irrigation, drainage and salinity**: an international source book. Paris: UNESCO/Hutchinson, 1973. p. 177-205.

FIETZ, C. R. **Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irrigação por aspersão** 1998. 97 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. c. 3. p. 142-163.

GONÇALVES, A. C. A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação** 1997. 118 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, Piracicaba, 1997.

JICA. **Estudo sobre desenvolvimento de recursos hídricos no estado de Sergipe na República Federativa do Brasil** relatório final. Aracaju: Agência de Cooperação Internacional do Japão; Secretaria de Estado do Planejamento, Ciência e Tecnologia. Governo de Sergipe. 2000.

NAKAYAMA, F. S. Operational principles/water treatment. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. c. 3. p. 164-187.

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.

PEIXINHO, F. C.; OLIVEIRA, J. E. C. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS**: as suas funcionalidades e importância no contexto das políticas públicas. CPRM. Disponível em: <[www.cprm.gov.br/rehi/siagas/siagas.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/siagas/siagas.pdf)>. Acesso em: 28 de Jun. 2007.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p.1-6, 1986.

RESENDE, R. S., AMORIM, J. R. A., SIQUEIRA, O. J. W. et al. Diagnóstico preliminar da qualidade da água subterrânea para fins de irrigação na bacia hidrográfica do rio Piauí, em Sergipe. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. 1 CD-ROM.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial dos parâmetros do solo**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. 1996. 91 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

SOUZA, L. C. de. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. 1999. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Medison, v. 45, n. 6, p. 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Campinas: IAC, 1998.

# Ficha Técnica

## **Autores:**

Ronaldo Souza Resende - Embrapa Tabuleiros Costeiros

Marcus Aurélio Soares Cruz - Embrapa Tabuleiros Costeiros

Julio Roberto Araujo de Amorim - Embrapa Tabuleiros Costeiros

## **Colaboradores:**

João Carlos Santos da Rocha - SEMARH

Renilda Gomes de Souza - SEMARH

Maria Auxiliadora Santos Lima - COHIDRO

## **Estagiários:**

Flávia Dantas Moreira - Embrapa Tabuleiros Costeiros

José Bomfim Oliveira Santos Júnior - Embrapa Tabuleiros Costeiros



---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Tabuleiros Costeiros  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
Av. Beira-Mar, 3250, Caixa Postal 44  
CEP 49001-970, Aracaju, SE  
Fone (79) 4009 1300 Fax (79) 4009 1369  
E-mail: [sac@cpatc.embrapa.br](mailto:sac@cpatc.embrapa.br)*