

# Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS<sup>1</sup>

## Vulnerability map of Acaraú basin to irrigated water quality using GIS

Eunice Maia de Andrade<sup>2</sup>, Ticiania Mesquita Batista<sup>3</sup>, Adunias dos Santos Teixeira<sup>4</sup>,  
Marcos Meireles<sup>5</sup> e Beatriz Fernandes Simplicio Sousa<sup>6</sup>

**Resumo** - O monitoramento da qualidade da água utilizada pelos irrigantes na bacia do Acaraú, Ceará tornou-se de suma importância, visto que a região concentra grandes áreas irrigadas. Para se identificar a vulnerabilidade das áreas aos problemas de infiltração em decorrência da sodicidade da água empregada na irrigação, desenvolveu-se um estudo nas áreas irrigadas da referida bacia. Os dados empregados foram coletados de abril/2002 a março/2003, em 11 postos aleatoriamente distribuídos naquela bacia hidrográfica. Foram coletadas 71 amostras de água, sendo as análises conduzidas no Laboratório de Água e Solos da Embrapa Agroindústria Tropical, onde foram determinados os seguintes atributos: pH, Condutividade Elétrica (CE), Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> e, posteriormente, calculados os valores de Razão de Adsorção de Sódio corrigida (RAS<sup>o</sup>). Através de softwares Surfer e ArcView foi elaborado o mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú quanto ao risco de sodicidade promovido pela água de irrigação e pelas classes de solos predominantes. Os resultados mostraram que em quase sua totalidade a bacia do Acaraú apresenta, em potencial, riscos altos e moderados/altos de problemas com a infiltração provocados pela sodicidade das águas. As áreas de maiores riscos estão localizadas na margem esquerda do rio Acaraú, onde as águas apresentam valores de CE < 0,21 dS.m<sup>-1</sup>. Observou-se, também, uma redução de risco do referido problema quando as águas dos tributários da margem direita encontravam as do próprio rio Acaraú. A vulnerabilidade da bacia do Acaraú aos problemas de infiltração nas áreas irrigadas é devido aos baixos valores da CE.

**Termos para indexação:** sodificação, irrigação, sódio, sais totais.

**Abstract** - The water quality monitoring program is essential in Acaraú basin, Ceará, Brazil, due to large irrigation areas. To carry out the identification of irrigation fields with infiltration problems in the future due to the Acaraú River water sodicity this study was developed. 71 water samples were taken from 11 stations located along 315 km of the Acaraú River, from april/2002 to March/2003. Samples were analyzed for 13 parameters, namely pH, electrical conductivity (EC), Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> and Sodium Adsorption Ratio (SAR). Surfer and ArcView softwares were used to compose the vulnerability map of Acaraú basin due to the sodicity risk that comes from the irrigation water. Results showed up that the Acaraú basin, in almost the total, presents increasing to high and moderate/high risks of infiltration problems because of sodicity of water used in irrigation and soil classes. Areas with the highest risks are those sited at left side of Acaraú River, where EC values were lower than 0.21 dS.m<sup>-1</sup>. Also, it was observed a reduction of sodicity risk when water from tributaries of right side was added to the Acaraú River. The vulnerability of Acaraú basin to sodicity is due to the lower values of EC in the water of Acaraú River.

**Index terms:** alkaline, irrigation, sodium, total salts.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 19/12/2005; aprovado em 11/07/2006.

Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo segundo autor ao Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, CE

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., bolsista do CNPq, Profa. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Caixa Postal 12.168, Campus do Pici, CEP: 60.455.970, Fortaleza-CE, e-mail: eandrade@ufc.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, M.Sc., Irrigação e Drenagem, UFC, CE, e-mail: honey2004@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., bolsista do CNPq, Prof. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, e-mail: Adunias@ufc.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, aluno de mestrado em Irrigação e Drenagem; CCA/UFC, e-mail: marcosmeireles@bol.com.br

<sup>6</sup> Estudante de Agronomia, bolsista do SIPIBIC, CCA/UFC, CE

## Introdução

O crescimento em larga escala da agricultura irrigada nas regiões secas do globo, nas últimas décadas, vem promovendo a substituição de baixas taxas de evapotranspiração, por altas taxas; em uma superfície de aproximadamente 110 milhões de hectares (Wichelns et al., 2002). Tal ação, resulta em altas concentrações de sais no solo, que muitas vezes vão além da capacidade de suporte do recurso. Esses sais, em sua grande maioria, se encontram dissolvidos nas águas de irrigação (superficiais e subterrâneas). Pesquisadores como Smedema & Shiaty (2002), afirmam que mesmo em uma visão conservacionista, de 3 a 5 toneladas de sais são adicionadas por hectare irrigado ao ano, nas regiões secas do globo.

Estima-se que nas regiões semi-áridas, 25% dos solos irrigados estão comprometidos quanto a salinidade e a sodicidade. Com a incorporação de novas áreas irrigadas, esse problema vem aumentando a cada ano. O emprego de águas de boa qualidade com baixos níveis de salinidade e risco de sodicidade não deveriam oferecer maiores problemas à irrigação; no entanto, o inadequado balanço de sais comumente verificado em decorrência de problemas de drenagem, promove uma gradativa degradação dos solos irrigados e um progressivo aumento das áreas problema (Cordeiro, 1999; Freire et al., 2003).

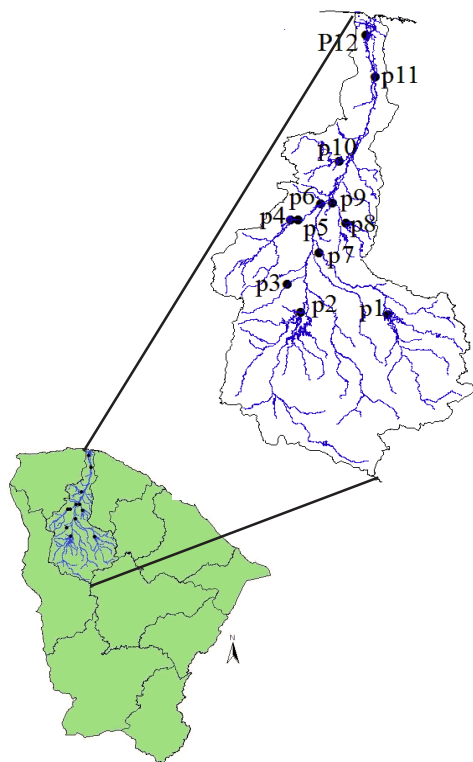
A água de irrigação, mesmo de excelente qualidade, pode ser um importante fator de comprometimento do solo se não for manejada corretamente, sendo este um dos principais impactos negativos da agricultura irrigada (Mcneal & Coleman, 1966). Na classificação das águas para irrigação, parâmetros como pH, condutividade elétrica (CE) e RAS (Razão de Adsorção de Sódio), são empregados para se avaliar a possibilidade da precipitação de sais, a indução da salinidade e a sodicidade em função da prática da irrigação (Silva Filho et al., 2002; Medeiros et al., 2003). A combinação da CE e da RAS serve para avaliar os perigos que a água oferece, respectivamente em termos de indução de salinidade e aumento nos teores de sódio na solução do solo (Ayeres & Westcot, 1999; Oliveira & Maia, 1998; Pizarro, 1985). Quando os problemas de infiltração presentes em áreas irrigadas não são em decorrência do efeito da RAS, invariavelmente, são devido às águas de salinidade muito baixa,  $CE < 0,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , (Holanda & Amorim, 1997). Dessa forma, os problemas de infiltração relacionados com a qualidade da água de irrigação que está sendo utilizada devem ser avaliados pelos valores de CE e RAS corrigida. Isso demonstra a necessidade de pesquisas que proporcionem melhor avaliação na

variabilidade espacial da qualidade das águas, visando à adoção de técnicas adequadas de manejo agrícola.

Este trabalho teve como objetivo estudar a dinâmica espacial da salinidade e sodicidade, utilizando-se de técnicas geoestatísticas, visando caracterizar futuras áreas com problemas de infiltração provocados através da sodicidade da água.

## Material e Métodos

A bacia do Acaraú fica situada na região norte do Estado do Ceará, sendo ampla em seu alto curso e estreitando-se próximo à costa (Figura 1). Drenada exclusivamente pelo rio Acaraú, o qual nasce na serra da Mata em cotas superiores a 800 m, a bacia do Acaraú desenvolve-se no sentido sul-norte, com aproximadamente 315 km de extensão, com uma capacidade total de acumulação de  $14.266 \text{ hm}^3$  e contendo 298 km de trechos de cursos d'água perenizados artificialmente, (COGERH, 2001).



**Figura 1** - Mapa do Estado do Ceará com a localização da área de estudo.

O clima da parte alta da bacia do Acaraú, segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw'h', semi-árido quente com chuvas de verão-outono, temperaturas médias mensais superiores a  $18^{\circ}\text{C}$ . Já o da parte baixa da bacia em estudo é Aw', tropical chuvoso com chuvas máximas

no outono. As médias anuais da umidade relativa e da velocidade do vento são de 70% e de 2 m.s<sup>-1</sup>. A pluviometria total anual da bacia do Acaraú para os anos de 2002 e 2003 foi de 892 e 1.156 mm, respectivamente. As chuvas apresentam uma distribuição unimodal com 80% do total concentrado nos meses de fevereiro a maio. A evaporação potencial, estimada pelo Tanque Classe A, apresenta uma média de 1.914 mm.ano<sup>-1</sup>. A geologia regional é composta essencialmente por terrenos cristalinos.

De acordo com o Mapa de Solos do Estado do Ceará (IPLANCE, 1992), ocorrem, predominantemente, na bacia do Acaraú, seis tipos de solo (Figura 2). A nomenclatura das classes é aquela definida pelo novo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999).

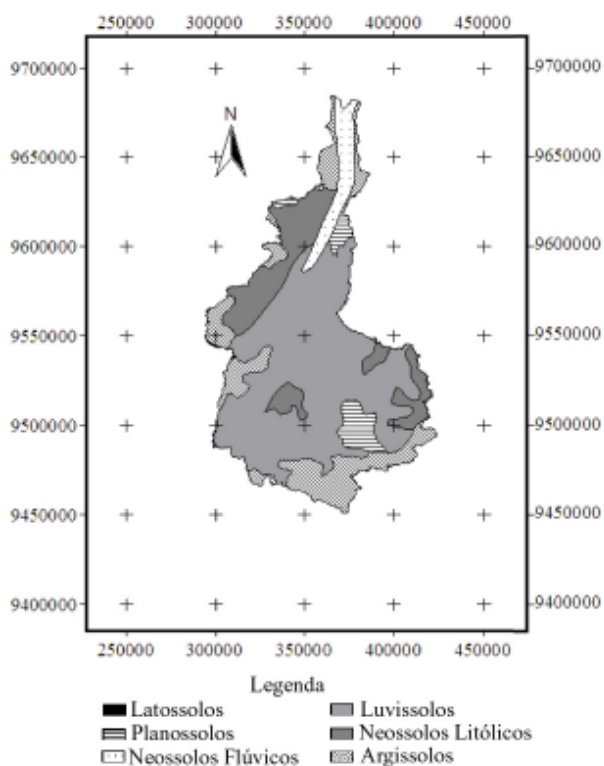


Figura 2 - Mapa de solos predominantes na bacia do Acaraú.

As amostras de água foram coletadas a cada dois meses, durante o período de abril de 2002 a março de 2003, em 11 postos, perfazendo um total de 71 amostras. Os postos de coleta foram georeferenciados através de GPS, com coordenadas em UTM (SAD 69), zona- 24 (Tabela 1). As águas coletadas foram acondicionadas em garrafas plásticas de 1000 mL, nas quais adicionaram-se duas gotas de tolueno a fim de evitar a proliferação de microorganismos;

e então, conduzidas ao laboratório de Solo e Água da Embrapa Agroindústria Tropical. Os atributos químicos analisados foram: pH, CE, cátions (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) e ânions (Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>).

Tabela 1 - Identificação e localização dos pontos amostrados na Bacia do Acaraú, Ceará.

Pontos		Local Geográfica (UTM)	
		Latitude	Longitude
P1	Válvula Edson Queiroz	9534056	381556
P2	Galeria açude Araras	9534948	339099
P3	Galeria Ayres de Souza	9582218	333690
P4	Projeto Irrig. S. Vicente	9581841	337272
P5	Rio Jaibaras	9590320	348619
P6	Rio Groaíras	9565672	347929
P7	Açude Forquilha	9580086	360518
P8	Dreno P. Irrig. Forquilha	9590284	354227
P9	Galeria Acaraú Mirim	9612414	357969
P10	Barragem Santa Rosa	9655900	374885
P11	R. Acaraú 20 km do mar)	9677058	370676

Para prever melhor o problema de infiltração causado por concentrações relativamente altas de sódio ou baixas de cálcio e magnésio nas águas de irrigação levou-se em consideração o emprego da RAS<sup>o</sup>. Conforme Suarez (1981), a RAS<sup>o</sup> facilita o entendimento das alterações que ocorrem com o cálcio na água do solo através de reações com carbonatos e silicatos. Como as águas na região do Nordeste brasileiro, normalmente, são pobres em sulfatos, este estimador é o mais adequado para prever riscos de sodificação ou infiltração da água no solo (Holanda & Amorim, 1997).

$$RAS^o = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{o} + Mg^{++}}{2}}}$$

Onde:

RAS<sup>o</sup> - razão de adsorção de sódio corrigida, em (mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>)<sup>0.5</sup>; Na<sup>+</sup> - concentração de sódio na água de irrigação, em mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>; Ca<sup>o</sup> - concentração de cálcio corrigido na água de irrigação, em mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>; Mg<sup>++</sup> - concentração de magnésio na água de irrigação, em mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>.

Visando caracterizar áreas com futuros problemas de infiltração como uma decorrência natural da sodicidade da água distribuída ao longo da bacia do Acaraú, elaborou-se o mapa que delimita as áreas de risco. Para definir as classes de qualidade das águas quanto à salinidade e sodicidade, adotou-se os limites da CE e da RAS<sup>o</sup> da água para irrigação estabelecidos pelo University of California Committee of Consultants (Ayers & Westcot, 1999).

Com base nos resultados das análises, geraram-se as grades de CE e da RAS<sup>o</sup> através do método de interpolação por krigagem e, variograma linear. De posse das matrizes de pontos, foram feitas as classificações das áreas consideradas similares com relação à CE, de acordo com a Tabela 2.

Em seguida realizou-se a categorização dos solos predominantes na bacia. A Tabela 3 apresenta a identificação dos solos, a classe atribuída e a limitação de uso desses solos em decorrência da sua drenagem.

Em seguida, foram gerados os mapas de restrição de uso das águas e do solo de acordo com as Tabela 2 e 3, respectivamente. Tendo como base os dois mapas anteriores, gerou-se um novo mapa de áreas homogêneas quanto ao risco de sodicidade em potencial dos solos da bacia do Acaraú. Este mapa foi gerado e classificado pelo emprego do software ARCVIEW versão 3.2. O método de interpolação utilizado nesse trabalho foi o de Krige. A teoria pertinente a essa técnica está descrita em Vieira et al. (1983); Isaaks & Srivastava (1989) e outros. RAS<sup>o</sup>

**Tabela 2** - Critérios para classificação da restrição de uso das águas da bacia do Acaraú quanto aos parâmetros de condutividade elétrica e sodicidade da água.

RAS <sup>o</sup>	Classe	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	Classe	Restrição
0-0,7	1	0-0,2	1	Severo
		0,2-0,4	2	Prob.crescente
		0,4-0,7	3	Prob.crescente
		0,7-0,8	4	Sem. Prob
0,7-1,4	2	0-0,2	1	Severo
		0,2-0,4	2	Prob.crescente
		0,4-0,7	3	Prob.crescente
		0,7-0,8	4	Sem. Prob
1,4-2,0	3	0-0,2	1	Severo
		0,2-0,4	2	Prob.crescente
		0,4-0,7	3	Prob.crescente
		0,7-0,8	4	Sem. Prob
2,0-2,85	4	0-0,2	1	Severo
		0,2-0,4	2	Prob.crescente
		0,4-0,7	3	Prob.crescente
		0,7-0,8	4	Sem. Prob

**Tabela 3** - Critérios para classificação da área quanto as limitações de uso apresentadas pela drenagem do solo.

Classificação	Drenagem	Classe	Restrição
Planossolos	drenagem baixa	1	risco severo
Luvissolos, Neossolos litólico	média/baixa	2	risco alto
Argissolos	drenagem moderada média	3	risco moderado
Neossolos flúvicos	moderada/acentuada	4	risco baixo
Latossolos	alta	5	sem risco

## Resultados e Discussão

Ultimamente, o risco de sodicidade passou a ser avaliado com mais segurança, relacionando a RAS corrigida (RAS<sup>o</sup>) com a salinidade da água, conforme procedimento sugerido por Suarez (1981). Por essa razão, a RAS<sup>o</sup> pode ser utilizada para prever melhor os problemas de infiltração em decorrência de concentrações relativamente altas de sódio ou baixas de cálcio nas águas de irrigação (Holanda & Amorim, 1997).

Pode-se verificar através da Tabela 4 que os postos 1; 2; 6; 7; 9; 10 e 11 apresentaram classificação C<sub>1</sub>S<sub>2</sub> com nenhuma restrição quanto a salinidade e média sodicidade. A presença de águas com esta classe, nesses postos, pode ser resultante da drenagem dos solos classificados como Luvissolos, os quais são formados por rochas gnáissicas com predominância de sódio e potássio (Figura 2).

Autores como Freire et al. (2003), Ayeres & Westcost (1999) e Holanda & Amorim (1997), apontam a necessidade

de um controle criterioso da água usada na irrigação, principalmente quando a condutividade elétrica (CE) e relação de adsorção de sódio corrigida (RAS<sup>o</sup>) apresentam valores baixos. Os autores supra citados comentam que águas classificadas como C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> podem apresentar comportamento semelhante às águas C<sub>1</sub>S<sub>5</sub>, quanto à velocidade de infiltração, em decorrência da dispersão dos colóides.

Embora o maior valor da RAS<sup>o</sup> tenha sido registrado para o posto 8, as águas, seguindo o procedimento do UCCC, foram classificadas como C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>; indicando uma crescente salinização e uma baixa sodicidade. Este fato pode ser explicado pelo valor mais elevado da CE (0,83 dS.m<sup>-1</sup>) das águas representativas do referido posto (Tabela 4). Esses resultados confirmam o preceito definido por Pizarro (1985), de que os sais da solução do solo têm um efeito flocculante, oposto ao efeito dispersante do sódio trocável; dessa forma, para uma mesma RAS, o risco de

**Tabela 4** - Classificação das águas para fins de irrigação na bacia do Acaraú.

Pontos	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	RAS <sup>0</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>	Classificação
P1	0,38	1,23	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>
P2	0,21	0,75	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>
P3	0,13	0,49	C <sub>1</sub> S <sub>3</sub>
P4	0,12	0,54	C <sub>1</sub> S <sub>3</sub>
P5	0,17	0,69	C <sub>1</sub> S <sub>3</sub>
P6	0,35	1,13	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>
P7	0,31	1,36	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>
P8	0,83	2,86	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>
P9	0,21	0,72	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>
p10	0,25	1,02	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>
p11	0,26	1,01	C <sub>1</sub> S <sub>2</sub>

sodicidade será menor quanto maior for a CE da água. Vale salientar que a maior concentração de sais totais registrada nesse posto, é em decorrência das águas de drenagem superficial e sub-superficial do perímetro de irrigação do Forquilha, onde predomina a irrigação por superfície.

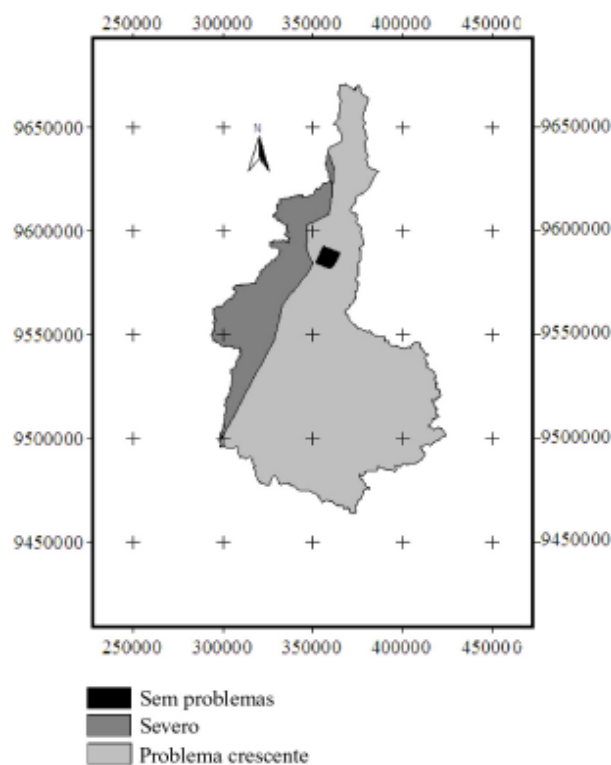
As águas dos postos restantes (3; 4 e 5) enquadraram-se na classe C<sub>1</sub>S<sub>3</sub>, com baixa salinidade e crescente risco de sodicidade. O incremento quanto a sodicidade ocorreu em virtude da baixa concentração de sais totais (CE < 0,17 dS.m<sup>-1</sup>) e não por elevados valores da RAS<sup>0</sup>.

O risco do efeito do sódio da água de irrigação fundamenta-se na elevação da percentagem de sódio trocável do solo, com danos nas suas propriedades físico-químicas, promovendo problemas de infiltração. Em geral, a infiltração aumenta com a salinidade e diminui com a redução desta. Para águas com CE inferior a 0,5 dS.m<sup>-1</sup> e, particularmente, abaixo de 0,2 dS.m<sup>-1</sup>, os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, tendem a lixiviar, reduzindo sua influencia sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo (Ayers & Westcot, 1999). As baixas concentrações de sais presentes na água dos postos 3; 4 e 5 estão relacionadas aos solos predominantes na parte oeste da bacia (Figura 2). São solos pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, textura arenosa com substrato composto por arenito, siltito, argilito, calcário e conglomerados com baixa capacidade de troca iônica.

Em estudos desenvolvidos sobre a qualidade de água empregada nas áreas irrigadas da Chapada do Apodi, Ceará, pesquisadores como Andrade et al. (2001), não identificaram risco de sodicidade, embora as concentrações de sódio nas águas fossem superiores a 5 mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>. Tal fato ocorreu devido a maior concentração dos sais totais (CE > 1,5 dS.m<sup>-1</sup>) na referida água. A infiltração da água com baixos níveis de sais em solos salino-sódicos,

por exemplo, poderá agravar os problemas próprios desses solos, ao lixiviar os sais solúveis e provocar a dispersão, promovendo redução na condutividade hidráulica (Mcneal & Coleman, 1966). Dessta forma, os problemas relacionados a infiltração devem ser avaliados com relação a qualidade da água de irrigação (CE e RAS corrigida) e a drenagem predominante do solo irrigado.

Os limites utilizados neste trabalho para a classificação da água de irrigação quanto aos problemas de infiltração no solo, provocado pela sodicidade da água podem ser vistos na Tabela 2. Ao fazer o cruzamento das áreas categorizadas para CE e RAS<sup>0</sup>, segundo os critérios da tabela supra citada, obteve-se o mapa de classificação de restrição de uso das águas quanto aos dois parâmetros analisados (Figura 3). As águas foram categorizadas em: águas sem riscos, riscos crescentes e riscos severos, respectivamente.



**Figura 3** - Classificação dos riscos de problemas com a infiltração que podem ser gerados pela sodicidade da água de irrigação na bacia do Acaraú.

Através da referida figura pode ser observada a área representativa para cada classe. Um total de 11.545 km<sup>2</sup>, 80% da área de drenagem da bacia do Acaraú, foi classifi-

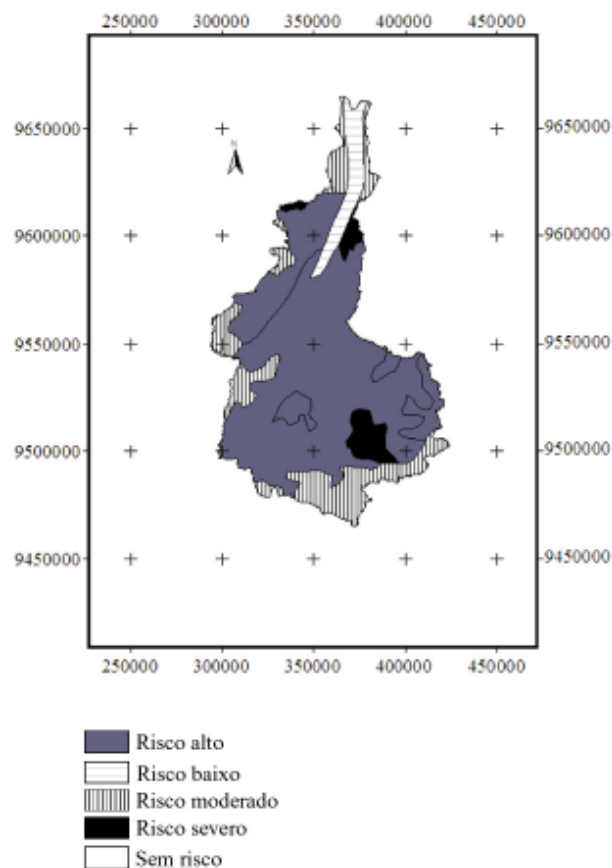
cado, em potencial, com problemas crescentes quanto ao risco de variações da infiltração do solo promovidas pela sodicidade da água. A limitação de uso da água devido a sodicidade, na bacia do Acaraú, é em decorrência das baixas concentrações de sais totais e não de elevadas concentrações de sódio (Tabelas 2 e 4).

As águas que drenam as áreas situadas na parte externa esquerda da bacia, em um total de 2.802 km<sup>2</sup>, foram enquadradas na categoria severo quanto ao risco de problemas de infiltração gerado pela sodicidade da água. Os problemas de infiltração que poderão ser gerados pelas águas da margem esquerda do rio Acaraú serão devido aos baixos valores médios da CE ( $< 0,20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) registrados nos postos 3; 4 e 5 de coletas. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira & Maia (1998), para as águas dos aquíferos em regiões sedimentares do Rio Grande do Norte.

A área da bacia classificada como sem problema foi equivalente a 99 km<sup>2</sup>, o que representa menos de 1% da área total (Figura 3). Pela Tabela 3 observa-se que a ausência de risco de problemas com a infiltração em decorrência da sodicidade não foi devida a menores concentrações de sódio mas pelo aumento da concentração total dos sais, CE média  $> 0,70 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Este resultado confirma o preceito da dinâmica das águas na definição dos riscos de problema de infiltração apresentados por Ayeres & Westcost (1999).

A classificação dos solos quanto ao risco de sodicidade em decorrência das características de drenagem natural pode ser vista na Figura 4. Cinco por cento da área total da bacia, 734 km<sup>2</sup>, foram categorizados como de risco severo no que concerne a problemas de infiltração. Os solos predominantes nessa classe são os Planossolos, os quais se caracterizam por uma baixa permeabilidade e uma drenagem imperfeita. São ricos em argilas de atividade alta do tipo 2:1, com concentrações de sódio elevada nos horizontes sub-superficiais. A presença do sódio promove a quebra da estrutura do solo, gerando a obstrução dos poros com redução, quase que total, do movimento de água no solo (Wichelns et al., 2002).

Uma área equivalente a 10.251 km<sup>2</sup> da bacia do Acaraú apresentou um potencial de alto risco, Figura 4, podendo apresentar problemas futuros de infiltração em áreas irrigadas. Essa classe foi composta, basicamente, pelos Luvisolos e Neossolos litólicos, os quais se caracterizam por uma drenagem de baixa a moderada, com presença de argila do tipo 2:1 (IPLANCE, 1992). São solos que apresentam riscos de salinidade e sodicidade com a presença de sódio no horizonte B, devendo, portanto, ser



**Figura 4** - Classificação dos riscos com problemas de infiltração nos solos da bacia do Acaraú.

usado com critério na irrigação, especialmente em regiões áridas onde se registram elevadas taxas de evapotranspiração.

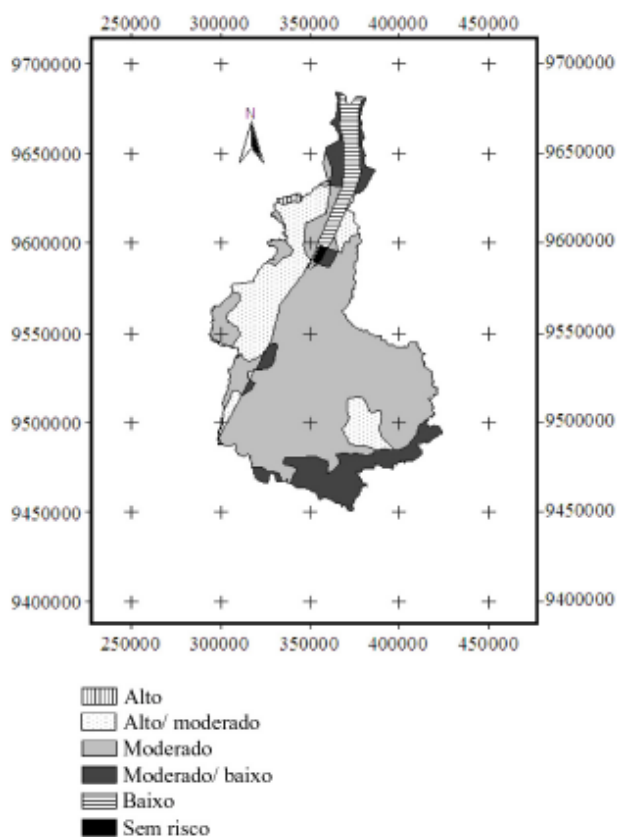
Dos 24,3% restante da área, 18,5% foram categorizados como solos que apresentam riscos moderados, 5,7% riscos baixos e somente 0,1% dos solos não apresentou nenhum risco de vir a ter limitações de uso na irrigação em decorrência de problemas com sodicidade. Os solos que se mostraram isentos de desenvolver problemas de sodicidade em decorrência das propriedades físicas foram os Latossolos, os quais são solos profundos com alta permeabilidade e porosidade, apresentando textura, predominantemente, média (IPLANCE, 1992).

A Figura 5 apresenta a regionalização das áreas da bacia do Acaraú quanto ao risco de sodicidade pela água usada na irrigação. Observa-se que 80% da extensão total da bacia, 11.545 km<sup>2</sup>, foram classificadas como áreas que apresentam risco alto a moderado/alto. Nessas áreas, os solos irrigados necessitam de um manejo criterioso, com a incorporação de matéria orgânica e correções a base de

cálcio, para neutralizar o sódio existente no horizonte B dos Luvissoles, solos predominantes na bacia.

Comparando-se as Figuras 4 e 5, pode-se observar que toda a faixa aluvional da parte baixa da bacia foi enquadrada na classe de risco baixo quanto ao desenvolvimento de problemas no solo com relação a sodicidade da água. Este baixo risco é decorrência da boa drenagem e ausência de argila do tipo 2:1 nos aluviões da bacia do Acaraú. Pode-se, ainda, observar pela Figura 5 que somente 0,27% da área total da bacia não apresenta potencial em desenvolver problemas com infiltração do solo em decorrência da sodicidade da água; e que essa área se encontra inserida na faixa aluvional. A mudança de classe ocorreu devido a qualidade das águas dessa área.

Considerando-se a classe de risco e a maior disponibilidade hídrica existente na área aluvional, esta é a região da bacia que apresenta maior potencial de uso pela irrigação com um menor risco de degradação para o recurso solo.



**Figura 5** - Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú a problemas de infiltração do solo pela sodicidade da água.

## Conclusões

De acordo com o estudo realizado com água da bacia do Acaraú, pode-se afirmar que:

1. O mapa de vulnerabilidade nos mostra que 80% da área total da bacia apresenta risco crescente de problemas com a infiltração em decorrência da sodicidade da água;
2. A vulnerabilidade da bacia do Acaraú a problemas de infiltração é em decorrência dos baixos valores da CE. As áreas de maiores riscos são aquelas localizadas na margem esquerda do rio Acaraú, onde foram encontradas as águas com menores valores de CE; e
3. Os solos com maior potencial ao desenvolvimento da irrigação correspondem à faixa aluvional da parte baixa da bacia do Acaraú.

## Agradecimentos

Ao PRODETAB 16/MAA pelo financiamento desta pesquisa.

## Referências Bibliográficas

- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L.; CRUZ, M. G. M Irrigation land use impacts in Baixo Jaguaribe Watershed. In: INTER-REGIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT-WATER, 4., 2001, Fortaleza. **Proceedings...** Fortaleza:UFV 2001. p.279-284.
- AYERES, R. S; WESTCOST, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPb, 1999, 153p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- COGERH. Programa de gerenciamento das águas territoriais. Fortaleza, 2001. Boletim técnico, Convênio COGERH/DNOCS.
- CORDEIRO, G. **Salinidade em áreas irrigadas**. Petrolina, 1999. Disponível em: <<http://www.cpatia.embrapa.br/artigos/salinidade.html>> Acesso em: 23maio2003
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FREIRE, M. B. G. S. dos; RUIZ, H. A; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.227-232, 2003.
- HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. A. Manejo e controle da salinidade da água na agricultura irrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997. Campina Grande. **Resumos...** Campina Grande:SBEA:UFPb, 1997, cap.5, p. 137-169.

- IPLANCE. **Mapa de solos do Estado do Ceará**. Fortaleza, 1992. ICD-ROOM.
- ISAAKS, E. H; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford: University Press, 1989. 561p.
- MCNEAL, B. L.; COLEMAN, N. T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity, **Soil Science Society of America Proceedings**, v.30, p.308-312, 1966.
- MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. A. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.469-472, 2003.
- OLIVEIRA, M. de; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na região sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.17-21, 1998.
- PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Española, 1985. 542p.
- SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A; LIMA, E. M; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade e acúmulo de sais no solo pela irrigação, **Irriga**, v.5, n.2, p35-40, 2002.
- SMEDEMA, L. K.; SHIATI, K. Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. **Irrigation and Drainage Systems**, v.16, p.161-174, 2002.
- SUAREZ, D. L. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) an alternative method of estimating sar of soil or drainage waters, **Soil Science Society American Journal**, n.45, p.469-475, 1981.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; BIGGAR, J. W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.31, n.3, 75p, 1983.
- WICHELNS, D.; CONE, D.; STUHR, G. Evaluating the impact of irrigation and drainage policies on agricultural sustainability. **Irrigation and Drainage Systems**, v.16, p.1-14, 2002.