

# DINÂMICA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA IRRIGAÇÃO EM RESERVATÓRIOS DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

JOSÉ RIBEIRO DE ARAÚJO NETO<sup>1</sup>, MARIA MONALIZA DE SALES<sup>1</sup>,  
HELBA ARAÚJO DE QUEIROZ PALÁCIO<sup>1</sup>, FRANCISCO EMANOEL FIRMINO GOMES<sup>3</sup>,  
LUIZ CARLOS GUERREIRO CHAVES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus Iguatu*

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará (UFC)

<juniorifcelabas@gmail.com>, <monnallysa2011@hotmail.com>, <helbaraujo23@yahoo.com.br>,  
<emanoelfg@hotmail.com>, <luizcarlosguerreiro@gmail.com>

**Resumo.** O presente trabalho objetivou avaliar e comparar a dinâmica qualitativa das águas superficiais de reservatórios do Estado do Ceará com relação à salinidade e sodicidade, baseado no diagrama de classificação do United States Department of Agricultural (USDA) e do University of California Committee of Consultants (UCCC). Os dados utilizados no presente trabalho foram provenientes do banco de dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) no período de 1998/2009, num total de 807 amostras de águas de diferentes reservatórios artificiais (açudes). Os parâmetros considerados para o estudo foram a Condutividade Elétrica das Águas (CE), a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e a Razão de Adsorção de Sódio Corrigida (RAS<sup>o</sup>). Os resultados mostraram uma diferença marcante entre as classificações propostas pelo USDA e pelo UCCC. Sendo que, a principal divergência observada entre as classificações foram quando se trata da sodicidade das águas. De acordo com a classificação do USDA 97,9% dos reservatórios, enquadraram-se na classe de baixos riscos de causar problemas de infiltração devido a sodicidade. No entanto, de acordo com a classificação do UCCC 97,9% dos reservatórios enquadraram-se nas classes de moderado a severo grau de restrição em causar problemas de infiltração nos solos.

**Palavras-chaves:** irrigação, salinidade, sodicidade, semiárido.

**Abstract.** This study aimed to evaluate and compare the qualitative dynamics of surface water in reservoirs in the state of Ceará in relation to salinity and sodicity, based on the classification diagram of United States Department of Agricultural (USDA) and the University of California Committee of Consultants (UCCC). The data used in this study were derived from the database of the Society of Water Resources Management (COGERH) in the period 1998/2009, a total of 807 water samples of different artificial reservoirs (dams). The parameters considered for the study were the Electrical Conductivity of Water (EC), the Sodium Adsorption Ratio (SAR) and Sodium Adsorption Ratio Corrected (RAS<sup>o</sup>). The results showed a marked difference between the classifications proposed by the USDA and the UCCC. Since, the main difference observed between the classifications were when it comes to sodicity waters. According to the USDA classification 97.9% of the reservoirs, were classified in the class of low risk of causing infiltration problems due to sodicity. However, according to the classification of the UCCC 97.9% of the reservoirs they were classified in classes of moderate to severe degree of restriction cause infiltration problems in soils.

**Keywords:** irrigation, salinity, sodicity, semiarid.

## 1 INTRODUÇÃO

Em regiões semiáridas a escassez de água, decorrente da pouca incidência de chuvas, que ocorrem apenas em

curtos períodos de três a cinco meses por ano e são irregularmente distribuídas no tempo e no espaço, aliada à ocorrência de altas taxas de evaporação, é responsável

pela intermitência de quase toda a rede hidrográfica dessas regiões, o que representa um severo problema para a captação e armazenamento desse recurso. Dentre os Estados que compõe a região semiárida brasileira, o Ceará é aquele onde se tem maior extensão de semiárido, sendo o pioneiro na instalação da política de açudagem com o propósito de minimizar a escassez de água principalmente no período de seca (ANDRADE; MEIRELES; PALÁCIO, 2010).

De acordo com (SUASSUNA, 2010), o principal aspecto que traz problemas muito sérios de salinização nos açudes do semiárido, principalmente na pequena e média açudagem, é o fato desses apresentarem formas geométricas variadas devido à falta de planejamento inicial no momento da sua construção trazendo inevitáveis problemas de dimensionamento, não sendo raros os açudes que nunca vieram a sangrar, sendo que as águas ficam sujeitas à concentração salina devido ao fenômeno da evaporação intensa (ANDRADE et al., 2006; Araújo neto et al., 2010; LEMOS; NETO; DIAS, 2010).

O conhecimento do teor total de sais solúveis (condutividade elétrica, CE) presentes na água, bem como do teor de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio (razão de adsorção de sódio) permite a utilização e manejo da água de forma mais adequada na agricultura irrigada (PIZARRO, 1985; FREIRE et al., 2003; BRITO et al., 2005; CHAVES et al., 2009). Várias classificações para a água de irrigação são citadas na literatura. As águas podem ser classificadas para uso na irrigação por meio de diferentes diagramas, sendo o mais utilizado o diagrama proposto pelo United States Department Agricultural - USDA que considera a CE como indicadora do perigo de salinização do solo e a RAS como indicadora do risco de sodificação e redução da infiltração no solo. Nesse diagrama, à medida que a salinidade da água aumenta diminui o risco de causar sodicidade (RICHARDS, 1954). Contudo, a classificação que leva em consideração a CE, como indicador do perigo de salinidade, e a RAS corrigida ( $RAS^\circ$ ), como indicador do perigo de sodicidade, tem sido, atualmente, sugerida pela FAO. A  $RAS^\circ$  prevê melhor os problemas de infiltração causados nos solos por concentrações altas de sódio ou baixas de cálcio nas águas utilizadas para irrigação (AYERS; WESTCOT, 1999; MEIRELES, 2007; GHEYI; DIAS; LACERDA, 2010).

A principal divergência entre essas classificações é que o USDA tem como suposição que o cálcio e magnésio tem a mesma seletividade de troca iônica, o que não corresponde à realidade; para uma mesma RAS a adsorção de sódio cresce ao aumentar a relação Mg/Ca devido à menor energia de adsorção do magnésio, não

levando em conta a possibilidade de precipitação de sais, fenômeno que pode aumentar o risco de sodicidade, já que o cálcio é o cátion mais sujeito a reação, precipitando na forma de carbonato e sulfato que são de baixa solubilidade. Já a classificação do UCCC considera a precipitação do cálcio, levando em consideração os ânions como  $HCO_3^-$  e  $CO_3^{2-}$ . Outra diferença entre as classificações é que a classificação do USDA tem um erro conceitual, pois, os sais da solução do solo tem um efeito floculante, oposto ao efeito dispersante do sódio trocável, dessa forma, para uma mesma RAS o risco de sodicidade será menor quanto maior for a CE, assim as linhas descendentes no diagrama não são descendentes como proposto pelo USDA, mas sim ascendentes como traçadas empiricamente com os valores das classes de salinidade do UCCC, citado por Pizarro (1985) e das classes de sodicidade/infiltração apresentadas por Ayers e Westcot (1999).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar e comparar a dinâmica qualitativa das águas superficiais de reservatórios do Estado do Ceará com relação à salinidade e sodicidade, baseado no diagrama de classificação do United States Department of Agricultural (USDA) e do University of California Commitee of Consultants (UCCC).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Estado do Ceará, localizado entre as latitudes  $02^\circ 30' 00''$  e  $08^\circ 52' 00''$ S e as longitudes  $37^\circ 14' 00''$  e  $41^\circ 30' 00''$ W. A Figura 1 ilustra a área do levantamento, destacando os 48 reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), ao longo das 11 bacias e sub-bacias hidrográficas do Estado.

Localizado na zona do “Polígono das secas”, o Estado do Ceará é caracterizado por anos de baixos níveis pluviométricos anuais, sendo necessária para assegurar uma produção agrícola em épocas de estiagem a prática de irrigação (PALÁCIO et al., 2011). O Ceará pertence a duas províncias hidrogeológicas: o escudo oriental e a província costeira. Cerca de 70% da área do Ceará é composta de embasamento cristalino, representando 21% do total do cristalino nordestino ( $500.000 \text{ Km}^2$ ), sendo caracterizado por solos de pequena espessura ( $\leq 2 \text{ m}$ ). Há também bacias sedimentares como as de Iguatu, do Apodi, do Araripe e da Ibiapaba. Além dos aquíferos existentes nestas conformações, existem áreas de aluviões, e o sedimento costeiro que é formado por sistemas dunas, paleodunas e formação barreiras (SILVA; ARAÚJO; SOUZA, 2007).

A região meridional e centro-oriental do Ceará é drenada pelo rio Jaguaribe, o maior do Estado, que

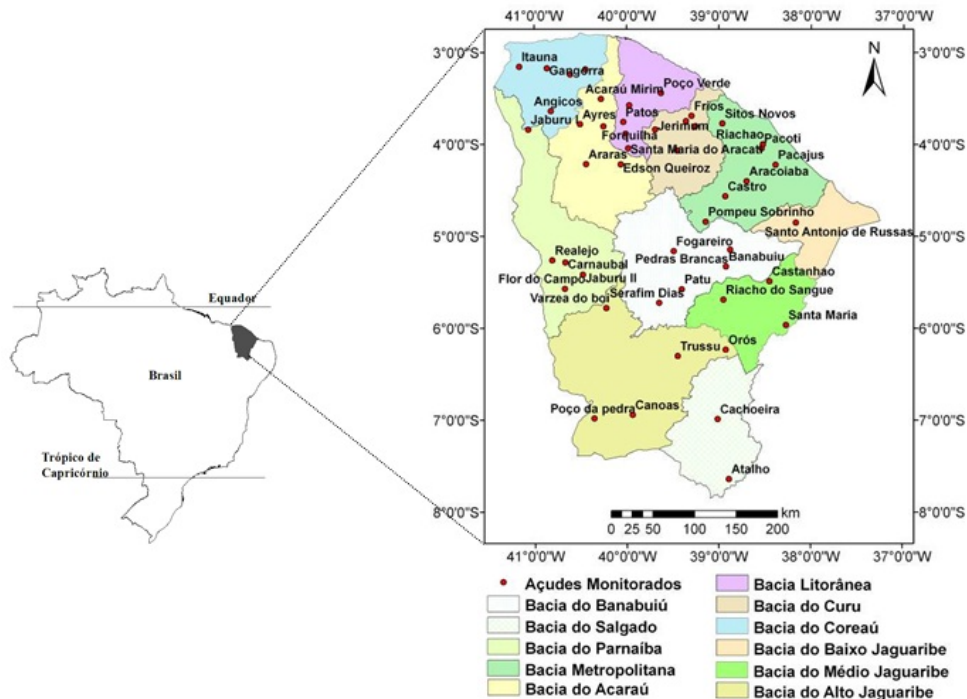


Figura 1: Localização por bacia hidrográfica dos reservatórios estudados no Estado do Ceará.

corre numa extensão de 800 km. Ao norte, destaca-se o rio Acaraú e a oeste o rio Poti, que após atravessar o boqueirão existente na Chapada do Ibiapaba, junta-se ao rio Parnaíba, já em território do Estado do Piauí. Encontram-se ainda entre os mais importantes do Estado, os rios Salgado, Conceição, Coreaú, Banabuiú, Trussu, Pacoti e Pirangi. Com exceção do trecho ao longo da costa e das chapadas e pequenas serras, o clima em boa parte do território do Estado do Ceará é semiárido, com médias pluviométricas inferiores a 600 mm e irregularidade nas precipitações, o que ocasiona secas periódicas. Em consequência desse fenômeno, os cursos d'água são temporários, permanecendo secos ao longo de todo o verão, e a vegetação dominante é a da caatinga, com sua paisagem típica, de pequenas árvores retorcidas (SILVA; ARAÚJO; SOUZA, 2007).

Os dados utilizados no presente estudo foram provenientes do banco de dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) disponibilizados ao Instituto Nacional Científico Tecnológico em Salinidade/UFC - INCTSal. Os dados correspondem ao período de 1998/2009, num total de 807 amostras de águas de diferentes mananciais. Os parâmetros considerados foram a condutividade elétrica das águas (CE) em  $\text{dS.m}^{-1}$ , bem como, a razão de adsorção de sódio (RAS) e razão de adsorção de sódio corrigida ( $\text{RAS}^\circ$ ).

Para a classificação das águas para irrigação foram

utilizadas as metodologias propostas pelo United States Department Agricultural - USDA (RICHARDS, 1954) e pelo o University of California Committee of Consultants - UCCC (AYERS; WESTCOT, 1999). A classificação proposta pelo USDA considera a CE como indicadora do perigo de salinização do solo e a RAS como indicadora do risco de sodificação e redução da infiltração no solo. Nesse diagrama, à medida que a salinidade da água aumenta diminui o risco de causar sodicidade. Na classificação proposta pelo UCCC, a condutividade elétrica (CE) também é considerada como indicadora do perigo de salinidade, mas a RAS é agora corrigida ( $\text{RAS}^\circ$ ) para indicar o risco de sodicidade.

A razão de adsorção de sódio corrigida  $\text{RAS}^\circ$  prevê melhor os problemas de infiltração causados nos solos por concentrações altas de sódio ou baixas de cálcio nas águas utilizadas para irrigação, pois considera o cálcio corrigido pela salinidade da água (CE) para o teor de bicarbonato. A RAS corrigida ( $\text{RAS}^\circ$ ) pode ser calculada pelo procedimento adotado por Suarez (1981), que admite que a concentração inicial de cálcio na solução do solo pode ser maior ou menor do que a concentração da água de irrigação. Este desequilíbrio da concentração de cálcio ocorre na solução do solo porque o nível desse elemento é controlado pela dissolução e precipitação do calcário ( $\text{CaCO}_3$ ). Se ocorre precipitação, a concentração final de cálcio na solução do solo será me-

nor do que a da água de irrigação, isso poderá aumentar a quantidade de sódio trocável.

A RAS<sup>o</sup> é determinada estimando-se a concentração de cálcio em equilíbrio ou cálcio corrigido (Ca<sup>o</sup>), que substituirá o cálcio (Ca). Os dados requeridos para essa correção são as concentrações de cálcio e de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>) da água de irrigação, em mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>, bem como a condutividade elétrica, μS.cm<sup>-1</sup> (SUAREZ, 1981). O referido método oferece melhor compreensão das modificações do teor de cálcio na solução do solo, que aumenta com a dissolução do calcário e silicatos e diminui com a precipitação do cálcio em forma de carbonato. A concentração de cálcio em equilíbrio na água de irrigação é estimada usando-se o seguinte procedimento (SUAREZ, 1981):

1. Calcula-se a razão HCO<sub>3</sub>/Ca, em mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>;
2. Enquadra-se o valor da razão calculada no lado esquerdo da Tabela de concentração de cálcio contida na água do solo, próximo a superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO<sub>3</sub>/Ca e CE, encontrando-se uma razão aproximada;
3. Enquadra-se o valor de condutividade elétrica da água (CE) no cabeçalho da Tabela, encontrando-se uma CEa aproximada;
4. Se os valores de HCO<sub>3</sub>/Ca e da CE não se aproximarem dos valores listados na Tabela, deve-se fazer extrapolação a partir de dois valores (um menor e outro maior) próximos;
5. Move-se a coluna de números a partir da CE aproximada até coincidir com a razão aproximada. O número de cálcio em equilíbrio (Ca<sup>o</sup>);
6. Utiliza-se o valor da concentração de cálcio em equilíbrio para calcular a RAS corrigida (RAS<sup>o</sup>). A RAS corrigida será ligeiramente superior ou inferior a RAS.

A fórmula para o cálculo da relação de adsorção de sódio corrigida (RAS<sup>o</sup>) é calculada mediante a seguinte expressão:

$$RAS^o = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^o + Mg}{2}}} \quad (1)$$

Onde:

Na: teor de sódio na água, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Ca<sup>o</sup>: teor de cálcio da água, corrigido pela salinidade da água (CE) para o teor de bicarbonato em relação ao seu próprio

teor de cálcio (HCO<sub>3</sub>/Ca), mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>; Mg: teor de magnésio na água, mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>.

Na Tabela 1 verifica-se os padrões de qualidade de água para irrigação, considerando os aspectos de salinidade e sodicidade das águas, proposto pelo United States Department of Agricultural - USDA (RICHARDS, 1954).

Na Tabela 2 observa-se os padrões de qualidade de água para irrigação, considerando os aspectos de salinidade e sodicidade das águas, proposto pelo University of California Committee of Consultants - UCCC e pelos critérios estabelecidos por (AYERS; WESTCOT, 1999).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Classificação para fins de irrigação - USDA

Conforme o diagrama de classificação de água para irrigação do USDA (Figura 2) (RICHARDS, 1954) as águas superficiais dos reservatórios artificiais do Ceará, foram classificadas quanto ao risco de salinidade das águas como C1 em 23% dos reservatórios, C2 em 70,7% e C3 em 6,3%. De acordo com a classificação da água para irrigação do USDA, a variação da salinidade das águas superficiais dos reservatórios do Ceará apresentou risco de causar problemas de salinidade variando de baixo (C1), em que são águas que podem ser utilizada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solo, com pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade, a risco alto (C3), em que são águas que não podem ser usadas em solos com drenagem deficiente, mesmo com drenagem adequada, podem ser necessárias práticas especiais de controlada salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância aos sais, os riscos apresentados por esta classe de água podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido (GHEYI; DIAS; LACERDA, 2010).

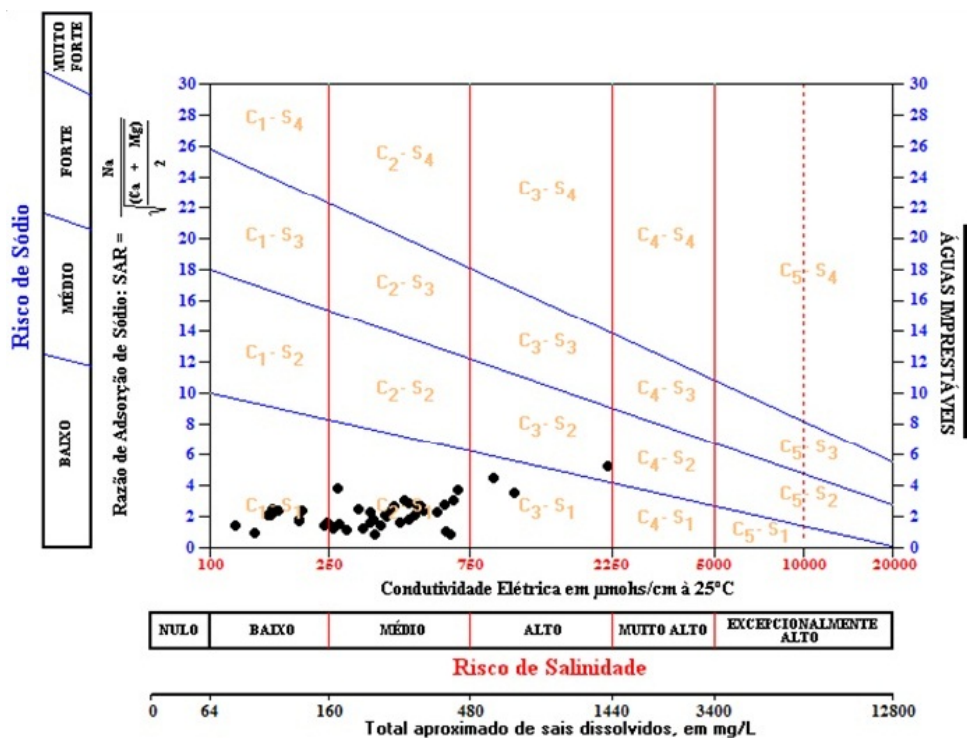
Quanto ao risco de sodicidade, de acordo com a classificação da água para irrigação do USDA, as águas foram classificadas em sua maioria como S1 com 97,9% dos reservatórios estudados nesta classe, sendo apenas 2,1% dos reservatórios enquadrados na classe S2. Isso significa que as águas superficiais dos reservatórios do Ceará apresentaram riscos de sodicidade do solo de baixo (S1) a médio (S2) risco, podendo ser usadas para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de atingir níveis perigosos de sódio trocável, no entanto as águas com médio risco de sodicidade devem-se ter precauções em solos de textura fina (argiloso), pois o sódio dessa classe de água apre-

**Tabela 1:** Critérios para classificação da restrição de uso das águas superficiais do Estado do Ceará quanto aos parâmetros CE e RAS. Fonte: Adaptado - United States Department of Agricultural (RICHARDS, 1954)

Classes	Grau de Restrição	Limites
Salinidade - CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$		
C1	Baixo	<250
C2	Médio	250 - 750
C3	Alto	750 - 2250
C4	Muito Alto	>2250
Sodicidade - RAS		
S1	Baixo	RAS <18,87 - 4,44 logCE
S2	Médio	18,87 - 4,44 logCE <RAS <31,31 - 6,66 logCE
S3	Alto	31,31 - 6,66 logCE <RAS <43,75 - 8,87 logCE
S4	Muito Alto	RAS >43,75 - 8,87 logCE

**Tabela 2:** Critérios para classificação da restrição de uso das águas superficiais do Estado do Ceará quanto aos parâmetros CE e RAS<sup>o</sup>

Problemas potenciais	Unidade	Grau de restrição para uso		
		Nenhum	Moderado	Severo
Salinidade		C1	C2	C3
CE	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	<700	700 - 3000	>3000
Sodicidade - Infiltração		S1	S2	S3
RAS <sup>o</sup> = 0-3 e CE =		>700	700 - 200	<200
RAS <sup>o</sup> = 3-6 e CE =		>1200	1200 - 300	<300
RAS <sup>o</sup> = 6-12 e CE =		>1900	1900 - 500	<500
RAS <sup>o</sup> = 12-20 e CE =		>2900	2900 - 1300	<1300
RAS <sup>o</sup> = 20-40, e CE =		>5000	5000 - 2900	<2900



**Figura 2:** Classificação das águas superficiais dos reservatórios do Ceará de acordo com o diagrama proposto pelo United States Department of Agricultural - USDA (RICHARDS, 1954).

senta um perigo considerável de dispersão com redução de permeabilidade (GHEYI; DIAS; LACERDA, 2010). Águas superficiais no semiárido do Nordeste com baixos riscos de sodicidade, de acordo com o USDA, sem restrição de seu uso quanto ao risco da sodificação e/ou permeabilidade da água no solo também foram observadas por Oliveira et al. (2005), Barroso et al. (2011), Silva, Araújo e Souza (2007).

De acordo com os riscos conjuntos de salinidade e sodicidade pela classificação do USDA, as águas dos reservatórios do Estado do Ceará foram classificadas como C1S1 em 23% dos reservatórios, C2S1 em 70,7%, C3S1 em 4,2% e C3S2 em 2,1%. A maior parte das águas superficiais dos reservatórios estudados no Estado do Ceará (93,7%) enquadraram-se nas classes C1S1 e C2S1, concordando com resultados encontrados também para o Ceará por Lobato et al. (2008), avaliando a qualidade das águas superficiais para irrigação usando o diagrama do USDA na bacia hidrográfica do Acaraú, Ceará. Resultados semelhantes também foram observados por (Figueredo Júnior et al., 2013) avaliando a qualidade das águas do Distrito de Irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí - DITALPI, onde observou que as águas do distrito de irrigação foram classificadas como C1S1, de acordo com a classificação do USDA, isto é, apresenta baixo perigo de salinização e sodificação do solo.

Águas superficiais com salinidade de baixa a alta e com médio risco de sodicidade foram observados por Brito et al. (2005), avaliando a influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre na Bahia.

Os reservatórios que apresentaram maiores problemas de salinidades no Estado do Ceará, sendo classificados de acordo com o diagrama do USDA como C3 foram o reservatório Pedras Brancas na bacia do Banabuiú e os reservatórios Castro e Pompeu Sobrinho na Bacia Metropolitana. De acordo com Palácio et al. (2011) essas elevadas concentrações de sais verificadas para esses reservatórios podem ser relacionadas, para o açude Pedras Brancas, com o modo de operação do reservatório que, aliado à elevada taxa de evaporação potencial das águas no período de estiagem, promovem a concentração dos sais. Já no açude Castro está relacionada com a pressão da cidade de Itapiúna aliado às águas novas nas primeiras coletas, pois o reservatório foi concluído em 1997, pouco tempo antes do início do monitoramento.

Quanto ao Pompeu Sobrinho, a característica desse reservatório o torna como o de maior problema de salinidade, sendo diferenciado dos açudes estudados do estado do Ceará, e essa característica está ligada à li-

tologia predominante no Estado, bem como ao superdimensionamento do açude, que ocasiona longos períodos sem renovação das águas por extravasamento do reservatório. A última sangria deste reservatório ocorreu em 1974, agravando, assim, o processo de acumulação de sais ao longo do tempo proporcionado pela evaporação.

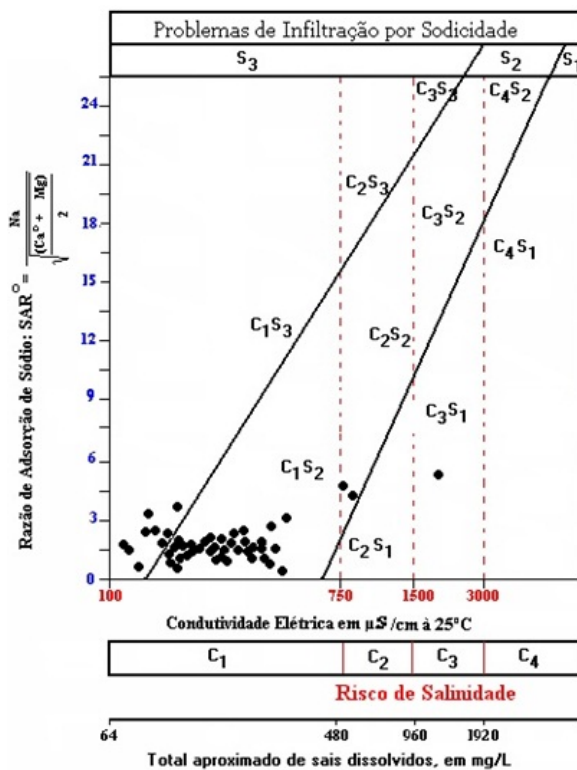
Águas superficiais no semiárido do Nordeste classificadas como C3, de acordo com o USDA, também foram verificadas por Brito et al. (2005) no rio Salitre na Bahia e Lemos, Neto e Dias (2010) na lagoa do Apodi no Rio Grande do Norte.

Apesar da maior parte dos reservatórios do Estado do Ceará (93,7%) estarem, de acordo com a classificação do USDA, enquadrados quanto a salinidade e sodicidade nas classes C1S1 e C2S1, autores como Ayers e Westcot (1999), Freire et al. (2003) apontam a necessidade de um controle criterioso da água usada na irrigação, principalmente quando a CE e a RAS apresentam valores baixos. Os autores supracitados comentam que águas classificadas como C1S1, que correspondem a 23% dos reservatórios do Estado do Ceará, podem apresentar comportamento semelhante às águas C1S5, quanto à velocidade de infiltração, em decorrência da dispersão dos colóides. De acordo com estes autores, para CE inferior a  $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e, particularmente, abaixo de  $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  tendem a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo. Desta forma, quando os problemas relativos à infiltração presentes em áreas irrigadas não são causados pelo efeito da RAS elevada, invariavelmente, são causados devido às águas de salinidade muito baixa. Resultados semelhantes para águas superficiais também no Estado do Ceará foram encontrados por Meireles (2007) nas águas superficiais da bacia do Acaraú e Araújo Neto et al. (2010) nas águas superficiais do reservatório Orós na bacia do Alto Jaguaribe.

### 3.2 Classificação para fins de irrigação - UCCC

A classificação das águas superficiais do Estado do Ceará para irrigação de acordo o diagrama do UCCC (AYERS; WESTCOT, 1999) pode ser verificada na Figura 3. Conforme o diagrama de classificação de água para irrigação, as águas superficiais dos reservatórios artificiais do Ceará, foram classificadas quanto ao risco de salinidade como C1 em 93,7% dos reservatórios, C2 em 4,2% e C3 em 2,1%. Águas classificadas como baixa salinidade de acordo com Ayers e Westcot (1999) no Ceará também foram observadas por Vasconcelos et al. (2009) avaliando a qualidade da água utilizada para irrigação da bacia do baixo Acaraú, Ceará, por Junior

et al. (2007) estudando a variabilidade da qualidade das águas no trecho perenizado da bacia hidrográfica do Curu, Ceará e por Barroso et al. (2011) avaliando a qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará.



**Figura 3:** Classificação das águas superficiais dos reservatórios do Ceará de acordo com o diagrama proposto pelo University of California Committee of Consultants - UCCC (AYERS; WESTCOT, 1999).

Observa-se ainda na Figura 3 que, quanto ao risco de sodicidade, as águas estudadas foram classificadas em sua maioria como S2 em 79,2% dos reservatórios estudados, S1 em apenas 2,1% e S3 em 18,7%. Resultados semelhantes com a maior parte das análises classificadas como S2 de acordo o diagrama do UCCC também foram observados por Vasconcelos et al. (2009) avaliando a qualidade da água utilizada para irrigação da bacia do baixo Acaraú, Ceará.

De acordo com os riscos conjuntos de salinidade e sodicidade pela classificação do UCCC, as águas superficiais dos reservatórios do Estado do Ceará foram classificadas como C1S2 em 75,0% dos reservatórios, C1S3 em 18,7%, C2S2 em 4,2% e em C3S1 2,1%. Conforme a classificação do UCCC, a maior parte das águas superficiais dos reservatórios estudados no Estado do Ceará (93,7%) enquadraram-se nas clas-

ses C1S2 e C1S3. Estudos realizados por Andrade et al. (2006) nas águas superficiais da bacia do Acaraú, Ceará, mostraram que as águas da bacia apresentam, de acordo com a classificação do UCCC, classes variando entre C1S2 e C1S3. Resultados encontrados por (FARIA F. H. S.; LIMA, 2009) no semiárido de Minas Gerais, mostraram que de acordo com a classificação UCCC as águas para uso na irrigação variaram entre C3S1 e C2S1 para o maior percentual de análises.

Os problemas de infiltração causados pelo efeito da sodicidade nos solos são a principal diferença entre a classificação do USDA e do UCCC, pois a maior parte das águas dos reservatórios do Ceará foram, de acordo com a classificação do UCCC, classificadas de moderado risco (S2) a severo risco (S3) em causar problemas de infiltração. Isso deve-se à razão de adsorção de sódio corrigida ( $RAS^{\circ}$ ), que na maior parte dos reservatórios estudados apresentaram valores baixos ( $<3$ ), então estes valores quando associados aos baixos valores de CE nas águas, de acordo com a classificação do UCCC, apresentam riscos severos em causar problemas de infiltração no solo, limitando seu uso para a irrigação, representando 93,7% as águas em estudo, que foram classificadas como C1S2 e C1S3.

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. De acordo com a classificação do UCCC, a infiltração aumenta com a salinidade e diminui com a redução desta (ANDRADE et al., 2006). Portanto, o incremento quanto à sodicidade ocorreu em virtude da baixa concentração de sais totais e não por elevados valores da  $RAS^{\circ}$ . Esses maiores riscos em apresentar problemas crescentes de infiltração, promovido pelo efeito de sodicidade da água, deve-se ao fato dessa classificação considerar que águas com salinidade muito baixa tendem a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo (AYERS; WESTCOT, 1999). 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  $RAS^{\circ}$ , o risco de sodicidade será menor quanto maior for a CE da água. Esses resultados assemelham-se aos encontrados por Meireles, Andrade e Frischkorn (2006) também para Estado do Ceará nas águas superficiais da bacia do Acaraú, que observou para reservatórios na bacia, que os valores encontrados de  $RAS^{\circ}$  variaram entre 0,7 e 2,3, considerados baixos, no entanto, a combinação dos baixos valores de CE com os baixos valores da  $RAS^{\circ}$

coloca as águas dos reservatórios dentro de uma classe que apresenta risco crescente em causar problemas de infiltração no solo.

Resultados semelhantes também foram observados por Araújo neto et al. (2010) avaliando as águas superficiais do açude Orós, Ceará, onde verificou que as amostras de águas analisadas na pesquisa apresentaram valores de RAS<sup>o</sup> extremamente baixos (< 1), devido aos altos valores de cálcio e bicarbonatos verificados, devendo ser atentamente observados, pois, quando associados aos baixos valores de CE (188 a 460  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), apresentam riscos de moderados a severos em causar problemas de infiltração no solo, limitando seu uso para a irrigação. Tal comportamento foi constatado por (CHAVES et al., 2009) em estudos desenvolvidos no perímetro irrigado Araras Norte, onde foi observada a redução da infiltração, com consequente acúmulo de água na superfície do solo. A queda da permeabilidade do solo dificultou e reduziu a drenagem, provocando problemas de salinização, mesmo com águas que, de acordo com a classificação do USDA, não apresentavam nenhum risco.

De acordo com Ayers e Westcot (1999) águas com moderados riscos de causar sodicidade nos solos (S2) não podem ser utilizadas em solos de textura fina (argiloso), pois o sódio dessa classe de água apresenta um perigo considerável de dispersão com redução de permeabilidade, por outro lado, essas águas podem ser usadas em solos de textura grossa (arenosos) ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. Já águas com severos riscos de causar sodicidade (S3) apresentam elevadas restrições e pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo: boa drenagem, alta lixiviação e adição de condicionadores químicos ou orgânicos (GHEYI; DIAS; LACERDA, 2010).

### 3.3 Comparativo entre as Classificações do USDA e do UCCC

Tratando-se do comparativo da salinidade entre as classificações do USDA e do UCCC, como os limites do USDA para águas com baixa salinidade (C1) é de 250  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Tabela 1), as águas superficiais dos reservatórios estudados apresentaram cerca de 23% enquadradas nessa classe, sendo a maior parte 70,7% (Página 59) enquadradas na classe de média salinidade (C2) (250  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  < CE < 750  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Já os limites do UCCC para águas com nenhuma restrição para o uso na irrigação (C1) é de 700  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Tabela 2), sendo assim, a maior partes dos reservatórios estudados (93,8%) apresentaram enquadradas nessa classe (Tabela 3).

A principal divergência entre as classificações fo-

ram observadas quando se trata da sodicidade das águas (Tabela 3). De acordo com a classificação do USDA 97,9% dos reservatórios, quase a totalidade dos reservatórios estudados, enquadraram-se na classe (S1) de baixos riscos de causar problemas de infiltração devido a sodicidade. No entanto, de acordo com a classificação do UCCC 97,9% dos reservatórios enquadraram-se nas classes (S2) de moderado a (S3) severo grau de restrição em causar problemas de infiltração. A variação observada na classificação quanto ao risco de sodicidade utilizando diferentes metodologias de avaliação da Razão de Adsorção de Sódio, como USDA e UCCC em mananciais, também foram observada desde Oliveira e Maia (1998), em águas de diferentes mananciais no Rio Grande do Norte, a pesquisas mais recentes realizadas por (MEIRELES, 2007) na bacia do Acaraú, Ceará e por Araújo neto et al. (2010) nas águas superficiais do açude Orós, Ceará.

A sodicidade sofre uma grande variação nos resultados obtidos, corroborando com a hipótese de que muitas vezes uma água pode ser classificada subestimando o risco de sódio que a mesma contém. De acordo com os resultados encontrados neste estudo, frequentemente o uso da RAS, como originalmente proposto pelo USDA, tem subestimado o risco de sodicidade das águas por não considerar outros íons (ânions como  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ ).

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que de acordo com o diagrama do USDA as águas dos reservatórios do Ceará foram classificadas como C1S1 e C2S1, quanto ao risco de salinidade e sodicidade, em mais de 80% dos reservatórios. Porém, de acordo com o UCCC mais de 90% dos reservatórios apresentaram baixo risco de gerar problemas de salinidade (C1), enquanto apresentou risco variando de moderado (S2) a severo (S3) quanto ao risco de causar problemas de infiltração no solo por sodicidade;

Foram observadas divergências marcantes entre as classificações de água para irrigação propostas pelo USDA e pelo UCCC. Principalmente quando se trata da sodicidade das águas, em decorrência do uso da RAS, como originalmente proposto pelo USDA, subestimar o risco de sodicidade das águas por não considerar outros íons (ânions como  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ ).

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M.; BATISTA, T. M.; TEIXEIRA, A. S.; MEIRELES, M.; SOUZA, B. F. S. Mapa de vulnerabilidade da bacia do acaraú, ceará, à qualidade

**Tabela 3:** Comparativo do percentual das águas superficiais dos reservatórios classificados de acordo com as classificações do USDA e do UCCC

Classes	USDA	USDA	UCCC	UCCC
	n° de açudes	% de açudes	n° de açudes	% de açudes
Salinidade				
C1	11	23	45	93,8
C2	34	70,7	2	4,2
C3	3	6,3	1	2,1
Total	48	100,0	48	100,0
Sodicidade				
S1	47	97,9	1	2,1
S2	1	2,1	38	79,2
S3	0	0,0	9	18,8
Total	48	100,0	48	100,0

das águas de irrigação, pelo emprego do gis. *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 3, p. 280–287, 2006.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Ed.). *Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural*. [S.l.]: Graphiti Gráfica e Editora LTDA, 2010. cap. 3, p. 57–80.

Araújo neto, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; Q., P. A.; PAULINO, W. D. Modelagem da concentração de cloreto nas águas dos açudes poço da pedra e favelas. In: *Anais. Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação*. [S.l.]: WINOTEC, 2010.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. 2. ed. Campina Grande, 1999. Tradução Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V.

BARROSO, A. A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região centro sul no estado do ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 6, p. 588–593, 2011.

BRITO, L. T. L. et al. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio salitre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 596–602, 2005.

CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; NESS, R. L. L.; LOPEZ, J. F. B. Risco de degradação em solo irrigado do distrito de irrigação do perímetro araras norte, ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, p. 292–298, 2009.

FARIA F. H. S.; LIMA, L. A. R. M. S. S. S. R. R. K. M. Avaliação da salinidade, sodicidade e alcalinidade das águas subterrâneas para irrigação em jaíba e janaúba, minas gerais. *Revista Irriga*, v. 14, n. 3, p. 299–313, 2009.

Figueredo Júnior, L. G. M. et al. Avaliação da qualidade da água do distrito de irrigação tabuleiros litorâneos do piauí - ditalpi. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 7, n. 3, p. 213–223, 2013.

FREIRE, M. B. G. S. et al. Estimativa o 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.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. *Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados*. Fortaleza, 2010. Cap. 4, p. 43–61.

JUNIOR, J. J. F.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; BEZERRA, A. M. E.; SOUZA, B. F. S. Influencia antrópica na adição de sais no trecho perenizado da bacia hidrográfica do curu, ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 2, p. 142–148, 2007.

LEMOS, M.; NETO, M. F.; DIAS, N. S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na lagoa do apodi, rn. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 155–164, 2010.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CRISÓSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do distrito irrigado baixo acaraú, ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 1, p. 167–172, 2008.

- MEIRELES, A. C.; ANDRADE, E. M.; FRISCHKORN, H. Características hidroquímica de dois reservatórios da bacia do acaraú - ceará utilizados para irrigação. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*. João Pessoa: [s.n.], 2006. 31 de julho a 4 de agosto de 2006.
- MEIRELES, A. C. M. *Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação*. Tese (Tese (Doutorado em Recursos Hídricos)) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. 180f.
- OLIVEIRA, F. M. et al. Diagnóstico de qualidade das águas da microbacia do riacho angico, para fins de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. Suplemento, p. 221–225, 2005.
- OLIVEIRA, M.; 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, n. 1, p. 17–21, 1998.
- PALÁCIO, H. A. Q.; NETO, J. R. A.; MEIRELES, A. C. M.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do ceará, por técnicas multivariadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 395–402, 2011.
- PIZARRO, F. *Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos*. Madrid, 1985.
- RICHARDS, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soil*. Washington, DC, 1954. (USDA Agriculture Handbook, 60).
- SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no ceará - poços instalados e salinidade. *Revista Tecnologia*, v. 28, n. 2, p. 136–159, 2007.
- SILVA, P. R.; FARIAS, S. P.; SANTOS, C. S.; BARROS, A. C.; CARNEIRO, P. T. Perfil da irrigação e qualidade da água nos perímetros irrigados do município de arapiraca-al. *Revista Verde*, v. 8, n. 1, p. 184–189, 2013.
- SUAREZ, D. L. Relation between phc and sodium adsorption ratio (sar) and an alternative method of estimating sar of soil or drainage waters. *Soil Science Society of America Journal*, v. 45, n. 3, p. 469–475, 1981.
- SUASSUNA, J. A. *Pequena e média açudagem no semiárido nordestino: uso da água na produção de alimentos*. 2010. Acesso em 23 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/text/textrop.html>>.
- VASCONCELOS, R. S. et al. Qualidade da água utilizada para irrigação na extensão da microbacia do baixo acaraú. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 3, n. 1, p. 30–38, 2009.