

MODIFICAÇÕES HIDROGEOQUÍMICAS E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO JANDAIRA PARA IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE BARAÚNA, RN.

José Geraldo de Melo¹, Adriana Barroca de Medeiros¹, Mickaelon Belchior Vaconcelos¹,
Vera Lúcia Lopes de Castro²

Resumo. A região de Baraúna está situada no setor oeste da Bacia Potiguar, no domínio semi-árido do Estado do RN, com precipitações pluviométricas da ordem de 630 mm/ano e o déficit hídrico que atinge 857,0 mm/anos. Geologicamente, a região é constituída por rochas carbonáticas (calcários e dolomitos) da Formação Jandaira de idade atribuída ao cretáceo Superior. Esta unidade geológica desenvolve um elevado nível de carstificação ao norte e oeste da área, o que resulta em melhores condições hidrogeológicas nesses setores. Na parte sul da área, é comum a ocorrência de argilitos e folhelhos intercalados nos calcários que limitam a ocorrência e distribuição das águas subterrâneas. Neste artigo são discutidas as modificações hidrogeoquímicas que ocorrem nas águas subterrâneas e é apresentada a classificação das águas para irrigação nos seus diferentes contextos. Foram utilizados dados de estudos geofísicos (eletroresistividade), do cadastro de poços, de estudos topográficos e resultados de análises químicas. Verificou-se que ocorre duas fácies hidroquímicas principais, que englobam águas do tipo Ca-Mg-Cl and águas Ca-HCO₃, as quais estão associadas predominantemente a litologia e estrutura hidrogeológica. As águas são boas para irrigação e foram classificadas na maioria dos casos como águas do tipo C₂S₁T₂.

Abstract. The Barauna region is situated on the west part of the Potiguar Basin, in the semi-arid domain of the RN State, where the pluvial precipitation is about 630 mm/year and the water deficit reach 857 mm/year. The geology comprehend mainly carbonate rocks (calcareous and dolomites) of the Jandaira Formation whose age is attributed to the Superior Cretaceous. This geological unit develops goods karsts in the north and west part of the area, resulting in a better hydrogeological condition. In others situation, mainly to south of the area, is common the occurrence of shale and mudstone intercalated in the calcareous limiting the occurrence and distribution of the groundwater. In this article are discussed the hydrochemistry modification in the area and is presented the water classes to irrigation under different context. It was developed using dates obtained from geophysical study, cadastre of the wells, topographic study and the interpretation of the hydrochemistry dates. Was

¹Pós Graduação em Geociências da UFRN, Campus Universitário, Natal, RN;
Fone: (084) 32088437; E-mail: jgmelo@ufrnet.br

²Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID, Natal, RN);
Fone: (084) 32322456; E-mail: vcastro.nat@terra.com.br

verified the occurrence of two hydrochemical facies characterized by Ca-Mg-Cl water type and Ca-HCO₃ type water which are associated mainly to the litology and structural of the soil. The water are good to the irrigation and were classified in most of the case as C₂S₁T₂.

Palavras chave: Bacia potiguar, semi-árido, irrigação.

1 – Introdução

No Extremo Oeste da Bacia Potiguar, RN, na área conhecida geologicamente como Plataforma de Aracati, ocorre o calcário da Formação Jandaira, o qual tem se revelado como um bom condutor hidráulico, graças o elevado nível de carstificação que o mesmo apresenta o que lhes atribui o caráter de um aquífero com elevado potencial e água de qualidade adequada ao desenvolvimento da fruticultura irrigada [1]. Isto, por conseguinte, tem atraído empresários do setor que vêm implantando em ritmo acelerado perímetros irrigados para a produção de melão, abacaxi e outros, contribuindo, desta feita, substancialmente, com a agricultura irrigada e desenvolvimento da região. O íon potássio, proveniente do KCl, utilizado como fertilizante na agricultura da Chapada do Apodi, é facilmente assimilado pelo sistema solo-planta, enquanto que o íon cloreto, que é conservativo, é carregado para o aquífero, tornando-se fonte de salinização das águas [2].

Tem-se verificado, nos últimos dez anos, que o número de poços perfurados captando águas do aquífero Jandaira tem crescido numa taxa muito elevada, como também tem aumentado as vazões de exploração dessas unidades, com poços produzindo até 200 m³/h. Paralelamente, tem-se constatado um progressivo rebaixamento do nível da água dos poços na região de Baraúna, culminando no esgotamento/ exaustão de diversos poços já existentes , e em poços secos resultados de novas perfurações [3].

A área de estudo (Figura 1), com superfície da ordem de 1290 km², situa-se em uma região semi-árida com precipitações pluviométricas da ordem de 630 mm/ anuais e déficit hídrico que alcança 857 mm/ anuais [4].

Geologicamente, a área é constituída de rochas carbonáticas da Formação Jandaíra, que corresponde à unidade mais recente da seqüência cretácea que integra a Bacia Potiguar. A Formação Jandaíra é formada de calcários e dolomitos de coloração predominantemente cinza, desenvolvendo sistemas de fratura e carstes. É comum a presença de intercalações de folhelhos e argilitos nos calcários, conforme tem sido constatado nos perfis dos poços e nos resultados dos estudos geofísicos [1].

No presente artigo é discutido os aspectos relativos às modificações hidroquímicas que ocorrem na área, associando essas mudanças às características litológicas e estruturais do terreno, aos rebaixamentos acentuados dos níveis de água, a possível superexploração do aquífero e, as atividades antrópicas em geral (agricultura irrigada e desenvolvimento urbano), além de que é feita uma avaliação apurada da qualidade das águas para irrigação.

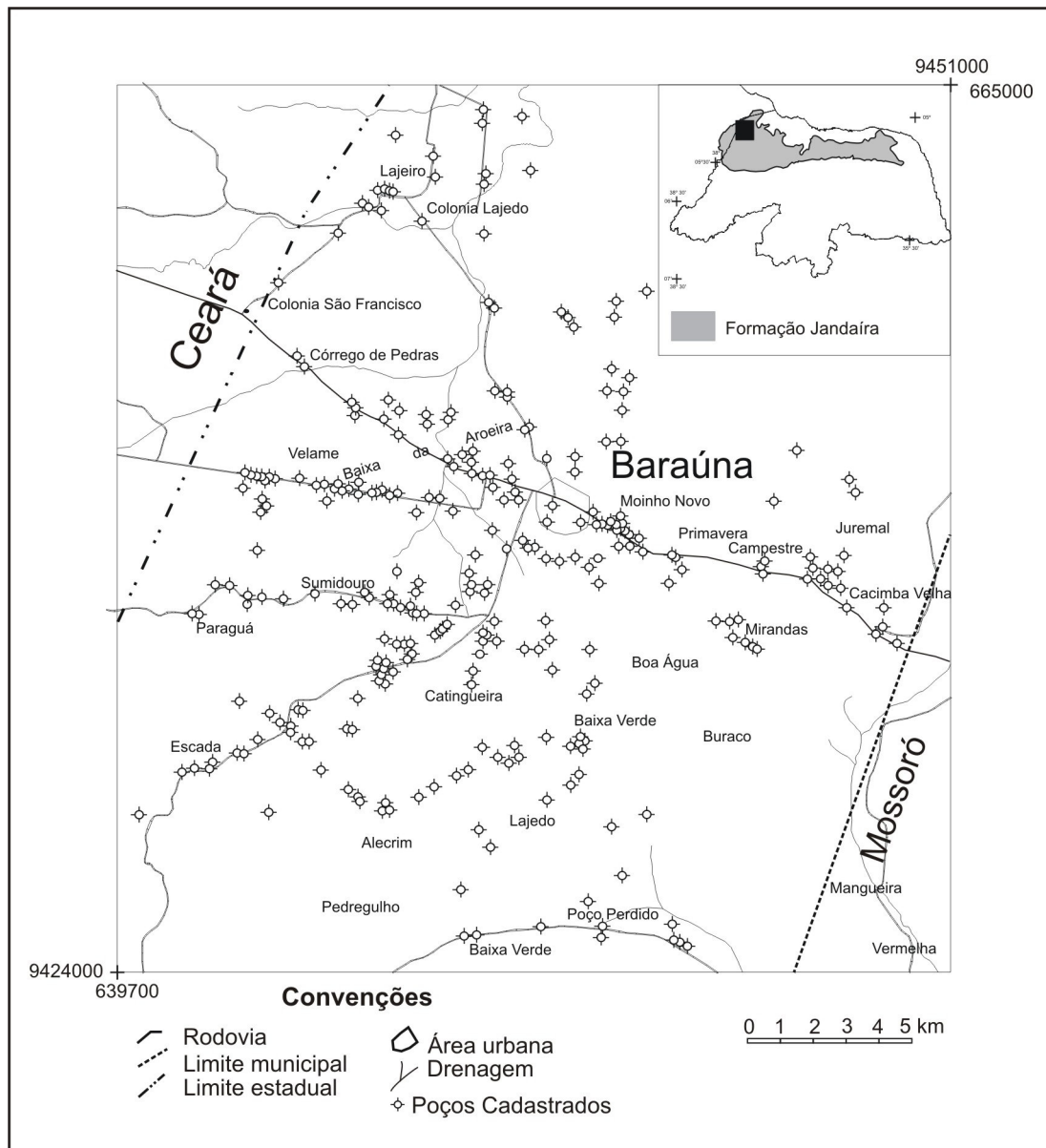


Figura 1. Situação da área de estudo, poços cadastrados e poços com análise química

2 - Metodologia

Os estudos foram desenvolvidos tomando por base o tratamento de dados do cadastro de 602 poços, o nivelamento topográfico de 304 poços (com GPS geodésico) e a utilização dos resultados de estudos geofísicos pelo método de eletro resistividade. Essas atividades foram desenvolvidas pela Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID/ RN) através da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE (FADE), as quais permitiram a concepção da estrutura hidrogeológica do terreno e a elaboração do mapa de fluxo das águas subterrâneas. O reconhecimento da qualidade das águas foi inicialmente efetuado através das medições da condutividade elétrica das águas com determinações *in situ* utilizando condutímetro portátil. Em seguida, o comportamento hidrogeoquímico e a qualidade das águas foram avaliados tomando por base a interpretação dos resultados de 45 amostras de água obtidas de poços em duas campanhas de coleta. A primeira campanha foi realizada em março de 2004 e a segunda campanha em março de 2005, com a obtenção de resultados similares nos dois casos. Os resultados das análises foram submetidos a um balanço de massas, com erro em geral inferior a 5%, o que revelou a boa qualidade dos dados. Os parâmetros determinados incluem os cátions principais Na, Ca e Mg e os ânions principais Cl, SO₄ e HCO₃, além dos componentes da série nitrogenada (NH₃, NO₂ e NO₃) e do CO₃, Fe, dureza, alcalinidade, condutividade elétrica e pH.

3 - Parâmetros hidráulicos e fluxo subterrâneo

A Formação Jandaíra, na área estudada, é caracterizada por interdigitações de folhelhos escuro no calcáreo, o que deve está limitando consideravelmente a ocorrência de águas subterrâneas e que pode estar favorecendo o abaixamento acentuado da superfície potenciométrica.

Os poços perfurados na área apresentam profundidades que varia de 60 a 120 m, com a ocorrência de poços desde secos a poços produzindo até 200 m³/h. Os níveis estáticos dos poços variam de 15 a 50 m e são produzidos rebaixamentos que geram níveis dinâmicos de 16 a 70 m.

A superfície potenciométrica do aquífero se acha bastante afetada, com depressões provavelmente causadas pela superexploração das águas subterrâneas, denotando-se, entretanto uma tendência do fluxo subterrâneo regional na direção de sudoeste para nordeste (Figura 2).

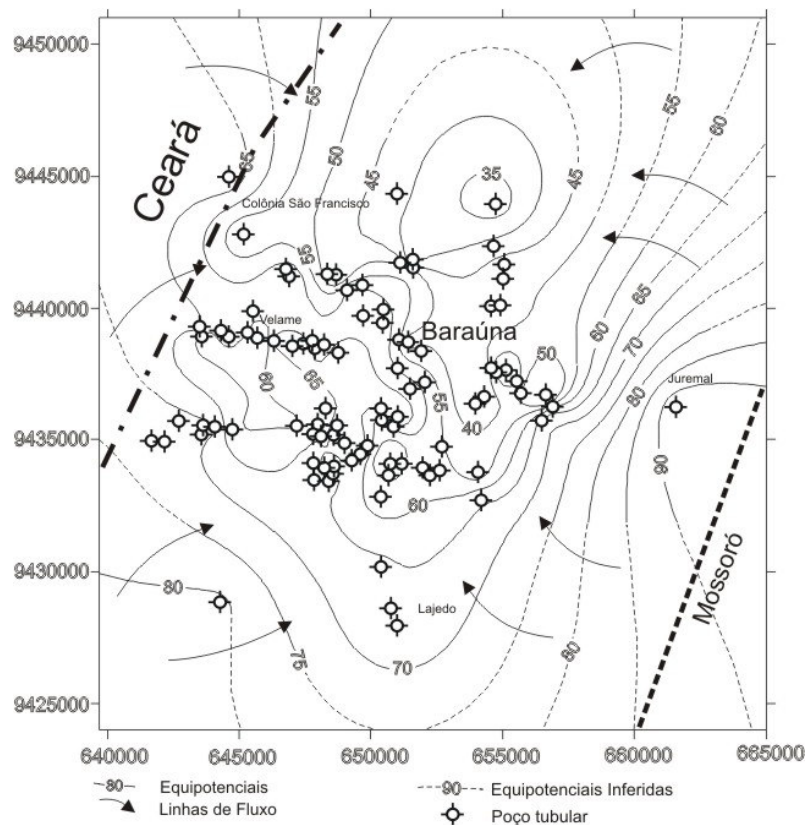


Figura 2. Potenciometria do aquífero Jandaíra na região de Baraúna

4 - Análise hidrogeológica e qualidade das águas

As considerações e discussões apresentadas a seguir dizem respeito aos resultados das análises químicas da primeira campanha de coleta de amostras de água (Tabela 1).

4.1 Resultados das análises químicas

A condutividade elétrica das águas variou de 845 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (setor noroeste) a 2060,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (parte central da área). Os sólidos totais dissolvidos, de 508,0 mg/L a 1334,0 mg/L e a concentração de cloreto, de um mínimo de 101,0 mg/L a um máximo 484,0 mg/L. De um modo geral a salinidade das águas é mais elevada na região de maior exploração das águas subterrâneas. O pH das águas tende a básico, com valores que variam de 7,1 a 7,8. Os teores de nitrato situam-se entre 7,0 a 22,0 mg/L de N, com as maiores concentrações situadas nos domínios de maior exploração das águas subterrâneas e que correspondem aos domínios de intensa prática da agricultura irrigada com o uso de fertilizantes (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados das análises químicas das águas

Poço	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	NH ₃ (mg/L N)	NO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
					(mg/L)						
P-05	7,3	1273,0	0,5	12,4	112,3	38,62	16,1	3,3	284,4	35,2	151,4
P-09	7,2	1504,4	0,3	16,2	144,1	44,3	16,1	3,8	323,9	48,3	185,8
PB-017	7,4	844,8	0,0	6,9	74,9	27,2	41,6	2,2	208,6	31,6	101,2
PB-028	7,1	1249,8	0,4	9,6	138,5	34,0	10,4	2,7	323,9	29,4	144,5
PB-052	7,2	1064,7	0,5	6,9	121,7	29,5	10,4	2,2	337,4	30,0	110,1
PB-054	7,2	1249,8	0,5	10,3	121,7	32,9	15,2	3,3	307,3	32,0	144,5
PB-069	7,3	1087,9	0,0	11,2	106,7	34,0	54,1	3,3	263,7	37,8	150,3
PB-095	7,3	983,7	0,4	11,3	97,3	20,4	14,2	2,7	211,7	36,3	103,2
PB-118	7,2	1921,1	0,0	15,7	179,7	55,6	142,8	7,2	350,9	78,7	411,7
PB-154	7,3	1342,4	0,5	16,7	138,5	31,	16,1	3,3	319,7	27,6	144,5
PB-161	7,4	1273,0	0,5	12,4	116,0	32,9	15,2	2,7	290,7	29,9	137,6
PB-225	7,6	1921,1	0,0	15,9	187,2	59,0	150,0	3,8	360,2	64,7	379,0
PB-229	7,8	1921,1	0,2	17,9	150,2	45,4	159,0	8,3	328,0	71,3	343,1
PB-237	7,6	1921,1	0,2	14,8	140,0	58,5	140,0	5,8	285,5	66,3	372,5
PB-247	7,6	2060,0	0,0	22,1	149,8	69,2	164,2	8,6	195,1	86,4	483,6
PB-250	7,6	1388,7	0,8	9,0	105,2	42,5	72,7	3,0	295,8	39,7	195,5
PB-251	7,5	1319,3	0,7	9,1	126,4	36,3	63,6	3,2	352,9	34,8	168,2
PB-472	7,5	1249,8	0,1	15,8	106,8	27,2	68,3	3,0	255,4	35,8	149,5
PB-502	7,6	1504,5	0,0	9,8	104,8	61,3	87,5	6,3	203,4	73,7	307,1
PB-527	7,2	1458,2	0,9	21,2	136,6	37,4	16,1	2,7	268,8	33,8	165,2
PB-534	7,7	1203,6	0,2	14,0	125,0	30,9	53,5	3,0	316,6	30,4	140,5
PB-586	7,6	1111,0	0,0	10,7	136,6	31,0	37,5	2,7	334,3	31,1	130,7
PB-594	7,2	1064,7	0,8	9,6	102,9	29,5	10,4	2,7	246,0	28,0	117,0
PB-597	7,4	1226,7	0,6	9,2	104,3	30,1	59,0	2,5	275,1	31,1	145,5

4.2 – Tipos de água

Foram definidos dois grupos de água ou fácies hidroquímicas (Figura 3). O grupo 1 está situado no setor sudoeste da área e é caracterizado predominantemente por águas do tipo Ca-Mg-Cl. Neste setor é frequente a presença de intercalações argilosas nos calcários, tendo sido preservada a característica regional de águas cloretadas. O grupo 2, situado no setor noroeste, é formado por águas que tendem a Ca-HCO₃. Neste caso, os calcários são mais puros e o desenvolvimento de carstes é mais proeminente, o que resulta numa maior dissolução CaCO₃ e maior ocorrência dos íons bicarbonato e cálcio. A presença de Ca²⁺ e Mg²⁺, nos dois casos estão associadas à dissolução de calcitas e dolomitas.

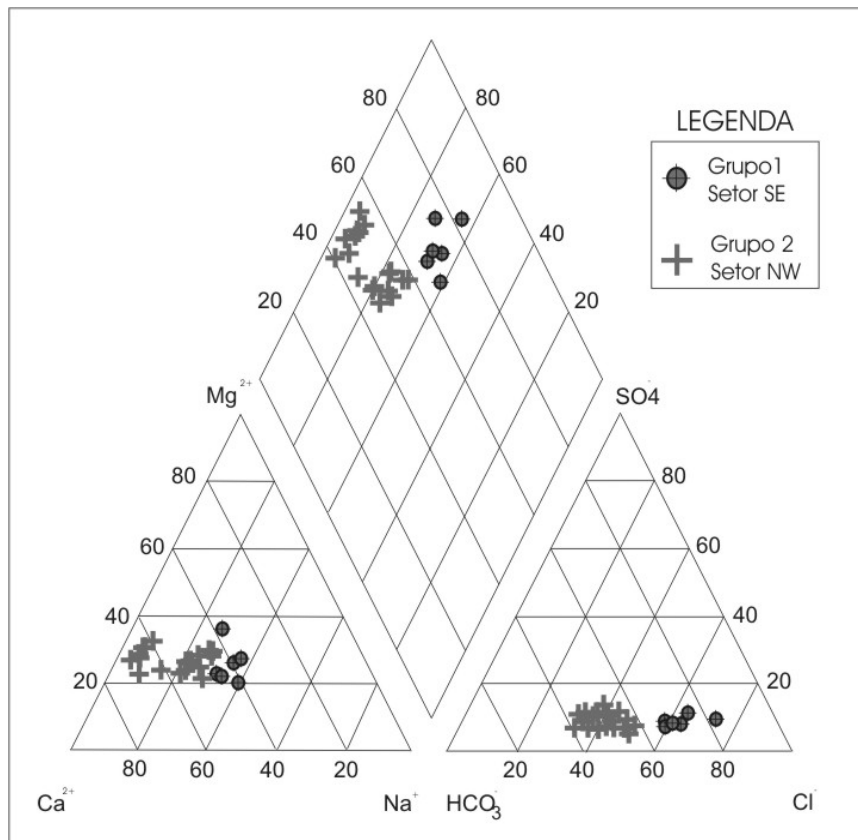


Figura 3. Diagrama de Piper (Aquífero Jandaíra na região de Baraúna)

4.3 – Avaliação da qualidade da água para irrigação

A prática da irrigação é indispensável nas regiões áridas e semi-áridas em virtude da ocorrência de déficit hídrico para as culturas na época seca. A acumulação de água no período chuvoso alternado com aumento da evaporação na estação seca promove uma variação quantitativa e qualitativa no teor de sais das águas com implicações para uso na irrigação [5] e esta, pode ser fator de salinização quando não manejada adequadamente [6], [7]. É, portanto, imprescindível a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização gradativos pelo acúmulo de sais oriundos de irrigações sucessivas [8].

A qualidade das águas da região de Baraúna foi avaliada sob os três aspectos fundamentais quanto ao uso na irrigação: salinidade (C), sodicidade (S) e toxicidade (T) de íons. O efeito da salinidade é de natureza osmótica podendo afetar diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito relativo do sódio da água de irrigação tendendo a elevar a porcentagem de sódio trocável do solo (PST), com danos nas suas propriedades físico-químicas, provocando problemas de infiltração. A toxicidade, diz respeito ao efeito específico de certos íons sobre as plantas, afetando o rendimento, independente do efeito osmótico.

4.3.1 - Classes de água quanto ao risco de salinidade

O excesso de sais na zona radicular afeta consideravelmente o desenvolvimento das culturas, com diminuição na taxa de respiração e crescimento [8]. A excessiva salinidade reduz o desenvolvimento devido ao aumento de energia que precisa ser despendida para absorver água do solo a ao ajustamento bioquímico necessário para sobreviver sob estresse [9].

A condutividade elétrica é o parâmetro empregado para expressar a concentração de sais solúveis na água tendo em vista a elevada correlação que existe com os sólidos totais dissolvidos.

Numa avaliação qualitativa, as águas se dividem em quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e conseqüentemente sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C₁, C₂, C₃ e C₄, conforme apresentado a seguir:

C₁ - Água de baixa salinidade. Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade.

C₂ - Água de média salinidade. Pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos permitem o cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.

C₃ - Água de alta salinidade. Não pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada podem ser necessárias práticas especiais de controle da 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.

C₄ - Água de muito alta salinidade. Não é apropriada para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

Em sua forma mais moderna, a classificação das águas quanto ao risco de salinidade foi estabelecida segundo as proposições da UCCC - University of California Committee of Consultants [10]; [6] e [11] que estabeleceram limites diferenciados para aqueles propostos por [12], tabela 2.

A salinidade afeta tanto o crescimento das plantas como a produção e qualidade do produto, se manifestando principalmente na redução da população e desenvolvimento das culturas, com sintoma similar ao causado por estresse hídrico [9].

Tabela 2 Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.

Classe de Salinidade	Richards [12]	UCCC ¹	Risco de Salinidade	Ayers & Westcot [11]	
	Faixas de CE _a (dS.m ⁻¹)			Faixa de CE _a (dS.m ⁻¹)	Problema de Salinidade
C ₁	< 0,25	< 0,75	Baixo	< 0,7	nenhum
C ₂	0,25 - 0,75	0,75 - 1,50	Médio	0,7 - 3,0	moderado
C ₃	0,75 - 2,25	1,50 - 3,00	Alto	> 3,0	severo
C ₄	> 2,25	> 3,00	Muito alto	-	-

¹ UCCC - University of California Committee of Consultants (Fonte: Frenkel [10]; Pizarro [6]).

4.3.2 - Classes de água quanto ao risco de sodicidade

Está amplamente comprovado que valores altos de percentual de sódio trocável (PST), especialmente sob condições de baixa salinidade, causam a dispersão de partículas com redução na condutividade hidráulica do solo [8]. A razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação é o parâmetro de melhor correlação com a PST do solo. Richards [12] foi o primeiro a introduzir esse conceito num sistema de classificação de águas para irrigação que passou a ser usado e conhecido internacionalmente pelo seu próprio nome.

Ultimamente, o risco de sodicidade passou a ser avaliado com mais segurança relacionando a RAS corrigida (RAS^o) com a salinidade da água, estimada pela equação 1:

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

onde,

Na - Concentração de sódio na água, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$;

Ca^o - Concentração de cálcio na água, corrigida pela relação HCO_3^-/Ca ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e CE_a (dS.m^{-1}), de acordo com a Tabela 3;

Mg - Concentração de Magnésio na água, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

A RAS^o , conforme procedimento sugerido por Suarez (1981), facilita o entendimento das alterações que ocorrem com o cálcio na água do solo através de reações com carbonatos e silicatos.

A classificação das águas de irrigação com respeito a RAS se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade. Richards [12] dividiu as águas em quatro classes tomando por base valores limites da RAS, em função da CE_a , com as seguintes interpretações:

S_1 ($RAS < 18,87 - 4,44.\log CE_a$) - água de baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio. Podem ser usados para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável.

Tabela 3 Concentração de cálcio (Ca) contida na água do solo, próxima à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO_3/Ca e $\text{CE}^{1,2,3}$

Valor de HCO_3/Ca da água	Salinidade da Água Aplicada (CE) - dS.m^{-1}											
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
2,25	1,04	1,06	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
10,0	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
20,0	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
30,0	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

¹Fonte: Suarez [13]; ²Supõe-se: a) Cálcio do solo proveniente do calcário (CaCO_3) ou silicatos; b) Não existe precipitação do Magnésio; c) Pressão parcial de CO_2 perto da superfície do solo (pCO_2) é 7.10^{-2} kPa; ³ Ca° e HCO_3/Ca são expressos em $\text{mmol}_c. \text{L}^{-1}$, e a CE_a , em dS.m^{-1} .

S₂ (18,87 - 4,44.log CE_a <RAS< 31,31 - 6,66.log CE_a) - água de sodicidade média ou com média concentração de sódio. Em solos de textura fina (argilosos) o sódio dessa classe de água representa 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.

S₃ (31,31 - 6,66.log CE_a <RAS< 43,75 - 8,87.log CE_a) - água de alta sodicidade ou com alta concentração de sódio. 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.

S₄ (RAS > 43,75 - 8,87.log CE_a) - água de muito alta sodicidade ou de muito alta concentração de sódio. É uma classe inadequada para irrigação exceto quando sua salinidade é baixa ou média.

A classificação de Richards [12] é a mais utilizada até hoje (Figura 4), porém a mesma tem sido questionada Pizarro [6] pelos motivos a seguir: a suposição de que o cálcio e magnésio têm a mesma seletividade de troca iônica, o que não corresponde a realidade; para uma mesma RAS a adsorção de sódio cresce ao aumentar a relação Mg/Ca devido a menor energia de adsorção do magnésio; Não leva 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; Também, a classificação 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_a. Assim, as linhas descendentes no diagrama de classificação passam a ser ascendentes conforme figura 5, traçada empiricamente com os valores das classes de salinidade do UCCC, citado por Pizarro [6] e das classes de sodicidade/infiltração apresentada por Ayers & Westcot [11]. Das dezesseis classes previstas da combinação da salinidade com a sodicidade na classificação de Richards [12], seis não existem sob condições naturais [14].

A recomendação de Ayers & Westcot [11], quanto ao perigo de sódio, restringe-se a três classes de sodicidade, obtidas relacionando-se a RAS^o com a salinidade da água de irrigação (Tabela 4).

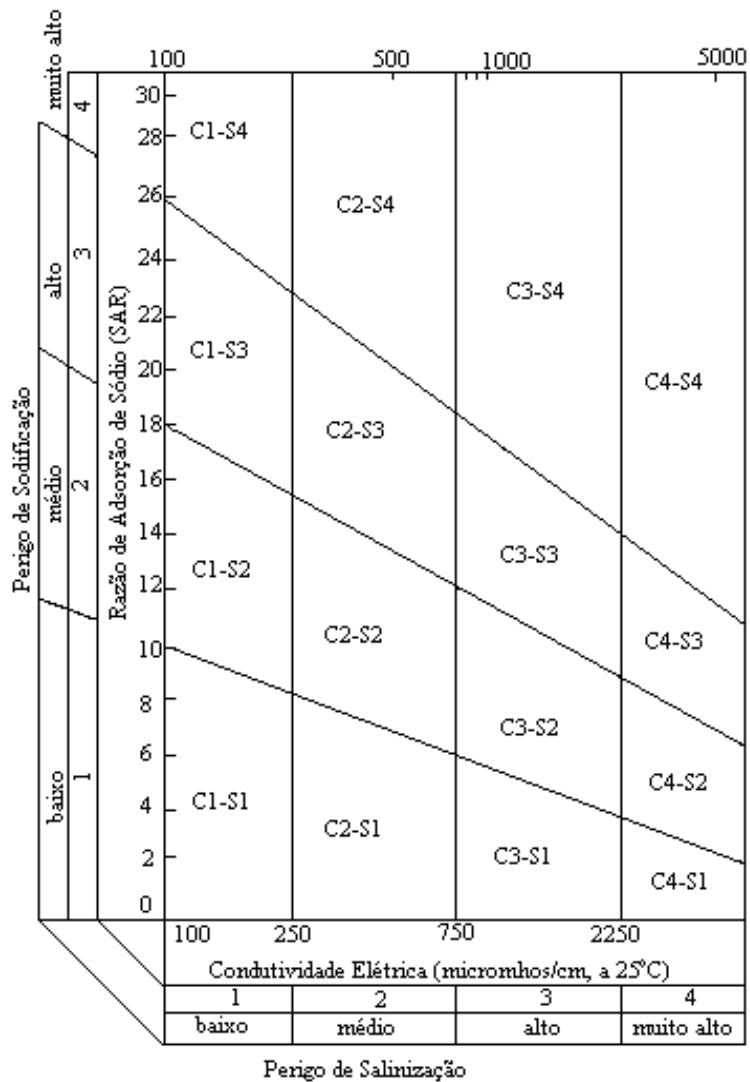


Figura 4. Diagrama de classificação de água [12].

Tabela 4. Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.

RAS ^o	Classes de sodicidade ¹		
	S ₁	S ₂	S ₃
	Sem Problemas	Problemas Crescentes	Problemas Severos
(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}		CE _a (dS.m ⁻¹)	
0-3	> 0,70	0,70 - 0,20	< 0,20
3-6	> 1,20	1,20 - 0,30	< 0,30
6-12	> 1,90	1,90 - 0,50	< 0,50
12-20	> 2,90	2,90 - 1,30	< 1,30
20-40	> 5,00	5,00 - 2,90	< 2,90

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot [11]. ¹ Simbologia (S) não se refere a classificação de Richards [12]; foi inserida para resumir a descrição da classe.

4.3.3 - Classes de água quanto ao risco de toxicidade

Os íons cloreto, sódio e boro, quando presentes em concentrações elevadas na água, podem causar danos as culturas reduzindo a produção. A magnitude do dano depende, além da concentração do íon, do tempo de exposição, da sensibilidade das plantas, do uso da água pelas culturas, do tipo de irrigação, etc. [15]. Em irrigação por aspersão e sob condições de alta evaporação o problema tende a se acentuar. As culturas arbóreas e plantas lenhosas em geral são sensíveis ao sódio e cloreto [16].

Foram definidas três classes de risco quanto a toxicidade das plantas [11] designadas de T1, T2 e T3, os quais se acham definidos na tabela 5.

Tabela 5. Concentrações de íons em água e respectivos riscos de toxicidade às plantas.

Íon	Classes de toxicidade da água ¹		
	T ₁ Nenhum problema	T ₂ Problema moderado	T ₃ Problema severo
Sódio ou Cloreto (mmol _e L ⁻¹):			
- Irrigação por superfície	< 3	3 - 9	> 9
- Irrigação por aspersão	< 3	> 3	
Boro (mg L ⁻¹)	< 0,7	0,7 - 3,0	>3,0

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot [11]. ¹ Simbologia (T) não contida nos artigos originais; inserida neste item para resumir descrição da classe.

4.3.3 – Classificação das águas para irrigação na região de Baraúna

De conformidade com os resultados das análises químicas e os correspondentes limites de classificação, as classes de águas para a irrigação ficaram assim definidas (Tabela 6 e Figura 5): 70,8% das amostras analisadas se enquadram na classe C₂S₁T₂, ou seja, são águas de média salinidade, baixa sodicidade e problema moderado de toxidez; 20,8% das amostras analisadas são do tipo C₃S₁T₃ e neste caso são águas de alta salinidade, baixa sodicidade e problema severo de toxidez nas plantas; 8,4 % são águas C₂S₁T₁, ou seja, águas de média salinidade, baixa sodicidade e não apresentam nenhum problema de toxidez nas plantas.

Tabela 6. Classes de água para irrigação

Poço	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CE (μS/cm)	pH	RAS	Classe
	(mmol/L)								
P-05	0,70	2,80	1,59	4,27	4,66	1,27	7,3	0,56	C ₂ S ₁ T ₂
P-09	0,70	3,60	1,82	5,24	5,31	1,50	7,2	0,53	C ₂ S ₁ T ₂
PB-017	1,81	1,87	1,12	2,86	3,42	0,84	7,4	1,62	C ₂ S ₁ T ₁
PB-028	0,46	3,46	1,40	4,08	5,31	1,25	7,1	0,37	C ₂ S ₁ T ₂
PB-052	0,46	3,04	1,21	3,11	5,53	1,06	7,2	0,41	C ₂ S ₁ T ₂
PB-054	0,66	3,04	1,35	4,08	5,04	1,25	7,2	0,56	C ₂ S ₁ T ₂
PB-069	2,36	2,66	1,40	4,24	4,32	1,09	7,3	1,84	C ₂ S ₁ T ₂
PB-095	0,62	2,43	0,84	2,91	3,47	0,98	7,3	0,56	C ₂ S ₁ T ₁
PB-118	6,21	4,49	2,29	11,61	5,75	1,92	7,2	4,28	C ₃ S ₁ T ₃
PB-154	0,70	3,46	1,31	4,08	5,24	1,34	7,3	0,60	C ₂ S ₁ T ₂
PB-161	0,66	2,90	1,35	3,88	4,76	1,27	7,4	0,55	C ₂ S ₁ T ₂
PB-225	6,53	4,67	2,43	10,69	5,90	1,92	7,6	4,42	C ₃ S ₁ T ₃
PB-229	6,92	3,75	1,87	9,68	5,38	1,92	7,8	5,22	C ₃ S ₁ T ₃
PB-237	6,09	3,49	2,41	10,51	4,68	1,92	7,6	4,14	C ₃ S ₁ T ₃
PB-247	7,15	3,74	2,85	13,64	3,20	2,06	7,6	4,29	C ₃ S ₁ T ₃
PB-250	3,16	2,63	1,75	5,52	4,85	1,39	7,6	2,52	C ₂ S ₁ T ₂
PB-251	2,77	3,15	1,50	4,75	5,79	1,32	7,5	2,30	C ₂ S ₁ T ₂
PB-472	2,97	2,66	1,12	4,22	4,19	1,25	7,5	2,43	C ₂ S ₁ T ₂
PB-502	3,81	2,62	2,52	8,66	3,34	1,50	7,6	2,57	C ₂ S ₁ T ₂
PB-527	0,70	3,41	1,54	4,66	4,41	1,46	7,2	0,55	C ₂ S ₁ T ₂
PB-534	2,33	3,12	1,27	3,96	5,19	1,20	7,7	2,00	C ₂ S ₁ T ₂
PB-586	1,63	3,41	1,31	3,69	5,48	1,11	7,6	1,39	C ₂ S ₁ T ₂
PB-594	0,46	2,57	1,21	3,30	4,03	1,06	7,2	0,39	C ₂ S ₁ T ₂
PB-597	2,57	2,60	1,24	4,10	4,51	1,23	7,4	2,07	C ₂ S ₁ T ₂

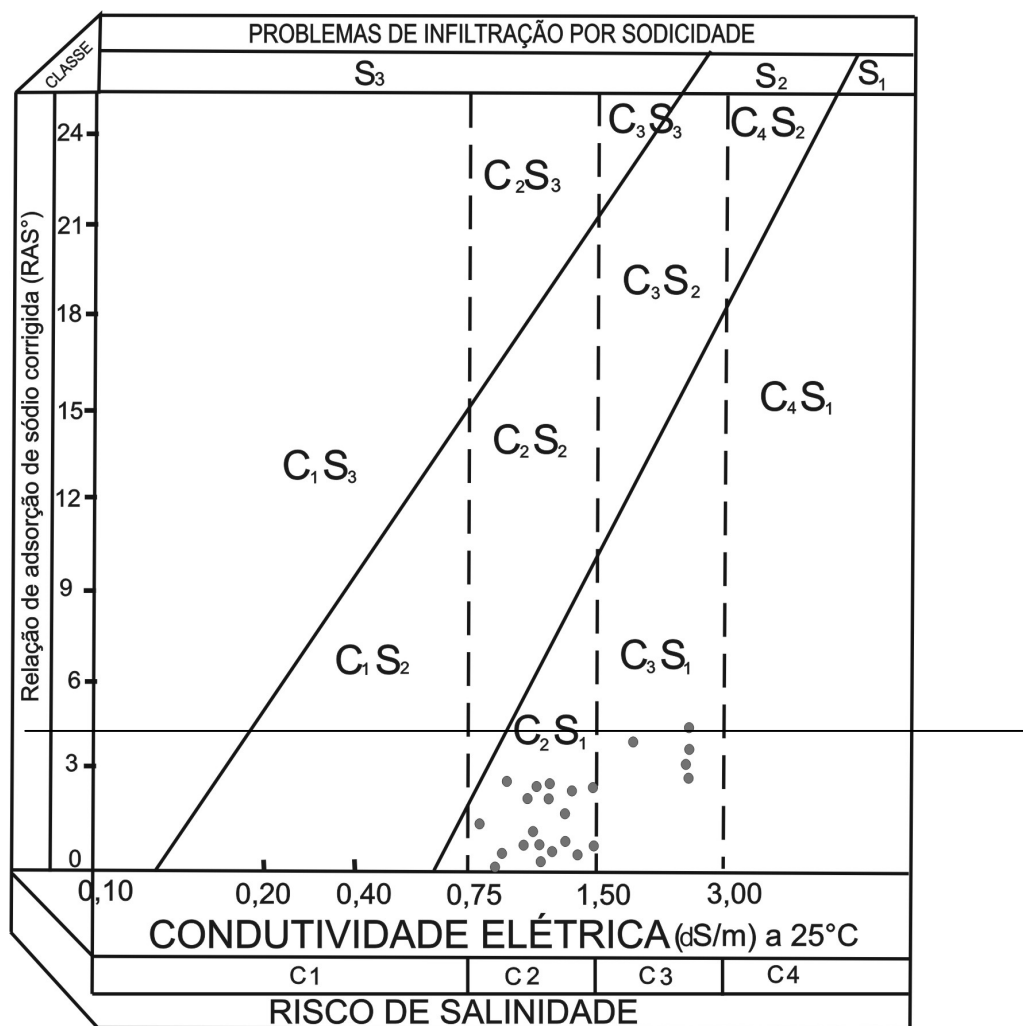


Figura 5. Diagrama de classificação das águas para irrigação [8]

5. Conclusões

A qualidade das águas da região de Baraúna se acha afetada pelas atividades antrópicas atuantes nos seus diferentes setores, com o aumento da salinidade das águas nos domínios de maior exploração das águas subterrâneas. Estas, também, estão em grande parte da área contaminadas por nitrato com teores maiores que 15 mg/L de N nos domínios com maior atividade agrícola. As águas do setor sudeste da área são em geral do tipo Ca-Mg-Cl e no setor noroeste são águas Ca-HCO₃. Essa diferença é provável que esteja ocorrendo devido a maior dissolução de calcitas associadas a calcários carstificados. A água do setor sudeste mantém as características regionais de águas

cloretadas possivelmente influenciadas pelas intercalações argilosas nos calcáreos e menor ocorrência de carste.

As águas da região de Baraúna em geral não apresentam problemas quanto ao uso das mesmas na irrigação, principalmente aquelas situadas nos setores oeste e noroeste da área que se enquadram nos tipos $C_2S_1T_1$ e $C_2S_1T_2$. Algumas restrições se fazem presente no caso das águas do tipo $C_3S_1T_3$ situadas na parte central da área, no domínio de maior exploração das águas subterrâneas, haja vista que existem riscos de salinidade de solos e rendimento das culturas.

6. Referencias Bibliográficas

- [1] Feitosa, E.C. O aquífero Jandaíra no município de Baraúna/ RN – Atualização dos conhecimentos. Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID) / Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE (FADE), Natal, RN, 1994.
- [2] Fernandes, M. A. B, Santiago, M.M.F., Gomes, D.F., Filho, J.M, Frichkorn, H, Lima, J.ºG.; A Origem dos Cloretos nas Águas Subterrâneas na Chapada do Apodi, Ceará. Revista Águas Subterrâneas, v.19, nº1, p-25-34, 2005.
- [3] Diniz Filho, Oliveira, W. D. Figueredo, E. M. Diagnóstico preliminar das causas que afetam o rebaixamento de nível potenciométrico do aquífero Jandaira – Região de Baraúna, RN. SERHID – Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. (Relatório Técnico), 2003.
- [4] Medeiros, A. B., Melo, J. G., Vasconcelos, M.B., Castro, V. L. Aspectos hidrogeoquímicos e de qualidade das águas do aquífero Jandaira na região de Baraúna, RN. XXI Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife, Pe, 2005.
- [5] Nunes Filho, J, Guerra, C. A. M., Souza, A. R., Soares, M. J. C.C. Qualidade da água de açudes para fins de irrigação no sertão de Pernambuco. Item – Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n.44, p.35-39, 1991.
- [6] Pizarro, F. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. 2.ed. Madrid: Editorial Española S.A., 542p, 1985.
- [7] Hoorn, J. W., Alphen, J. G. Salinity control; salt balance; and leaching requirement of irrigated soils. Wageningen: Agricultural University of Wageningen, 1981. (Lectures notes for the Twenty-ninth International Course on Land Drainage, 1990).
- [8] Holanda, J. S., Amorim, J. R. A., 1992. **Qualidade da água para irrigação.** EMPARN/ EMBRAPA, Natal, RN.

- [9] Rhoades, J. D., Kandiah, A., Mashal, A. M. The use of saline water for crop production. Rome: FAO, 133p. (FAO:Irrigation and Drainage Paper, 48), 1992.
- [10] Frenkel, H. **Reassessment of water quality criteria for irrigation.** In: Shainberg, I., Shalhevet, J. Soil salinity under irrigation. Berlin: Springer-Verlag, p.143-72, 1984.
- [11] Ayers, R. S., Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. Trad. Gheyi, H. R., Medeiros, J. F., Damasceno, F. V. Campina Grande: UFPB. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado1), 1991.
- [12] Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60), 1954.
- [13] Suarez, D.L. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. Soil Sci. Soc. Amer. J., n.45, p.469-75, 1981.
- [14] Bhumbla, D. R. Chemical composition of irrigation water and its effect on crop growth and soil properties. In: Worthington, E. B. (ed.). Arid land irrigation in developing countries: Environmental problems and effects. Oxford: Pergamon Press, p.279-287, 1977.
- [15] Maas, E. V. Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant and Soil, n.89, p273-284, 1985.
- [16] Maas, E. V. Salt tolerance of plants. Applied Agriculture Research, v.1, n.1,p.12-26, 1986.