

RELAÇÕES ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE ÍONS E A SALINIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS, VISANDO À IRRIGAÇÃO, NO SERTÃO DE PERNAMBUCO

José Nunes Filho¹, Antonio Raimundo de Sousa², Vital Artur de Lima e Sá³ & Berthyer Peixoto Lima⁴

RESUMO

Objetivando-se verificar as relações entre a condutividade elétrica de águas subterrâneas e superficiais (CEa, em dS m^{-1} a 25°C) e a concentração dos íons: Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- , em $\text{mmol}_\text{c} \text{L}^{-1}$, procedeu-se à análise de regressão desses parâmetros em 175 amostras, sendo 75 de águas subterrâneas e 100 de águas superficiais, em 33 municípios do Sertão de Pernambuco. Os resultados evidenciam que os elementos: Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- , podem ser estimados com bastante confiabilidade, através de equações do tipo: $Y = a + bx$, conforme discriminação a seguir: a) águas subterrâneas; (Na^+) = $-0,710 + 4,765(\text{CEa})$, $R^2 = 0,91$; ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) = $0,287 + 4,673(\text{CEa})$, $R^2 = 0,83$; (Cl^-) = $-0,569 + 6,152(\text{CEa})$, $R^2 = 0,93$ e b) águas superficiais; (Na^+) = $-0,666 + 5,072(\text{CEa})$, $R^2 = 0,94$; ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) = $0,978 + 3,223(\text{CEa})$, $R^2 = 0,78$; (Cl^-) = $-0,874 + 6,890(\text{CEa})$, $R^2 = 0,94$.

Palavras-chave: salinidade, água, irrigação, relações

RELATIONSHIP BETWEEN IONS CONCENTRATION AND SALINITY OF SUBSURFACE AND SURFACE WATERS FOR IRRIGATION IN THE SEMI-ARID REGION OF PERNAMBUCO STATE, BRAZIL

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the relationship between the electrical conductivity of subsurface and surface water (ECw in dS/m at 25°C) and the ion concentration of Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and Cl^- (in $\text{mmol}_\text{c} \text{L}^{-1}$). The study was based on 75 and 100 samples collected from subsurface and surface waters, respectively, in 33 counties in the semi-arid region of the Pernambuco State. Results showed that elements Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and Cl^- may be estimated by a single linear regression of the type, $Y = a + bx$, as described below: a) subsurface water; (Na^+) = $-0.710 + 4.765(\text{ECw})$, $R^2 = 0.91$; ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) = $0.287 + 4.673(\text{ECw})$, $R^2 = 0.83$; (Cl^-) = $-0.569 + 6.152(\text{ECw})$, $R^2 = 0.93$ and b) surface water; (Na^+) = $-0.666 + 5.072(\text{ECw})$, $R^2 = 0.94$; ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) = $0.978 + 3.223(\text{ECw})$, $R^2 = 0.78$; (Cl^-) = $-0.874 + 6.890(\text{ECw})$, $R^2 = 0.94$.

Key words: salinity, water, irrigation, relationship

Recebido em 19/08/1999, Protocolo 093/99

¹ Eng. Agr. Dr. em Irrigação e Drenagem - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA. Av. Gal. San Martin, 1371, Bonji, CP 1022, CEP 50761 - 000, Recife, PE. E-mail: nunes@ipa.br

² Eng. Agr. Dr. em Solos e Nutrição de Plantas - IPA. E-mail: ar@ipa.br

³ Eng. Agr. M.Sc. em Irrigação - IPA. E-mail: vital@ipa.br

⁴ Eng. Agr. MSc. em Irrigação - Bolsista CNPq

INTRODUÇÃO

O Sertão de Pernambuco ocupa 68.800 km², correspondendo a aproximadamente 70 % do Estado (Anuário Estatístico de Pernambuco, 1982). Caracteriza-se pela baixa pluviosidade com chuvas mal distribuídas durante 4 a 5 meses, no período de janeiro a maio, alta taxa de evapotranspiração potencial, em torno de 2.000 mm e temperaturas elevadas durante todo o ano, entre 24 a 25°C (Nunes Filho et al., 1991).

A prática da irrigação é indispensável na Região, em virtude da ocorrência de déficit hídrico para as culturas, principalmente na época seca; no entanto, a aplicação de água pode ser um fator de salinização do solo, quando não manejada corretamente (Pizarro, 1978); assim sendo, os sais solúveis contidos nas águas subterrâneas e superficiais podem, em certas condições de clima ou lugar, salinizar os solos com produtos solúveis e modificar os íons trocáveis do complexo sortivo do solo (Servant, 1980). Essas alterações físico-químicas afetam o regime de umidade do solo, aeração, nutrição, desenvolvimento vegetativo e produtivo das plantas (Nunes Filho, 1984).

Cruz & Melo, citados por Medeiros et al. (1993) indicam, em ordem decrescente, os principais fatores que contribuem para a salinização das águas subterrâneas no Nordeste: a) clima; b) modo de ocorrência das águas (aquíferos livres ou confinados); c) condições de circulação (zoneamentos verticais) e d) natureza geológica (influência litológica). Por outro lado, Leprun (1983) apresentou o tipo de solo e a exposição a evaporação, como os principais indicadores de salinidade das águas superficiais. Oliveira & Maia (1998) estudando a qualidade da água de diversos aquíferos de áreas sedimentares do Rio Grande do Norte, concluíram que a maioria dos mananciais pode apresentar problemas, tanto para o solo quanto para os sistemas de irrigação, quando a irrigação pressurizada for empregada. Afirmam, também, que a probabilidade de se encontrar águas com $CE \geq 3,0 \text{ dS m}^{-1}$, ocorre na seguinte proporção: poços tubulares 27%; poços amazonas 16% e águas de açudes, rios e riachos, 21%.

Segundo Ayers & Westcot (1991) os principais problemas de qualidade de água para irrigação são os seguintes: salinidade - os sais solúveis do solo e da água reduzem a disponibilidade da água para as plantas, a tal ponto que afetam os rendimentos; infiltração de água - teores relativamente altos de sódio, ou baixos de cálcio no solo e na água, reduzem a velocidade com que a água de irrigação atravessa a superfície do solo. Esta redução pode alcançar tal magnitude, que as raízes das plantas não recebem suficiente água entre as irrigações e toxicidade de íons específicos - certos íons (sódio, cloreto e boro) contidos no solo ou na água, acumulam-se nas plantas em concentrações suficientemente altas para causar danos e reduzir os rendimentos das culturas sensíveis.

Ao se determinar a viabilidade do uso de águas para irrigação, deve-se levar em consideração a composição química da mesma, a tolerância das culturas, as práticas de manejo de solo, água e culturas, as condições climatológicas, o método de irrigação e as condições de drenagem (Contreras & Elizondo, 1980).

Thorne & Rickeenback (1972) relataram que a condutividade elétrica (CEa.) que representa uma medida indireta da concentração total de sais solúveis, e a relação de adsorção de sódio (RAS) constituem os principais parâmetros de

classificação e qualidade das águas para irrigação. Também, o Manual 60 do Laboratório de Salinidade dos E.U.A (Richards, 1980) avalia a qualidade da água para irrigação com base na CEa. em mmhos cm⁻¹ a 25°C e a RAS, segundo a fórmula: $RAS = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{0.5}$ sendo os cátions expressos em mmol. L⁻¹. Esta razão indica a atividade dos íons monovalentes e bivalentes nas soluções dos solos. Vários autores, citados por Pérez (1976) apresentaram outras relações para considerar uma água de boa qualidade, tais como: $(Ca^{2+} + Mg^{2+})/Na^+ > 23$ (Antipov & Karataev); $Na^+ \times 100 / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) < 66$ (Mozheico); $Mg^{2+} \times 100 / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) < 30$ (Szabolcs & Darab); e $Na^+/Ca^{2+} + Mg^{2+} < 1$ (Kelley, Liebig & Brown).

Por outro lado, Doneen (1967) introduziu o conceito de Salinidade Potencial (SP) das águas de irrigação, de acordo com a expressão: $SP = Cl^- + y_2 SO_4^{2-}$, expressando as concentrações desses ânions em mmol. L⁻¹.

Considerando-se a importância da concentração e das relações dos cátions Na⁺, Ca²⁺ + Mg²⁺ e do ânion Cl⁻, nas águas para fins de irrigação, o presente trabalho tem como objetivo estudar as relações entre esses íons e a salinidade total das águas subterrâneas e superficiais, no Sertão de Pernambuco, visando a uma classificação rápida e de baixo custo, com base apenas nas leituras de CEa em dS m⁻¹ a 25°C, "in situ", realizadas através de condutivímetro portátil.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Sertão de Pernambuco, que compreende as seguintes coordenadas geográficas: latitude sul de 8°30'30" a 9°30'00" e longitude oeste de Greenwich de 37°30'00" a 41°00'00" (DMRH/IPA, 1996).

As amostragens de água foram realizadas durante quatro anos, no período de 1993 a 1996, totalizando 175 amostras, sendo 100 de águas superficiais e 75 de águas subterrâneas distribuídas em trinta e três municípios, de forma casualizada e segundo as necessidades dos proprietários de identificarem a qualidade das águas dos seus mananciais para uso na irrigação.

Consideraram-se, como águas subterrâneas, todas as amostras oriundas de poços amazonas, cacimbas e poços tubulares. As águas superficiais abrangeram açudes, rios, riachos e a represa de Itaparica, no Rio São Francisco, município de Petrolândia.

O material coletado foi acondicionado em recipientes de 1000 mL hermeticamente fechados e conduzidos ao laboratório de análises de água da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA). Nessas amostras foram realizadas as seguintes determinações: resíduo seco, SO₄²⁻, pH, CEa., Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, CO₃²⁻ e HCO₃⁻. Utilizou-se a metodologia proposta por Richards (1980) e EMBRAPA (1979).

De posse dos resultados, efetuou-se a análise de regressão e ajuste de equações lineares empíricas entre as concentrações de Na⁺, Ca²⁺ + Mg²⁺ e Cl⁻ em mmol. L⁻¹ e a CEa em dS m⁻¹ a 25°C, para as águas subterrâneas e superficiais, tendo em vista o efeito marcante desses elementos eletropositivos na atividade iônica da solução do solo e do ânion cloreto, considerado tóxico para a maioria das culturas e predominante nas águas estudadas. Determinaram-se as classes modal e de salinidade, segundo a fórmula de Czuber, citado por Bonini (1972) e a distribuição de freqüências relativas, com base na CEa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que a maioria das águas estudadas se enquadra na classe de salinidade média ($0,25 < \text{CEa} < 0,76 \text{ dS m}^{-1}$), segundo Richards (1980) com distribuição normal (Figura 1); por outro lado, as águas de salinidade baixa ($\text{CEa} \leq 0,25 \text{ dS m}^{-1}$) se apresentam com freqüências relativas (fr) de 23,0 e 20,0% nos mananciais de águas subterrâneas e superficiais, respectivamente, ocorrendo o mesmo com as águas de salinidade muito alta ($\text{CEa} > 2,25 \text{ dS m}^{-1}$) cuja fr foi também maior para as águas subterrâneas; no entanto, a classe que contém a moda ($\text{CEa} = 0,43 \text{ dS m}^{-1}$) apresentou comportamento inverso, ou seja, houve maior porcentagem de águas superficiais em comparação com as águas provenientes do subsolo, ambas de salinidade média com valores de 46,0 e 37,0%, respectivamente.

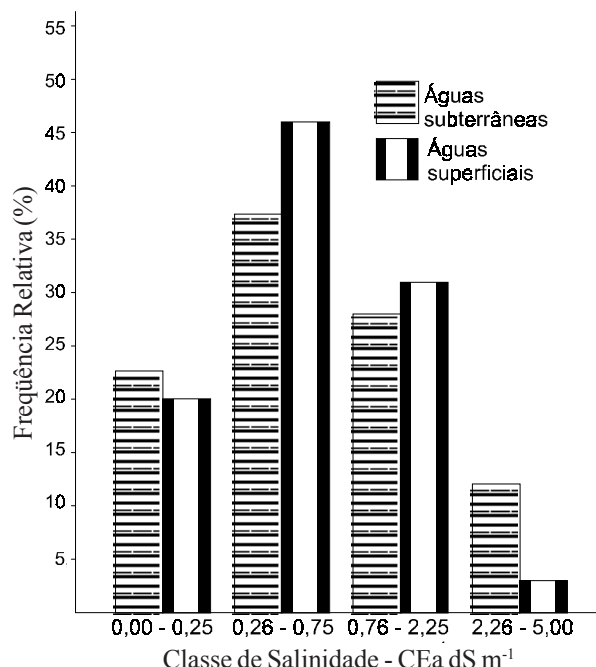


Figura 1. Distribuição de freqüências relativas às classes de salinidade das águas subterrâneas e superficiais, com base na condutividade elétrica (CE)

O estudo das regressões entre CEa e os íons em pauta (Tabelas 1 e 2) mostra que é possível se estimar com bastante confiabilidade, os elementos Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- , dentro da faixa de leituras dada pelos condutivímetros, uma vez que as equações obtidas foram significativas a nível de 1% de probabilidade pelo teste “t”. Trabalho semelhante foi realizado por Silva Júnior et al. (1999), que correlacionaram as características das águas (Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Cl^- e RAS) em função da CEa, para cinco núcleos do sub-programa GAT, nos Estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, tendo-se encontrado parâmetros das regressões lineares $Y = a + b(\text{CEa})$ com diferença significativa a nível de 5% de probabilidade, para a mesma variável, entre os núcleos e os dados de todas as águas estudadas. No caso da estimativa dos íons Na^+ e Cl^- , nas águas superficiais e subterrâneas, as equações propostas têm validade no intervalo de $0,15 < \text{CEa} < 5,00 \text{ dS m}^{-1}$, uma vez que os valores dos interceptos são negativos, nos modelos descritos a seguir:

$$\text{Na}^+ = -0,710 + 4,765(\text{CEa}), R^2 = 0,91^{**} \text{ (águas subterrâneas)}$$

Tabela 1. Número de amostras coletadas de águas subterrâneas (AC.), condutividade elétrica (CEa.), teores de sódio (Na^+), cálcio + magnésio ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) e cloretos (Cl^-) em vários municípios do Sertão de Pernambuco, no período de 1993 a 1996

Município	AC.	CEa - dS m ⁻¹ a 25°C	Íons (mmol _e L ⁻¹)		
			Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Cl ⁻
Arcoverde	02	0,281	0,80	2,10	1,20
		0,184	0,88	1,00	1,20
Exu	04	1,271	6,72	4,10	7,20
		0,560	2,12	3,10	2,08
		1,762	9,80	6,60	10,60
		2,418	12,80	9,70	12,40
Flores	02	0,659	3,12	3,10	3,40
Floresta	01	1,591	5,36	7,60	7,60
		0,199	0,84	1,20	0,80
Ibimirim	04	1,958	6,40	0,90	13,60
		0,251	0,48	2,40	1,00
		0,397	1,24	2,50	2,10
		0,268	0,64	2,00	1,60
Inajá	04	1,028	6,00	1,40	4,80
		0,434	1,20	1,85	3,20
		4,112	28,40	8,50	32,40
		0,599	2,72	2,80	4,00
Mirandiba	05	0,162	0,38	1,30	1,20
		2,909	11,20	16,80	15,60
		1,326	2,36	11,00	4,80
		1,689	7,60	8,50	9,10
		1,725	7,76	8,30	9,60
São José do Belmonte	13	0,162	0,20	0,65	1,00
		0,287	0,56	2,90	0,80
		0,193	0,27	1,70	1,20
		0,844	3,16	2,60	6,00
		0,220	0,29	1,50	1,60
		0,304	0,72	1,50	1,60
		0,971	2,92	2,70	7,20
		0,304	0,26	2,40	1,60
		0,129	0,31	1,00	1,20
		0,413	1,20	2,20	2,40
		0,571	1,64	3,00	3,60
		0,440	0,51	3,00	2,70
		0,548	1,12	3,50	2,80
São José do Belmonte	20	0,283	0,28	2,70	0,40
		0,344	0,76	2,50	1,20
		0,164	0,32	1,30	0,70
		0,176	0,30	1,20	0,50
		0,178	0,32	1,40	0,50
		0,176	0,30	1,40	0,50
		0,434	0,76	2,50	3,20
		0,135	0,25	0,80	0,80
		0,099	0,33	0,40	0,40
		0,241	0,30	2,10	0,60
		0,210	0,32	1,60	0,80
		0,649	1,04	4,00	5,20
		0,304	0,68	2,20	1,20
Salgueiro	02	0,467	1,60	2,80	2,20
		0,300	0,49	2,10	2,00
		0,132	0,22	1,30	0,20
		0,545	1,76	2,70	2,80
		1,434	4,00	7,50	11,20
São José do Egito	03	0,283	0,29	2,60	0,40
		0,300	0,54	2,10	2,00
		1,221	4,80	6,70	3,00
Serra Talhada	02	1,298	5,84	5,30	5,60
		0,422	1,52	2,70	0,90
Serra Talhada	02	1,341	7,60	4,50	5,60
		0,649	2,00	4,70	2,10
Serra Talhada	02	1,174	4,80	5,50	5,60
		2,022	8,80	10,30	9,00

Continua

Continuação da Tabela 1

Município	AC.	CEa - dS m ⁻¹ a 25°C	Íons (mmol _c L ⁻¹)		
			Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Cl ⁻
Sertânia	05	2,055	7,52	9,90	13,80
		0,268	0,88	1,90	1,20
		3,738	16,40	16,80	26,80
		1,613	6,48	7,60	11,00
		0,357	1,12	2,70	1,12
Serrita	04	2,937	12,80	11,75	10,20
		3,682	13,44	22,80	21,70
		4,864	22,80	29,20	25,70
		3,671	14,08	22,00	20,90
Sítio dos Moreiras	01	3,572	12,60	21,00	26,00
Tabira	02	1,689	10,20	5,70	8,80
		1,762	10,40	6,00	9,00
Tuparetama	01	0,328	1,24	2,30	1,20
Média		1,033	4,16	5,19	5,84
Moda		0,435	1,06	2,62	2,03

Tabela 2. Número de amostras coletadas de águas superficiais (AC.), condutividade elétrica (CEa), teores de sódio (Na⁺), cálcio + magnésio (Ca²⁺ + Mg²⁺) e cloretos (Cl) em vários municípios do Sertão de Pernambuco, no período de 1993 a 1996

Município	AC.	CEa - dS m ⁻¹ a 25°C	Íons (mmol _c L ⁻¹)		
			Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Cl ⁻
Afogados da Ingazeira	04	0,761	3,60	3,00	4,40
		0,474	2,00	2,30	2,40
		0,183	0,44	1,40	0,60
		0,274	1,52	1,50	1,20
Araripina	01	1,111	3,68	6,00	7,40
Arcoverde	05	0,193	0,80	1,05	1,20
		0,773	2,80	4,00	4,80
		0,333	1,40	1,80	1,80
		1,372	4,96	6,20	8,00
Belém de São Francisco	03	0,561	1,84	2,30	2,00
		0,327	1,20	2,00	2,00
		0,102	0,21	1,00	0,60
		1,082	3,76	4,20	7,20
Bodocó	02	0,752	2,64	3,80	3,50
		0,635	2,04	3,00	3,00
Cabrobó	02	0,497	1,68	2,10	2,80
		0,064	0,09	0,70	0,40
Carnaíba	01	0,593	2,72	2,80	3,20
Carnaubeira da Penha	01	0,583	2,48	2,25	4,60
		0,123	0,25	0,80	4,60
Cedro	04	0,770	3,44	3,50	0,28
		0,604	1,31	4,00	4,20
		0,610	1,60	3,90	2,00
		0,514	1,40	3,00	1,60
Custódia	03	0,576	1,36	2,80	2,80
		0,541	3,00	3,00	2,50
		0,154	0,60	0,90	0,48
		1,762	9,60	5,60	10,80
Exu	04	0,224	0,36	1,32	0,40
		0,134	0,40	0,70	0,70
		0,216	0,36	2,00	0,70
		0,173	0,76	1,00	0,50
Flores	04	0,780	4,56	1,50	5,60
		0,862	3,80	1,90	5,20
		0,700	3,20	3,50	4,20
		0,780	3,60	4,00	4,80
Floresta	04	0,570	0,64	3,00	1,20
		1,111	3,76	5,50	6,40
Granito	01	1,504	6,80	5,80	9,00

Continua

Continuação da Tabela 2

Município	AC.	CEa - dS m ⁻¹ a 25°C	Íons (mmol _c L ⁻¹)		
			Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Cl ⁻
Ibimirim	06	0,437	2,40	1,90	1,60
		0,770	3,20	4,10	4,80
		1,498	7,36	6,40	10,20
		0,920	2,56	4,70	4,80
		1,082	3,76	5,40	6,30
Iguaraci	04	1,045	4,40	5,90	7,00
		0,862	4,56	3,80	1,20
		0,593	2,40	2,80	2,80
		0,558	2,88	2,30	2,90
		0,493	3,36	2,50	2,20
Inajá	01	0,362	0,96	2,10	1,80
Ouricuri	04	0,560	2,24	2,40	3,60
		0,404	0,52	3,00	1,30
		2,327	10,60	7,70	15,50
		0,240	0,30	2,00	0,50
		0,154	0,26	1,50	0,60
Parnamirim	06	0,290	0,35	2,10	1,20
		1,355	6,10	5,50	8,00
		2,242	10,00	8,30	13,30
		0,717	3,20	3,00	4,20
		0,584	2,04	2,60	2,00
Petrolândia	01	0,082	0,12	0,80	0,20
Petrolina	02	0,474	2,00	2,30	3,40
		0,066	0,14	0,70	0,60
Salgueiro	08	0,158	0,35	1,20	0,40
		0,140	0,52	0,90	0,80
		0,397	1,60	2,20	2,40
		0,822	4,08	3,40	6,40
		0,224	0,68	1,40	0,80
		0,743	2,32	3,70	3,60
		0,428	1,16	2,60	1,20
		1,091	4,16	4,80	5,60
Santa Maria B. Vista	01	0,913	2,96	4,00	5,70
São José do Egito	01	0,163	0,28	1,70	0,40
Serra Talhada	12	1,258	5,12	5,20	7,60
		1,121	4,96	5,10	7,60
		1,027	4,48	4,80	6,40
		0,243	0,68	1,80	0,40
		0,352	1,44	1,90	1,20
		0,304	1,12	2,00	2,40
		0,411	1,28	2,30	1,90
		0,184	0,56	1,20	0,60
Serrita	04	0,408	1,64	2,20	2,00
		0,391	1,56	2,50	2,00
		3,146	18,40	7,20	22,90
		0,545	1,52	3,30	2,10
		0,268	1,84	1,00	0,92
		0,302	0,60	2,00	1,20
		0,274	0,30	2,00	0,40
		0,337	0,92	1,80	1,20
Sertânia	07	2,055	9,60	7,70	15,40
		0,434	1,76	2,60	1,80
		3,627	19,20	10,80	26,00
		1,312	7,20	4,00	7,00
		2,005	5,84	15,30	9,60
Terra Nova	03	1,561	6,56	7,70	10,90
		1,312	7,20	4,00	7,00
		0,398	1,56	2,40	2,40
		0,601	2,16	3,00	2,40
Tuparetama	01	0,258	0,60	2,10	0,80
		0,546	2,20	2,80	3,00
Média		0,713	3,15	3,28	3,17
Moda		0,430	1,67	2,48	2,18

Na⁺ = - 0,666 + 5,072 (CEa), R² = 0,94^{**} (águas superficiais)Cl⁻ = - 0,569 + 6,152 (CEa), R² = 0,93^{**} (águas superficiais)Cl⁻ = - 0,874 + 6,890 (CEa), R² = 0,94^{**} (águas superficiais)

Sendo os valores de CEa expressos em dS m^{-1} a 25°C e os íons calculados em mmol L^{-1} , as concentrações de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em mmol L^{-1} , podem ser estimadas através de leituras de CEa, no intervalo: $0 < \text{CEa} < 5,0 \text{ dS m}^{-1}$, nas águas subterrâneas e superficiais, sem restrições, pois as equações apresentaram interceptos (parâmetros **a**) sempre positivos, para os dois tipos de mananciais, de acordo com as seguintes equações:

$$\text{Águas subterrâneas} \\ (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 0,287 + 4,673(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,83^{**}$$

$$\text{Águas superficiais} \\ (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 0,978 + 3,223(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,78^{**}$$

Observa-se que os coeficientes de determinação R^2 , para a estimativa de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, nas águas superficiais e subterrâneas, foram os mais baixos de todos, talvez pela maior variabilidade litológica, acarretando diferença na quantidade de ânions associados a esses cátions, com a predominância de sulfatos nas águas provenientes de áreas gessíferas do Araripe, e cloretos no cristalino, influenciando de modo geral a salinidade total, devido à maior solubilidade dos sais de cloretos em comparação com os sulfatos.

As águas superficiais apresentaram-se, em média, menos mineralizadas que as águas subterrâneas, com valores de CEa de 0,713 e $1,033 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , respectivamente.

CONCLUSÕES

1. Da análise dos resultados, conclui-se que os íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- contidos nas águas subterrâneas e superficiais do Sertão de Pernambuco podem ser estimados com confiabilidade, através das seguintes equações empíricas:

$$\text{Águas subterrâneas} \\ (\text{Na}^+) = -0,710 + 4,765(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,91 \\ (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 0,287 + 4,673(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,83 \\ (\text{Cl}^-) = -0,569 + 6,152(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,93$$

$$\text{Águas superficiais} \\ (\text{Na}^+) = -0,666 + 5,072(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,94 \\ (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = 0,978 + 3,222(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,78 \\ (\text{Cl}^-) = -0,874 + 6,890(\text{CEa}) \quad R^2 = 0,94$$

2. A salinidade média das águas superficiais e subterrâneas foi de 0,713 e $1,033 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C , respectivamente, no entanto, a salinidade modal foi praticamente igual para os mananciais de superfície e subterrâneos, com valores de 0,430 e $0,435 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente.

3. A concentração modal dos íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- nas águas superficiais e subterrâneas, foi de 1,67, 2,48 e 2,18 e 1,06, 2,62, e $2,03 \text{ mmol L}^{-1}$, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do pesquisador Venézio Felipe dos Santos, na análise estatística deste trabalho, e das assistentes administrativas Cláudia Rodrigues Fernandes Barbosa e Leny Nobre Alecrim, pela digitação e diagramação, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE PERNAMBUCO, Recife, CONDEPE, 1982, v.31, 341p.

- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29, rev. 1
- BONINI, E.E.; BONINI, S.E. Estatística, teoria e exercícios. São Paulo: FEA/USP, 1972. 439p.
- CONTRERAS, A.M.; ELIZONDO, M.S. Relaciones agua-suelo-planta-atmosfera. México: Universidad Autonoma de Chapingo, Departamento de Enseñanza Investigación y Servicio en Irrigación 2. ed. 1980, 22p.
- DMRH/IPA - DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Programa de tempo, clima e recursos hídricos - CTRH (Monitoramento, previsão e aplicações). Recife, 1996, Relatório, 51p.
- DONEEN, L.D. Water quality requirements for agriculture. In: SYMPOSIUM ON QUALITY STANDARDS FOR NATIONAL WATER. Univ. Mich. 1967, p. 213-218.
- EMBRAPA, Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. s.p.
- LEPRUN, J.C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste, Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, 1983. p.91-141.
- MEDEIROS, J.F. de; GHEYI, H.R.; PIERRE, A. Relações empíricas entre várias características da água utilizada para irrigação na zona semi-árida do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22. 1993. Ilhéus. Anais... Ilhéus: SBEA, CEPLAC, 1993, p.2864-68.
- NUNES FILHO, J. El mejoramiento de los suelos sódicos y aguas bicarbonatadas, utilizando yeso agrícola en diferentes láminas de aplicación. Texcoco: Colégio de Postgraduados, Chapingo, México, 1984. 292p. Tesis de Maestria
- NUNES FILHO, J.; GUERRA, C.A.M.; SOUSA, A.R.; SÁ, V.A.L.; 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.
- OLIVEIRA, M.; MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, n.1, p.17-21, 1998.
- PÉREZ, M.B. Evaluación de la salinidad en los suelos y agua. Habana: Escuela de Ciencias Agropecuárias, Universidad de la Habana, 1976. 68 p.
- PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid: Editorial Agrícola, Española, 1978. 521p.
- RICHARDS, L.A. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México: Editorial Limusa, 1980. 172p.
- SERVANT, M.J. Salinidad en los suelos y en las aguas sus características y los problemas de irrigación y drenaje. Santo Domingo: El cañero, 1980. 16p. Boletim 9
- SILVA JÚNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.de. Composição química de águas do cristalino do Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.1, p.11-17, 1999.
- THORNE, J.; RICHKEENBACK, R. El problema de las sales en el agua de riego, La Hacienda, Califórnia, n.6, p.7-12, 1972.