

Modelagem da concentração de íons no extrato de saturação do solo, na Região da Chapada do Apodi¹

Ion concentration modeling validation in the saturation extracts in Chapada do Apodi Region.

Eunice Maia de Andrade², Ana Célia Maia Meireles³, Ricardo Luis Lange Ness⁴ e Maria das Graças Mendonça da Cruz⁵

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de se estimar e avaliar as relações existentes entre a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes,) e a concentração dos íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- . Desenvolveu-se análise de regressão desses parâmetros para as camadas de 0–20 cm, 20–40 cm e 40–60 cm, com 48 amostras por camada, perfazendo um total de 144 amostras. O trabalho foi realizado com dados coletados no Perímetro Irrigado do Projeto Jaguaribe-Apodi, no município de Limoeiro do Norte, CE, Brasil. A validação do modelo foi efetuada com dados, no total de 144 amostras, também coletados na Chapada do Apodi, os quais não foram empregados na calibração do modelo. Os resultados mostraram que os íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- , presentes no solo para as camadas avaliadas, podem ser estimados com confiabilidade, fazendo-se uso de equações lineares do tipo: $Y = a + bx$; uma vez que todos os modelos validados, com exceção daqueles desenvolvidos para o Na^+ nas duas camadas mais profundas, apresentaram um ótimo índice de desempenho ($c > 0,85$). Os valores simulados dos parâmetros estudados apresentaram alta correlação com os valores observados, expressando excelente acuracidade dos modelos.

Termos para indexação: salinidade, irrigação, validação de modelos

ABSTRACT

The main goal of this study was to predict and to evaluate the relationship between electrical conductivity of the soil saturation extracts (CEes) and ion concentration of Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and Cl^- . Regression equations were developed for these parameters in three different layers (0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm). This work was done with 48 samples per layer, pooled a total of 144 samples. Data set used in this study were sampled in the Irrigated Perimeter of the Jaguaribe-Apodi project, at Limoeiro do Norte County, Ceará State, Brazil. To evaluate the regression equations accuracy, 144 samples were selected for model validation. Although, the data were also collected in the Chapada do Apodi; they were not used in the development of the regression analysis to avoid autocorrelation. Results showed that Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and Cl^- present in each soil layer, could be estimated by a single linear regression of the type: $Y = a + bx$. All evaluated models showed the best performance index ($c > 0,85$), except those for Na^+ , in the two deeper layer. Computed ion concentration showed a good agreement with observed values; suggesting that, the developed equations are good for prediction of ions concentrations.

Index terms: salinity, irrigation, modeling validation

¹ Projeto de pesquisa financiado pela FUNCAP

² Eng^o Agr^o, Ph.D., Profa do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Caixa Postal 6003, Campus do Pici, CEP: 60.455-970 Fortaleza, Ceará, e-mail: eandrade@ufc.br

³ Eng^o Agr^o M.Sc., bolsista da FUNCAP

⁴ Eng^o Agr^o, Dr., Prof Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC, CEP: 62.930.000 – Limoeiro do Norte, Ceará

⁵ Eng^o Agr^o M.Sc., técnica da UFC, mgcruz@bol.com.br

Introdução

As regiões áridas e semi-áridas do globo, caracterizam-se por verões longos e secos, alternados por estações chuvosas de curta duração, com alta variabilidade espacial e temporal. Por outro lado, a produção agrícola dessas regiões depende da dotação artificial da água. A agricultura irrigada, principalmente em zonas secas, tem pressionado o meio ambiente de forma dramática com impactos que podem conduzir à degradação do solo, com perdas parciais ou totais da produtividade (Rhoades et al., 1992; Souza et al., 2000; Andrade et al., 2001). A solução do solo nas áreas irrigadas apresenta, de forma geral, um nível de salinidade superior ao da água de irrigação, devido aos sais solúveis existentes no solo, principalmente na camada superior (Ben-Hur et al., 1998).

Práticas de manejo de irrigação necessitam ser adotadas para se evitar o aumento gradual dos íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- na solução do solo, os quais estão diretamente relacionados com a salinidade, sodicidade do solo e efeitos tóxicos nas culturas. Porém, a adoção dessas práticas ainda ocorre em pequenas escalas nas áreas irrigadas das regiões secas do globo, quer pela quantidade limitada de água disponível para a agricultura, pela sua baixa qualidade, pelos aspectos econômicos ou pelo nível de conscientização dos produtores (Ferrer-Alegre e Stockle, 1999). As alterações desses íons reduzem a disponibilidade hídrica para as culturas, tanto pela ação higroscópica dos sais como pela alteração físico-química do solo, (Mace e Amrhein, 2001).

Tomando-se como base a importância de se conhecer a concentração dos íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- na solução do solo para o desenvolvimento das culturas, realizou-se um estudo com o objetivo de se desenvolver e validar modelos empíricos onde a concentração de cada íon possa ser estimado com base na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), visto que a mesma pode ser determinada facilmente por condutímetro portátil.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em áreas situadas entre $5^{\circ} 6' 38''$ e $5^{\circ} 11' 39''$ S e $37^{\circ} 52' 21''$ e $37^{\circ} 56' 05''$ W, no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (DIJA), com aproximadamente 10.000 ha, localizado na Chapada do Apodi, Ceará. A área é classificada como de clima quente e semi-árido, com temperatura média superior a 18°C no mês mais frio (BSw'h'), segundo Köppen. A região apresenta pluviosidade média de 750 mm, sendo que o período mais seco é o de julho a outubro (CEPA-32, 1980). Os solos são classificados como Cambissolos Háplicos (EMBRAPA, 1999), apresentando, em média, uma condutividade elétrica inferior a $0,35 \text{ dS m}^{-1}$; pH em torno de 7,7 e densidade do solo igual a $1,34 \text{ g cm}^{-3}$.

As amostras de solo foram coletadas mensalmente no período de dezembro/1999 a dezembro/2000, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm em quatro pontos distintos, perfazendo um total de 48 amostras por camada. O trabalho foi desenvolvido em um campo de graviola, que vinha sendo irrigado a um ano com água subterrânea, classificadas como C_3S_1 (Cruz, 2001). O sistema de irrigação empregado é o de microaspersão. A composição média da água empregada na irrigação pode ser vista na Tabela 1.

As amostras de solos coletadas nas respectivas camadas eram acondicionadas em sacos plásticos, previamente identificadas e levadas ao Laboratório de Águas, Efluentes e Solos do CENTEC-LN, onde foram determinados: pH, CE, conteúdo de Na^+ , K^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- . Para a determinação destas características foi empregada a metodologia apresentada pela EMBRAPA (1997).

Em uma primeira fase, com os resultados obtidos em laboratório, equações lineares, para as três camadas estudadas, foram desenvolvidas para se estimar as concentrações de Cl^- , Na^+ e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ em função da CEes. A equação calibrada tem a seguinte forma:

Tabela 1. Características das águas subterrâneas usadas para irrigação na chapada do Apodi, Quixeré, CE.

Parâmetros	Valores médios	Parâmetros	Valores médios
CE(dS m^{-1})	1,85	Na^+ ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)	4,35
pH	7,04	K^+ ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)	0,06
$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)	10,45	Cl^- ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)	8,87

$$Y_i = a + bX_i$$

em que: Y, representa a concentração do íon ou variável dependente; X_i expressa a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ou variável independente; “a” e “b” são os coeficientes da regressão. As análises foram executadas usando-se o software SPSS v. 10 (Norusis 1990), sendo obtidos os valores médios, os coeficientes da equação, o coeficiente de determinação (r²); e o valor de significância da equação (F).

Para se avaliar o desempenho das equações de regressões, a qual compunha a segunda fase deste trabalho, foram aplicados os seguintes índices estatísticos: coeficiente de correlação (r), o qual indica a dispersão dos dados em relação à média (precisão) e índice de Willmott (d) – indica o grau de exatidão do modelo, ou seja, de quanto os valores estimados se aproximam dos observados. Por último empregou-se o índice de confiança ou desempenho (c), o qual é o produto do coeficiente de correlação com o índice de Willmott. Maiores informações sobre os índices de Willmott e o de confiança ou desempenho são encontrados em Willmott (1981) e Camargo e Sentelhas (1997).

A validação do modelo para cada íon presente nas três camadas, foi efetuada empregando-se dados coletados no mesmo período, um total de 36 amostras por camada, em uma área vizinha, também irrigada por microaspersão; sendo a cultura explorada a bananeira prata-anã. A referida área apresentava características físicas e químicas bem semelhantes àquela onde os dados para o desenvolvimento dos modelos foram coletados. A validação

foi efetivada com dados não empregados na calibração do modelo para se eliminar a autocorrelação.

Resultados e Discussão

Desenvolvimento do modelo

Os modelos de regressão linear desenvolvidos entre a CEEs e os íons analisados para as três camadas de solo estudadas, estão presentes na Tabela 2.

Pelos resultados, observa-se que os íons Cl⁻, Na⁺ e Ca²⁺ + Mg²⁺ podem ser estimados com elevado grau de confiabilidade; tomando-se como base de análise não apenas o coeficiente de determinação, mas também os valores de F. Analisando-se os valores dos coeficientes de determinação (r²) das equações desenvolvidas, observa-se que o Cl⁻ e o Ca²⁺ + Mg²⁺ expressaram correlação elevada a muito elevada com os valores da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEEs); já o cátion Na⁺ apresentou correlações de moderada a fraca, segundo os intervalos adotados por Milton (1992) para o coeficiente de correlação de Pearson. Pelos valores de F, a um nível de significância de 1% , a hipótese de que a variação dos elementos estudados não pode ser explicada por um modelo linear, foi rejeitada.

De acordo com os coeficientes angulares das equações, fica claro a predominância dos íons Ca²⁺ + Mg²⁺ e Cl⁻ na solução do solo para as camadas pesquisadas. A predominância destes elementos é decorrência do peso atribuído à CEEs na estimativa do Ca²⁺ + Mg²⁺ sofre acréscimo ao longo do perfil, a

Tabela 2 - Regressão linear, coeficiente de determinação e valor do teste F para os íons analisados nas camadas estudadas para a região da Chapada do Apodi, Ceará.

Elemento	Camadas (cm)	Concentração (mmol _c L ⁻¹)			Equação	r ²	F	Sig.
		Média	Max.	Min.				
Cl ⁻	0 - 20	7,72	28,76	2,54	Cl ⁻ = -1,103 + 7,620 CE	0,98	1527,64	,0000
	20 - 40	9,82	31,44	2,54	Cl ⁻ = -0,542 + 8,150 CE	0,95	1242,38	,0000
	40 - 60	8,66	20,87	2,54	Cl ⁻ = -0,506 + 8,440 CE	0,95	658,39	,0000
Na ⁺	0 - 20	4,55	17,28	0,82	Na ⁺ = -0,481 + 4,346 CE	0,78	127,55	,0000
	20 - 40	4,63	10,37	0,06	Na ⁺ = -1,164 + 2,730 CE	0,60	54,82	,0000
	40 - 60	3,87	8,40	0,00	Na ⁺ = -1,208 + 2,447 CE	0,38	20,78	,0000
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	0 - 20	7,59	21,80	2,20	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ = -1,375 + 5,370 CE	0,90	352,54	,0000
	20 - 40	8,33	22,20	1,20	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ = -0,057 + 6,600 CE	0,93	541,30	,0000
	40 - 60	7,20	16,60	1,00	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ = -0,596 + 7,179 CE	0,91	364,90	,0000

uma taxa média de 16% em decorrência das condições edáficas da região, onde predominam solos do tipo Cambissolos Háplicos oriundos de rochas calcárias (EMBRAPA, 1999). Em relação a equação para estimativa do íon Cl^- , constata-se que os coeficientes das CEs quase não variaram ao longo do perfil estudado, registrando-se tendência de aumento ao longo do perfil (Tabela 2). Possivelmente a alta concentração de cloreto na camada superior, seja resultado da qualidade da água de irrigação (C_3S_1) e da fertilização praticada na área estudada, visto que quantidades de cloreto de potássio são adicionadas à água de irrigação para suprir a exigência de potássio pela cultura. Este fertilizante apresenta de 45 a 48% de Cl^- na sua composição, sendo capaz de gerar grandes mudanças na pressão osmótica da solução do solo (UFC, 1993).

A concentração máxima de Na^+ ocorre na primeira camada (0-20 cm) representando quase o dobro daquela presente nas camadas de 20-40 cm e 40-60 cm (Tabela 2). A maior concentração desse elemento na camada superior pode ser devida a sua alta solubilidade, e com o processo da evapotranspiração há o aumento da sua concentração.

As equações desenvolvidas, exceto àquelas para o sódio nas camadas de (20-40 e 40-60 cm) e para o $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ na camada de 0-20 cm, revelaram validade para valores de $\text{CE} > 0,14 \text{ dS m}^{-1}$, uma vez que a constante intercepta o eixo das ordenadas abaixo do zero. Resultados semelhantes foram observados por Nunes Filho et al. (2000) quando avaliavam as relações entre CE das águas subterrâneas e superficiais e a concentração dos íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- , no Estado do Pernambuco.

Validação do modelo

A relação entre as concentrações do Cl^- no extrato de saturação medidas em laboratório e aquelas simuladas pode ser vista na Figura 1, estando as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm representadas respectivamente, pelas letras A, B e C. Esta comparação fornece a base para avaliar a acuracidade da simulação do modelo; se a simulação apresentar acuracidade, os pares de pontos (medidos e estimados) deverão estar em torno da reta 1:1, a qual conecta os valores computados iguais aos observados, ou seja, a igualdade perfeita.

Observa-se que o modelo revelou-se adequado para simulação do cloreto nas três camadas estu-

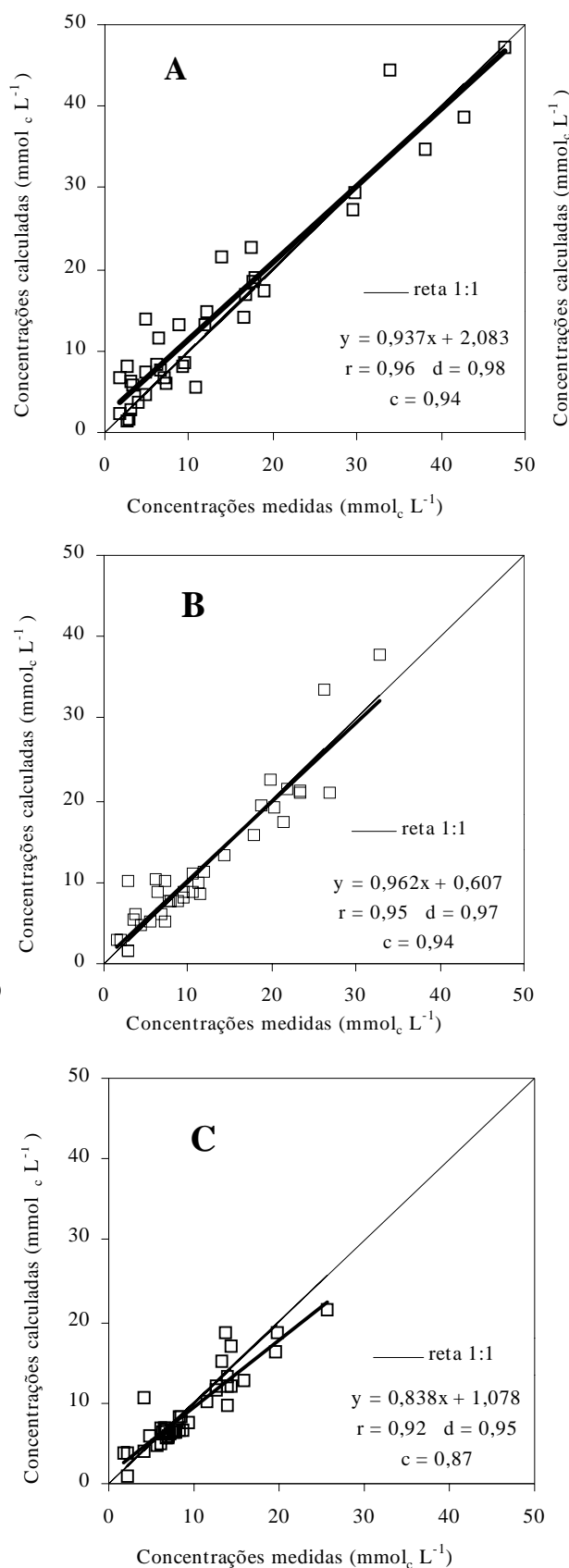


Figura 1 - Relação entre os valores das concentrações de Cl^- medidos em laboratório e os simuladas pelo modelo para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

dadas, uma vez que os pares de pontos (observados e estimados) se encontram bem próximos da reta 1:1. Para as primeira e segunda camadas, Figuras 1A e 1B, respectivamente, as retas ajustadas se confundem com a reta 1:1, quer para baixas ou altas concentrações do íon cloreto, expressando a condição ideal na simulação de um modelo. Para a camada de 40-60 cm, (Figura 1C) registra-se tendência do modelo em subestimar os valores reais da concentração do Cl⁻ na solução do solo. No entanto, pelos valores obtidos dos índices aplicados, os modelos, para todas as camadas estudadas, apresentam precisão e exatidão excelentes ($r > 0,92$; $d > 0,95$) com um ótimo grau de desempenho ($c > 0,87$). Tais resultados indicam que a concentração do íon em estudo pode ser estimada sem restrições pelos referidos modelos.

Outro fato que pode ser observado pela Figura 1 é que os maiores valores registrados de Cl⁻ ocorrem na camada superior, havendo um decréscimo com a profundidade. Esta maior concentração do íon cloreto, na profundidade de 0 – 20 cm, é uma decorrência da qualidade da água empregada na irrigação (C_3S_1), da deposição de sais na camada superficial através do processo de evapotranspiração (Meireles et al., 2001) e das altas doses de fertilizantes químicos, $570 \text{ g.planta}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, empregados na irrigação localizada (D’Almeida, 2002).

Através das Figuras 2A, 2B e 2C, pode-se observar os valores da concentração do íon sódio presentes no extrato de saturação do solo e os simulados pelo modelo de regressão linear relativo as camadas de 0–20, 20–40 e 40–60 cm, respectivamente. Verifica-se que, com exceção da camada de 60-40, os modelos apresentam uma alta precisão e exatidão, com coeficientes de correlação (r) e índices de Willmott (d) maiores que 0,87 e 0,89 respectivamente; expressando um grau de desempenho ou de confiança de “muito bom” a “ótimo” ($c > 0,77$). Os valores destes índices indicam que a concentração de sódio pode ser estimada com base na CEEs para as camadas estudadas na região da Chapada do Apodi. Embora os pontos estejam próximos da reta 1:1 existe uma leve tendência do modelo em superestimar a concentração do cátion Na⁺, sendo esta tendência mais acentuada para a camada de 20-40 cm.

A maior concentração de Na⁺ foi verificada na camada mais superficial do solo à profundidade de 0–20 cm (Figura 2 A), ocorrendo decréscimo ao longo do perfil. Nas demais profundidades (Figuras 2B e 2C), a concentração do elemento representa

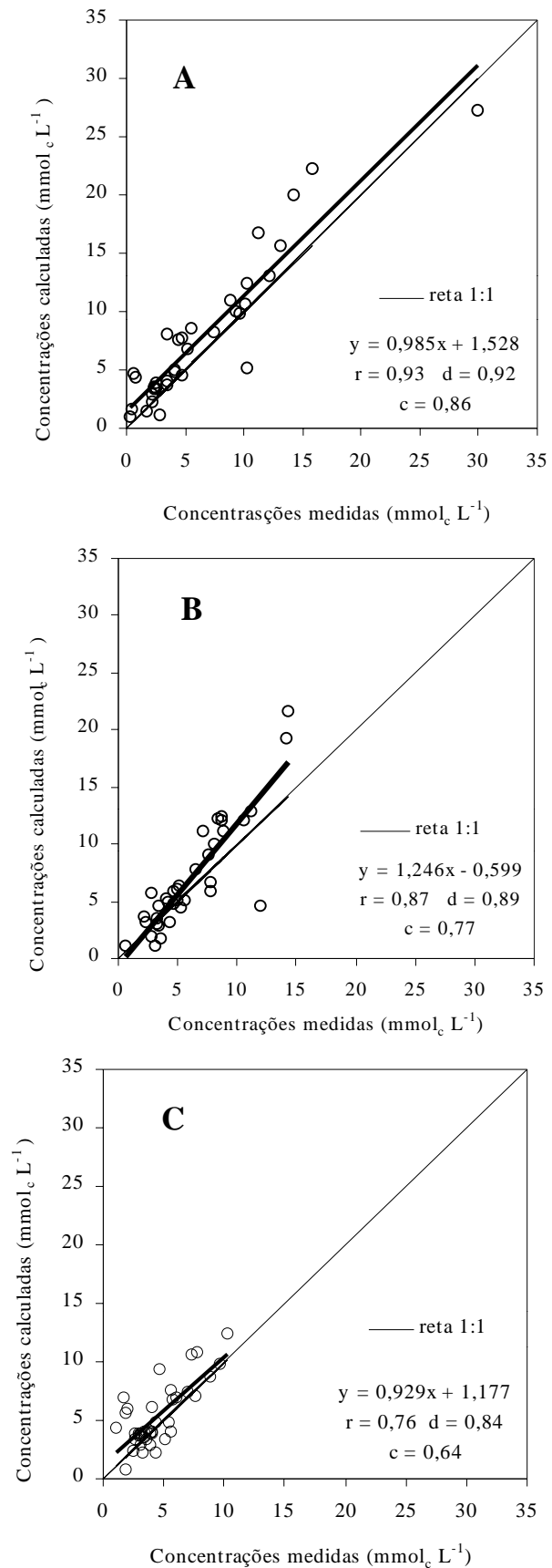


Figura 2 - Valores das concentrações de Na⁺ medidos em laboratório e os simuladas pelo modelo para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

aproximadamente 50% do observado para a camada mais superficial. As concentrações do íon sódio em todas as faixas do solo estudadas apresentaram-se superiores a $13 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, concentração esta capaz de gerar danos severos às culturas sensíveis (Ayers e Westcot, 1991). Os maiores valores registrados na primeira camada são em decorrência das altas taxas de evapotranspiração presentes nas regiões semi-áridas, da qualidade da água empregada na irrigação (C_3S_1) e do manejo da mesma.

As relações entre os valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ presentes no extrato de saturação do solo e aqueles estimados pelo modelo para as camadas de 0–20,

20–40, e 40–60 cm podem ser vistas nas Figuras 3 A, 3B e 3C, respectivamente. Pelos índices aplicados, o modelo desenvolvido para cada camada apresenta excelente precisão e exatidão, com coeficiente de correlação (r) e índice de Willmott (d) maiores que 0,94 (Figuras 3A, 3B e 3C); indicando um ótimo desempenho do modelo ($c > 0,85$) para todas as camadas estudadas. No entanto, pode-se observar que para concentrações superiores a $15 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, o modelo expressa tendência em subestimar os valores dos íons $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, uma vez que os pontos se encontram abaixo da reta 1:1. Este fato é bem mais visível para as duas primeiras camadas, onde as re-

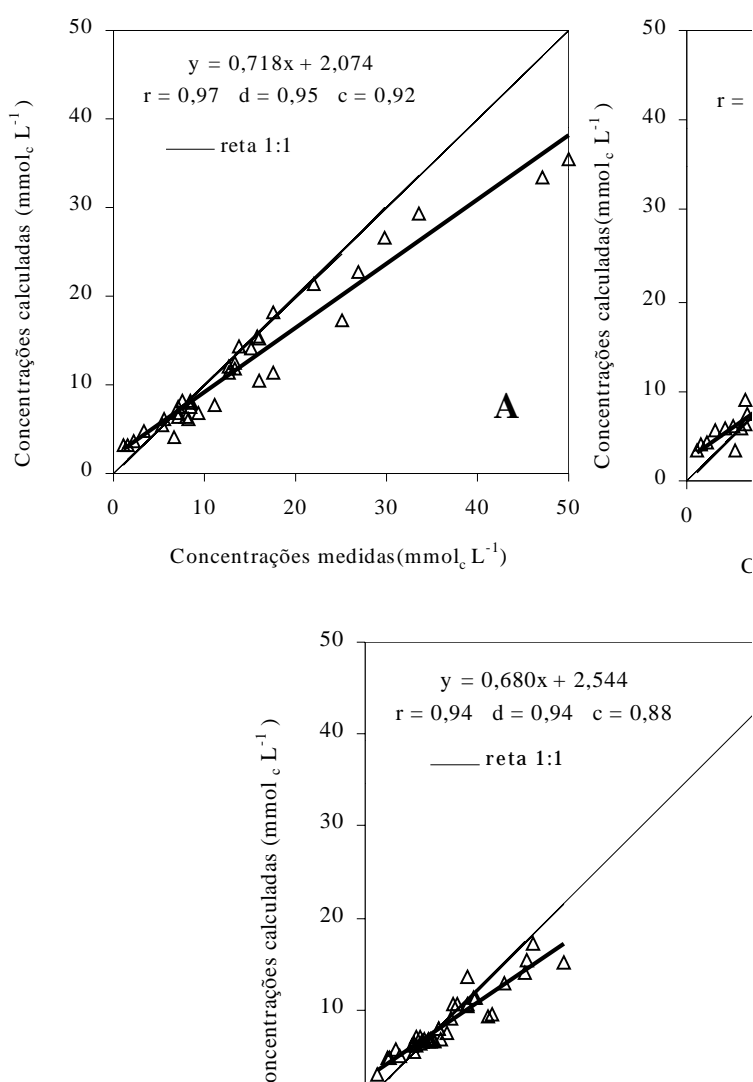


Figura 3 - Valores das concentrações de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ medidos em laboratório e os simuladas pelo modelo para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

tas de melhor ajuste se vão distanciando da reta da igualdade perfeita.

Para a camada de 40–60 cm, os pontos se mostram bem próximo da reta 1:1 demonstrando excelente estimativa dos elementos pelo modelo desenvolvido. O melhor ajuste do modelo para esta camada pode ser explicado pelo fato de que a concentração dos íons $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ apresenta, quase sempre, valores inferiores a $20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, faixa onde o modelo expressa excelentes resultados. Outro ponto observado é que, apesar da baixa solubilidade do

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, as maiores concentrações são encontradas na camada superficial (Figura 2A). Acredita-se que tal fato, seja uma decorrente da água empregada na irrigação, a qual é oriunda de aquíferos calcários, com altos teores de bicarbonatos; chegando a valores em torno de $7,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ como apresentado por Cruz (2001).

A Tabela 3 apresenta para as três camadas consideradas, os índices de precisão, exatidão e desempenho determinados para cada elemento analisado.

Tabela 3 - Valores do coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d) e índice de desempenho para o Cl^- , Na^+ e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ na Chapada do Apodi, Ceará.

Camadas (cm)	Cl^-			Na^+			$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$		
	r	d	c	r	d	c	r	d	c
0 – 20	0,96	0,98	0,94	0,93	0,92	0,86	0,97	0,95	0,92
20 – 40	0,95	0,97	0,92	0,87	0,89	0,77	0,97	0,96	0,93
40 – 60	0,92	0,95	0,87	0,76	0,84	0,64	0,94	0,94	0,88

Com base nas Figuras 1, 2 e 3 e na Tabela 3, observa-se que os modelos testados, com exceção do sódio para as duas camadas mais profundas, apresentam um ótimo desempenho na estimativa do Cl^- , Na^+ e $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ na região da Chapada do Apodi, Ceará, sugerindo que os mesmos podem ser empregados sem restrições na referida área.

Conclusões

1. As equações para estimativa do $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- , para as três camadas estudadas, apresentam uma excelente precisão ($r > 0,92$) e exatidão ($d > 0,94$) indicando um ótimo índice de confiança ($c > 0,87$).
2. Para a camada de 0-20 cm a concentração de sódio pode ser estimada pelo modelo com uma excelente precisão ($r = 0,93$) e um ótimo grau de desempenho ($c = 0,86$). Para as outras duas camadas estudadas (20-40 e 40-60 cm) os modelos expressam respectivamente uma precisão de regular ($r = 0,77$) a alta ($r = 0,87$) e um grau de desempenho variando de “mediano” ($c = 0,64$) a “muito bom” ($c = 0,76$).

3. Os íons Na^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Cl^- nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, para a região da Chapada do Apodi, Ceará, podem ser estimados com confiabilidade pelas equações desenvolvidas.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, E.M.; MEIRELES, A.C.M.; NESS, R.L.L.; CRUZ, M.G.M. Irrigation land use impacts in Baixo Jaguaribe Watershed. In: THE 4TH INTER-REGIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT-WATER. Fortaleza. **Proceedings...** Fortaleza. 2001. p.279-284.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A Qualidade da Água na Agricultura**. 2ª ed. Trad. GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande. UFPB, 1999. 218p. Estudos FAO: **Irrigação e drenagem, 29**.
- BEN-HUR, M.; AGRASSI, M.; KEREN, R.; ZHANG, J. Compaction, aging and raindrop-impact effects on hydraulic properties of saline and sodic vertisols. Soil Science. **Society of America. Journal**,

Madison, v. 62, p. 1377-1383, 1998.

CEPA-32 - **Projeto de desenvolvimento rural integrado**. Volume I, Tomo I. Situação Geográfica, Recursos Humanos e Recursos Naturais, 1980. 272p.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n. 1, p. 89-97, 1997.

D'ALMEIDA, D.M.B.A. **Risco de salinização de um Cambissolo na Chapada do Apodi-CE**. 2002. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de solos, 212p. 1997.

FERRER-ALEGRE, F.; STOCKLE, C.O. A model for assessing crop response to salinity. **Irrigation Science**, v. 19, p.15-23, 1999.

MILTON, J. S. **Statistical methods in the biological and health sciences**. 2ed. New York: McGraw-Hill, 1992. 526p.

NUNES FILHO, J; SOUSA, A. R.; LIMA E SÁ, V. A.; Lima, B. P. Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas e subterrâneas e superficiais, visando a irrigação, no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p. 189-193, 2000.

NORUSIS, M.J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago, p.520, 1990

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use saline waters for crop production**. Rome: FAO, (Irrigation and Drainage, 48) 1992. 133p.

SOUZA, L.C.; QUEIROZ, J.E.; GHEYI, H.R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1,p.35-40, 2000.

UFC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. 1. Ed. Fortaleza, Gráfica do Banco do Nordeste do Brasil, 1993. 247p.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p. 184-194, 1981.